GOSPODARSKO INTERESNO ZDRUŽENJE
DISTRIBUCIJE **ELEKTRIČNE ENERGIJE**

GIZ TS-11
5/2023

SMERNICE IN NAVODILA ZA IZBIRO, POLAGANJE IN PREVZEM ELEKTROENERGETSKIH KABLOV NAZIVNE NAPETOSTI 1 kV DO 110 kV

Tehnična smernica

Za interno uporabo v GIZ DEE

Elektro Celje
elektro gorenjska
Elektro Ljubljana
ELEKTRO MARIBOR
Elektro Primorska

Maj 2023

GIZ TS-11 – SMERNICE IN NAVODILA ZA IZBIRO, POLAGANJE IN PREVZEM ELEKTROENERGETSKIH KABLOV NAZIVNE NAPETOSTI 1 kV DO 110 kV, je z dovoljenjem avtorja izvornega dokumenta Elektroinštitut Milan Vidmar (EIMV) v GIZ naslovnico pretvorila Projektna skupina za tipizacijo distribucije Slovenije, odobrila Delovna skupina za tehnične zadeve in sprejela skupščina GIZ DEE Slovenije na svoji 8-23. seji, dne 29.5.2023, s sklepom št. 114/08-23.

Za interno uporabo v GIZ DEE

PREGLED IZDAJ

Verzija	Opis sprememb	Delovna skupina	Datum izdaje
12/2014	Prva izdaja	Boris Sterle, Elektro Ljubljana, d.d. (vodja) Dušan Kovačič, Elektro Maribor, d.d. Robert Škof, Elektro Celje, d.d. Robert Volk, Elektro Primorska, d.d Samo Štojs, Elektro Gorenjska, d.d.	13.7.2015
5/2023	Druga izdaja	Davor Leskovec, Elektro Ljubljana, d.d. Ervin Slokan, Elektro Maribor, d.d. Robert Škof, Elektro Celje, d.d. (vodja) Robert Volk, Elektro Primorska, d.d Samo Štojs, Elektro Gorenjska, d.d. Tomaž Kožar, SODO, d.o.o.	29.5.2023

VSEBINA

1 UVOD 4
1.1 Splošno 4
1.2 Pomen in vloga 4
1.3 Namen in območje uporabe 4
2 SMERNICE 4

1 UVOD

1.1 SPLOŠNO

Smernice in navodila za izbiro, polaganje in prevzem elektroenergetskih kablov nazivne napetosti 1 kV do 110 kV (novelirana izdaja) št. 2493 je na predlog GIZ DEE Slovenije s pomočjo strokovnega kadra ED podjetij pripravil Elektroinštitut Milan Vidmar EIMV.

1.2 POMEN IN VLOGA

Tehnična smernica GIZ TS-11 v celoti povzema in daje v uporabo navedene smernice tehničnemu osebju podjetij DEE Slovenije.

1.3 NAMEN IN OBMOČJE UPORABE

Tehnična smernica GIZ TS-11 je ob upoštevanju ostalih dokumentov tipizacije vezanih na kable in kablovode, namenjena enotni uporabi pri izbiri, polaganju in prevzemu EE kablov na območju DEE Slovenije.

2 SMERNICE

Navedene smernice so bile v soglasju avtorja Elektroinštitut Milan Vidmar EIMV prenesene v prvotni obliki ter vsebini v dokument z naslovnico oblikovano v slogu GIZ publikacij tehničnih smernic in so v originalnem besedilu podane v nadaljevanju.

ELEKTROINŠTITUT MILAN VIDMAR
Inštitut za elektrogospodarstvo in elektroindustrijo
Ljubljana

SMERNICE IN NAVODILA ZA IZBIRO, POLAGANJE IN PREVZEM ELEKTROENERGETSKIH KABLOV NAZIVNE NAPETOSTI 1 kV DO 110 kV (NOVELIRANA IZDAJA)

Študija št. 2493

Ljubljana, april 2022

ELEKTROINŠTITUT MILAN VIDMAR
Inštitut za elektrogospodarstvo in elektroindustrijo
Ljubljana

SMERNICE IN NAVODILA ZA IZBIRO, POLAGANJE IN PREVZEM ELEKTROENERGETSKIH KABLOV NAZIVNE NAPETOSTI 1 kV DO 110 kV (NOVELIRANA IZDAJA)

Študija št. 2493

ELEKTROINŠTITUT MILAN VIDMAR
Hajdrihova 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

Direktor:

Ljubljana, april 2022

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

ELEKTROINŠTITUT MILAN VIDMAR

SI - 1000 Ljubljana, Hajdrihova 2

tel. +386 (0)1 474 3601

fax. +386 (0)1 425 3326

www.eimv.si

info@eimv.si

Oddelek za visoke napetosti in elektrarne

© Elektroinštitut Milan Vidmar, 2022

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.

Izvajalec:	**ELEKTROINŠTITUT MILAN VIDMAR** Inštitut za elektrogospodarstvo in elektroindustrijo Ljubljana, Hajdrihova 2
Naročnik:	**Elektro Gorenjska, d. d.** **Elektro Celje, d. d.** **Elektro Maribor, d. d.** **Elektro Primorska, d. d.** **Elektro Ljubljana, d. d.**
Številka pogodbe/naročila:	NMV(S)20-010
Številka študije:	**2493**
Naslov študije:	**SMERNICE IN NAVODILA ZA IZBIRO, POLAGANJE IN PREVZEM ELEKTROENERGETSKIH KABLOV NAZIVNE NAPETOSTI 1 kV DO 110 kV (NOVELIRANA IZDAJA)**
Predstavnik izvajalca:	Simon Podkoritnik, univ. dipl. inž. el.
Predstavnik naročnika:	Projektna skupina za tipizacijo GIZ DEE in projektna skupina za kablovode GIZ DEE
Izdelovalci študije:	Simon Podkoritnik, univ. dipl. inž. el. Marko Janša, univ. dipl. inž. el. Matevž Perhavec, univ. dipl. inž. el.
Spremljevalci GIZ:	Robert Volk, univ. dipl. inž. el. Robert Škof, univ. dipl. inž. el. Ervin Slokan, univ. dipl. inž. el. Samo Štojs, univ. dipl. inž. el. Boris Sterle, univ. dipl. inž. el. Boštjan Imperl, univ. dipl. inž. el. Jure Serdinšek, univ. dipl. inž. el. Miran Horvat, univ. dipl. inž. el. Viljem Bonča, univ. dipl. inž. el. Jani Čopi, dipl. inž. el.
Obseg študije:	št. strani 347, 92 slik.
Datum izdelave:	april 2022

POVZETEK

Novelacija študije 2090 [1] je nastala zaradi izdaje številnih novih standardov in sprejetja novih zakonskih aktov. Usklajene so zahteve z določbami novih izdaj standardov in nacionalno zakonodajo, prav tako so dodane izboljšave pri izdelavi kabelskih konstrukcij in postopkov preverjanja kvalitete. V študiji so dodatno obravnavani 110 kV kabli in kabelska diagnostika.

Izmed SN in VN kablov so obravnavani predvsem enožilni kabli, ki jih obravnava standard SIST HD 620 S2: 2010 sekcija 10-C. Trižilni SN kabli v tej študiji niso posebej obdelani, smiselno se uporabi [59] Študija ref. št. 1652 "Trižilni SN kabli, njihova uporaba v distribucijskih vodih in smernice za pripravo pravilnika o tehničnih normativih za graditev vodov z univerzalnimi in trižilnimi kabli za napetosti od 1 do 35 kV". Trižilne SN kable za nazivno napetost 12/20 kV obravnava standard SIST HD 620 S2: 2010 10-M in 10-K.

Primernost uporabe trižilnih kablov je bila obdelana v posebni študiji EIMV ref. št. 2361 z naslovom "**Strokovna analiza uporabnosti posameznih tipov trižilnih kablov 20 kV na trgih EU in njihove konstrukcijske posebnosti za zagotavljanje obratovalne zanesljivosti",** v kateri je podrobno obdelana problematika korozije kovinskih delov kabla pri poškodbah na zunanjih delih in potencialni nevarnosti vstopa vode v notranjost kabla.

Pregledane so bile konstrukcije trižilnih kablov, ki se pojavljajo na evropskem trgu, pri čemer se je analiziralo njihove lastnosti, zagotavljanje kakovosti izdelave kabelskih sistemov in preizkušanje po standardnih in posebej prilagojenih metodah.

Uporabniki rezultatov naloge:

GIZ DEE

Obveznosti naročnika:

Brez obveznosti.

VSEBINA

UVOD **4**

1 SPLOŠNE DOLOČBE **5**

2 DEFINICIJE POJMOV **6**

2.1 POMEMBNEJŠI POJMI ZA PODROČJE GRADNJE KABLOVODOV 6

3 SISTEM OZNAČEVANJA KABLOV **12**

4 POGOJI ZA ZAGOTAVLJANJE KVALITETE **13**

4.1 SPLOŠNO 13

4.2 PREVERJANJE PROIZVAJALCA S STRANI NAROČNIKA (AUDIT) 19

4.3 PRESKUŠANJE KABLOV 19

4.4 TIPSKI PRESKUSI KABLOV 20

4.5 OBVEZNI KOSOVNI PRESKUSI KABLOV 20

4.6 VZORČNI PRESKUSI KABLOV 20

4.7 TOVARNIŠKI PREVZEMNI PRESKUSI (ANGL. FAT - FACTORY ACCEPTANCE TEST) 21

4.8 DODATNO PRESKUŠANJE DOBAVLJENIH KABLOV IN KABELSKEGA PRIBORA 21

4.9 IZVAJANJE VHODNE KONTROLE PRI PREVZEMU KABLA 21

4.10 PRESKUSI NA MESTU VGRADNJE (ANGL. SAT - SITE ACCEPTANCE TEST) 22

5 SPLOŠNE DOLOČBE (ZAHTEVE) ZA POLAGANJE KABLOV **23**

6 SN KABLI **27**

6.1 IZBIRA SN KABLOV 27

6.2 OZNAČEVANJE SN KABLOV 28

6.3 PRESKUŠANJE SN KABLOV 30

6.4 DOPUSTNE OBREMENITVE SN KABLOVODOV 31

6.5 IZRAČUN TOKOVNE OBREMENLJIVOSTI IN IZGUB KABLOVODA 35

6.6 OZEMLJEVANJE KOVINSKIH ZASLONOV PRI ENOŽILNIH KABLIH..... 37

6.7 POLAGANJE SN KABLOV 49

6.8 TRANSPORT IN SKLADIŠČENJE SN KABLOV 59

6.9 POLAGANJE SN KABLOV PRI NIZKIH TEMPERATURAH 60

6.10 ODVIJANJE IN POLAGANJE SN KABLOV 61

6.11 POLAGANJE SN KABLOV V KABELSKO KANALIZACIJO 68

6.12 PRIBLIŽEVANJE IN KRIŽANJE SN KABLOV Z OBJEKTI, PROMETNIMI POTMI IN INŠTALACIJAMI..... 72

6.13 MONTAŽA, SPAJANJE IN ZAKLJUČEVANJE SN KABLOV 80

6.14 ZAŠČITA SN KABLOV PRED KOROZIJO in BLODEČIMI TOKOVI..... 93

6.15 POLAGANJE SN KABLOV GLEDE NA ZAŠČITO 94

6.16 PRENAPETOSTNA ZAŠČITA SN KABLOV 96

6.17 ELEKTRIČNA IN MAGNETNA POLJA V OKOLICI ENERGETSKIH KABLOV 96

7 NN KABLI 99

7.1 OZNAČEVANJE NN KABLOV 99

7.2 PRIMERI OZNAČEVANJA NN KABLOV..... 100

7.3 PRESKUŠANJE NN KABLOV 100

7.4 IZBIRA NN KABLOV 100

7.5 POLAGANJE NN KABLOV 105

7.6 TRANSPORT IN SKLADIŠČENJE NN KABLOV..... 114

7.7 SEGREVANJE NN KABLOV 115

7.8 ODVIJANJE IN POLAGANJE NN KABLOV..... 116

7.9 POLAGANJE NN KABLOV V KABELSKO KANALIZACIJO..... 118

7.10 PRIBLIŽEVANJE IN KRIŽANJE NN KABLOV Z OBJEKTI, PROMETNIMI POTMI IN INŠTALACIJAMI..... 121

7.11 SPAJANJE IN ZAKLJUČEVANJE NN KABLOV 122

7.12 ZAŠČITA NN KABLOV PRED BLODEČIMI TOKOVI..... 125

7.13 PRENAPETOSTNA ZAŠČITA NN KABLOV 125

8 VN KABLI 126

8.1 OZNAČEVANJE VN KABLOV V SKLADU S SIST HD 632 S3 Part 4 D 126

8.2 PRIMERI OZNAČEVANJA VN KABLOV 127

8.3 PRESKUŠANJE VN KABLOV 128

8.4 IZBIRA VN KABLOV 128

8.5 DOPUSTNE OBREMENITVE VN KABLOVODOV 128

8.6 POLAGANJE VN KABLOV 157

8.7 TRANSPORT IN SKLADIŠČENJE VN KABLOV 173

8.8 SEGREVANJE VN KABLOV 174

8.9 ODVIJANJE IN POLAGANJE VN KABLOV 174

8.10 POLAGANJE VN KABLOV V KABELSKO KANALIZACIJO 181

8.11 PRIBLIŽEVANJE IN KRIŽANJE VN KABLOV Z OBJEKTI, PROMETNIMI POTMI IN INŠTALACIJAMI 183

8.12 SPAJANJE IN ZAKLJUČEVANJE VN KABLOV 194

8.13 ZAŠČITA VN KABLOV PRED BLODEČIMI TOKOVI 197

8.14 PRENAPETOSTNA ZAŠČITA VN KABLOV/KABLOVODOV 202

8.15 OZEMLJITEV VN KABLOV 208

9 MERITVE, DIAGNOSTIKA TER BELEŽENJE PODATKOV NA SN IN VN KABLOVODIH 217

9.1 VNOS PODATKOV O VGRAJENEM KABLU IN KABELSKEM PRIBORU 217

9.2 PRVE MERITVE NA NOVO (ZGRAJENIH) KABLOVODIH 222

9.3 KABELSKA DIAGNOSTIKA V FAZI OBRATOVANJA 230

9.4 STROŠKOVNI VIDIK UVAJANJA KABELSKE DIAGNOSTIKE 231

9.5 DIAGNOSTIČNE MERITVE V PROCESU VZDRŽEVANJA KABLOVODA 232

9.6 UKREPI NA PODLAGI UGOTOVITEV KABELSKE DIAGNOSTIKE 235

10 LITERATURA 237

Kazalo slik

Slika 1: VDE znak za kable (levo) in VDE registrska številka (sredina) in VDE znak (desno) ... 17
Slika 2: Prikaz enostranske ozemljitve kovinskih zaslonov in inducirane napetosti v njih ... 38
Slika 3: Sredinsko ozemljeni kovinski zasloni in inducirana napetost v njih ... 39
Slika 4: Obojestransko ozemljeni kovinski zasloni in inducirana napetost v njih ... 39
Slika 5: Prikaz prepletanja kovinskih zaslonov-ekranov (angl. Cross-bonding) ... 44
Slika 6: Prikaz izvedbe navzkrižne povezave kovinskih zaslonov na priključnem SN kablovodu za tovarno KRKA v Novem Mestu z namenskimi kabelskimi spojkami. ... 45
Slika 7: Kirke Searingova izvedba prepletanja kovinskih zaslonov in transpozicijo faz ... 45
Slika 8: Prikaz izvedbe kombinirane ozemljitve kovinskih zaslonov ... 46
Slika 9: Razporeditve kablov pri polaganju v kabelski jarek ... 50
Slika 10: Pritrjevanje kablov z objemkami pri ravninski in trikotni formaciji ... 52
Slika 11: Prikaz objemk za pritrjevanje kablov iz neferomagnetnega materiala ... 52
Slika 12: Zaščita kablov pri prehodu iz zemlje na SM pred mehanskimi poškodbami ... 54
Slika 13: Polaganje kablov v kabelskih predorih ... 57
Slika 14: Polaganje kablov v cestnih predorih ... 57
Slika 15: Sočasno polaganja vseh treh faz SN kablov s kamiona in dodatne prikolice ... 61
Slika 16: Poenostavljeno polaganje SN kablov direktno v kabelski jarek ... 62
Slika 17: Prikaz opreme za strojno polaganje kabla ... 63
Slika 18: Manjša in večja naprava za podvrtavanje ... 63
Slika 19: Zatezna sponka ... 63
Slika 20: Valjčna proga in prikaz njene uporabe na ostrih krivinah ... 64
Slika 21: Uporaba valjčkov za polaganje SN kablov ... 64
Slika 22: Dinamometer za registracijo vlečne sile pri polaganju kablov ... 66
Slika 23: Uporaba valjčkov in vesp pri polaganju SN kablov ... 67
Slika 24: Skupno polaganje kablov in komunalne infrastrukture ... 69
Slika 25: Dovoljene razmestitve kablov v kabelski kanalizaciji ... 69
Slika 26: Prikaz vertikalnega in horizontalnega poteka komunalnega voda ... 75
Slika 27: Parametri za oblikovanje zunanjega SN kabelskega zaključka ... 84
Slika 28: Prerez izdelanega končnika za zunanjo montažo z nameščenim izolacijskim tulcem ... 84
Slika 29: Prikaz izdelanega kabelskega SN končnika za notranjo montažo ... 86
Slika 30: Prikaz izdelanega kabelskega SN končnika za zunanjo montažo ... 86
Slika 31: Prikaz izdelanega kabelskega T konektorja ... 87
Slika 32: Povečanje električne poljske jakosti (E) na mestu zaključka zunanje polprevodne plasti kabla ... 87
Slika 33: Način zmanjšanja električnega polja na zaključku zunanjega polprevodnega sloja v kabelskem končniku a) s spremembo geometrije v obliki konusa za oblikovanje polja in b) z namestitvijo izolacijskega tulca (angl. Refractive field fontrol). ... 88
Slika 34: Pri površno odstranjenem polprevodnem sloju se pri namestitvi izolacijskega tulca napaka kompenzira ... 88

Slika 35: Dvig temperature na koncu zunanjega polprevodnega sloja v primeru oblikovanja polja z izolacijskim tulcem ... 89
Slika 36: Glavni sestavni elementi spojke ... 91
Slika 37: Načina zmanjšanja električne poljske jakosti na robu (zaključku) zunanjega polprevodnega sloja kabla a) z izolacijskim tulcem v natični izvedbi b) s konusom za oblikovanje potenciala v spojki z hladno krčno tehniko ... 92
Slika 38: Zračni mehurček pri spojki iz silikona je po preteku 8 minut komaj opazen. ... 92
Slika 39: Neposredno odvajanje blodečih tokov iz ščitenega kabla ... 94
Slika 40: Katodna zaščita z usmerjenim odvodom blodečih tokov ... 95
Slika 41: Katodna zaščita z izvorom enosmernega toka, ki vsesava blodeče tokove ... 95
Slika 42: Katodna zaščita z vkopano anodo ... 96
Slika 43: Magnetno polje 20 kV kabla pri ravninski formaciji in razdalji med fazami 7 cm z enostransko in obojestransko ozemljenimi zasloni ter trikotni formaciji z enostransko ozemljenimi zasloni ... 98
Slika 44: Pritrjevanje NN kablov z objemkami pri ravninski formaciji ... 113
Slika 45: Pritrjevanje NN kablov z objemkami pri trikotni formaciji ... 113
Slika 46: Polaganje NN kablov na krivinah ... 113
Slika 47: Dovoljene razmestitve kablov v kabelski kanalizaciji ... 119
Slika 48: Porazdelitev temperature v okolici enožilnega kabla v primeru izsušenega in ne izsušenega zemljišča ... 130
Slika 49: Kablovod tvorita dva kabla v isti ravnini ... 136
Slika 50: Kablovod oblikuje šest kablov v isti ravnini ... 137
Slika 51: Kablovod oblikuje šest sistemov v trikotni formaciji ... 137
Slika 52: Določitev vrednosti faktorjev f_k ... 138
Slika 53: Določitev vrednosti faktorjev f_s ... 139
Slika 54: Specifična toplotna upornost peska različnih granulacij v odvisnosti od vsebnosti vlage. ... 143
Slika 55: Načini uporabe optičnih vlaken oziroma optičnega kabla za merjenje termičnega profila kablovoda ... 147
Slika 56: Faktor *m* za izračun termične obremenitve pri kratkem stiku. ... 152
Slika 57: Faktor *n* za izračun termične obremenitve pri kratkem stiku. ... 152
Slika 58: Polaganje kabla v odprt jarek, 1-trikotna formacija, 2- linijska formacija in 3- vertikalna formacija ... 162
Slika 59: Primer namestitve VN kablov v cestni predor ... 166
Slika 60: Pantografska namestitev VN XLPE kablov na dolgem visečem mostu. ... 169
Slika 61: Vijugasto polaganje 110 kV kablov na mostu Tianjin Nanjiang Bridge, Kitajska ... 169
Slika 62: Primer namestitve 110 kV kablov na betonskem mostu v Franciji ... 170
Slika 63: Polaganje VN kablov direktno v kabelski jarek ... 175
Slika 64: Izdelava kabelske kanalizacije s podvrtavanjem ... 176
Slika 65: Strojno vlečenje kabla skozi kabelsko kanalizacijo in beleženje vlečne sile dinamometrom ... 176
Slika 66: Valjčna proga za polaganje na ostrih krivinah ... 176
Slika 67: Zasipavanje kablov in namestitev zaščit ter markerjev ... 177
Slika 68: Uporaba valjčkov za polaganje VN kablov ... 177
Slika 69: Uporaba navadnih in motorno gnanih valjev (vesp) pri polaganju kablov ... 178

Slika 70: Zaščita SN in VN kablovodov z betonskimi ploščami (levo), uporaba zaščitne mreže (sredina) in uporaba pasivnih markerjev za iskanje lokacije oz. trase kabla (desno) - (predvsem pri spojkah in lomih trase) 180
Slika 71: Prikaz vertikalnega in horizontalnega poteka komunalnega voda 186
Slika 72: Potek kablovoda v bližini DV, ki med seboj nista povezana (npr. KBV-DV) 193
Slika 73: Karakteristika delovanja /SP naprave pri AC induciranem toku ter DC napetosti na priključkih 200
Slika 74: Prevajanje toka pri normalnem delovanju ISP (prevajanje AC in blokada DC) 201
Slika 75: Prevajanje toka pri preseženih vrednostih AC toka in kratkih stikih 201
Slika 76: Prevajanje toka pri atmosferskih razelektritvah 202
Slika 77: Prikaz priključitve VN odvodnikov in SVL na ozemljilni sistem 207
Slika 78: Izgube v kovinskih zaslonih (25 mm² Cu) v odvisnosti od toka v vodniku (črno: trikotna formacija, sivo: ravninska formacija) 209
Slika 79: Inducirana napetosti v kovinskem zaslonu enostransko ozemljenega kabelskega zaslona skozi celotna dolžino položenega kabelskega sistema 209
Slika 80: Inducirana napetosti v kovinskem zaslonu sredinsko ozemljenega kovinskega zaslona skozi celotno dolžino položenega kabelskega sistema 209
Slika 81: Inducirana napetosti v kovinskem zaslonu obojestransko ozemljenega kovinskega zaslona skozi celotno dolžino položenega kabelskega sistema 211
Slika 82: Prikaz prepletaja kovinskih zaslonov (angl. Cross-bonding) 212
Slika 83: Prikaz izvedbe navzkrižne povezave kovinskih zaslonov na dvosistemskem 110 kV kablovodu 213
Slika 84: Kirke Searingova izvedba prepletanja kovinskih zaslonov in transpozicijo faz 214
Slika 85: Potek ECC vodnika z izvedeno (levo) in neizvedeno (desno) transpozicijo faznih vodnikov 215
Slika 86 Manjkajoča plast polprevodnega sloja pri kabelski spojki 219
Slika 87: Trije primeri manjkajoče polprevodne plasti pred konusom za oblikovanje potenciala 219
Slika 88: Prevelika dolžina preostalega polprevodnega sloja (premalo odstranjen polprevodni sloj) na meji med izolacijo kabla in izolacijo konusa za oblikovanje potenciala 220
Slika 89: Šiljenje konca kabla in odstranitev zunanjega polprevodnega sloja 220
Slika 90: Vrzel na stiku med izolacijo in zunanjim polprevodnim slojem kabla 221
Slika 91: Postopek oblikovanja umetno izdelane poškodbe v obliki vrzeli pod prevodnim materialom 222
Slika 92: Spreminjanja realne in imaginarne komponente prevodnosti pri kablu, primerjava starega kabla iz obratovanja in novega kabla. 224

SEZNAM KRATIC IN SIMBOLOV

C'	kapacitivnost kabla na enoto dolžine	[F/m]
C'_o	kapacitivnost izolacijskega medprostora kabla v primeru, da je v njem vakum na enoto dolžine	[F/m]
D	zunanji premer kabla	[m]
D_{cz}	zunanji premer PE cevi	[m]
D_{cn}	notranji premer PE cevi	[m]
E'_o	inducirana napetost v kovinskem zaslonu	
f_1	korekcijski faktor tokovne obremenitve v odvisnosti od temperature zemlje	[-]
f_2	korekcijski faktor tokovne obremenitve v odvisnosti od števila kablov v istem jarku	[-]
I	tok v posameznem vodniku (efektivna vrednost)	[A]
I_M	tok v kovinskem zaslonu	[A]
I'_p	polnilni tok na enoto dolžine	[A/m]
I_r	nazivna tokovna obremenitev	[A]
M'	medsebojna induktivnost med vodnikom in zaslonom pri trikotni formaciji	[H/m]
M_1	medsebojna induktivnost med vodnikom in zaslonom pri linijski formaciji s transpozicijo faz	[H/m]
M_m	medsebojna induktivnost med zaslonom zunanjega kabla in vodniki ostalih dveh kablov v linijski formaciji brez transpozicije faz	[H/m]
N_y	število enakih in enako obremenjenih kablov znotraj območja premera d_y	[-]
R'_{AC}	ohmska upornost vodnika pri izmeničnem toku in pri najvišji dovoljeni obratovalni temperaturi	[Ω/m]
R'_{DC}	ohmska upornost vodnika pri enosmernem toku in pri najvišji dovoljeni obratovalni temperaturi	[Ω/m]
R'_{DC20}	ohmska upornost vodnika pri enosmernem toku in temperaturi 20°C	[Ω/m]
R'_M	ohmska upornost kovinskega zaslona pri enosmernem toku	[Ω/m]
R'_{M20}	ohmska upornost vodnika pri enosmernem toku in temperaturi 20°C	[Ω/m]
T'_K	toplotna upornost kabla	[K m/W]
T'_{Ki}	fiktivna toplotna upornost kabla zaradi tokovnih izgub	[K m/W]
T'_{Kd}	fiktivna toplotna upornost kabla zaradi dielektričnih izgub	[K m/W]
T'_s	toplotna upornost zraka zaradi sončnega obsevanja	[K m/W]
T'_x	fiktivna toplotna upornost zemlje okoli trifaznega kablovoda pri trajni obremenitvi	[K m/W]
T'_{xy}	fiktivna toplotna upornost zemlje okoli trifaznega kablovoda pri mešani dnevni obremenitvi	[K m/W]
T'_1	toplotna upornost izolacije	[K m/W]
T'_2	toplotna upornost med kovinskim zaslonom in armature	[K m/W]
T'_3	toplotna upornost zunanjega plašča	[K m/W]
T'_4	toplotna upornost zemlje	[K m/W]
T'_{40}	toplotna upornost med kablom in cevjo	[K m/W]
T''_{40}	toplotna upornost cevi	[K m/W]
T'''_{40}	toplotna upornost zunaj cevi	[K m/W]
U_0	fazna napetost (napetost med vodnikom in kovinskim zaslonom)	[V]
W'_M	izgube v kovinskem zaslonu na enoto dolžine	[W/m]
W''_M	izgube v kovinskem zaslonu na enoto prostornine	[W/ m^3]
W'_c	izgube v vodniku na enoto dolžine	[W/m]
W''_c	izgube v vodniku na enoto prostornine	[W/ m^3]
W'_d	izgube v izolaciji na enoto dolžine (izgube odvisne od napetosti)	[W/m]
W''_d	izgube v izolaciji na enoto prostornine (izgube odvisne od napetosti)	[W/ m^3]
W'_i	izgube odvisne od toka na enoto dolžine	[W/m]
X'_M	induktivna upornost kovinskega zaslona pri trikotni formaciji	[Ω/m]
X'_{M1}	induktivna upornost kovinskega zaslona pri linijski formaciji s transpozicijo faz	[Ω/m]
X'_m	induktivna upornost med zaslonom zunanjega kabla in vodniki ostalih dveh kablov v linijski formaciji brez transpozicije faz	[Ω/m]
a	osna razdalja med vodniki kablov	[m]
$\bar{a}$	srednja geometrijska osna razdalja med vodniki kablov pri polaganju v liniji	[m]

b	medosna razdalja med snopi kablov pri polaganju v trikot	[m]
c_i	razdalja od osi posameznega kabla oz. linijskega toplotnega izvora do opazovane točke	[m]
c'_i	razdalja od zrcalne slike posameznega kabla oz. linijskega toplotnega izvora do opazovane točke	[m]
c	specifična toplotna kapaciteta prevodnega materiala	[J/Km^3]
d_A	zunanji premer armature	[m]
d_c	premer preko vodnika	[m]
d_E	nadomestni premer za kabel s premerom D	[m]
d_i	premer preko izolacije	[m]
d_M	premer preko kovinskega zaslona	[m]
d_{Mm}	srednji premer kovinskega zaslona	[m]
d_x	premer mejne izoterme, ki omejuje izsušeno območje	[m]
d_y	premer karakteristične izoterme pri ciklični sinusni obremenitvi s faktorjem obremenitve (0,5 <= m <= 1,0)	[m]
g_m	koeficient uporabljen pri izračunu λ''_1	[-]
h	globina kabla	[m]
h_o	globina nadomestnega linijskega toplotnega vira	[m]
h_x	globina mejne izoterme, ki omejuje izsušeno območje	[m]
k	geometrijska konstanta kabla	[-]
k', k''	pomožna faktorja spremenljive vrednosti za izračun toplotne upornosti zraka pri srednji temperaturi	[-]
k_a	geometrijska konstanta vzajemnega segrevanja kablov	[-]
k_y	geometrijska konstanta območja znotraj premera d_y ki ga omejuje karakteristična izoterma	[-]
k_x	geometrijska konstanta območja znotraj premera izoterme d_x, ki omejuje izsušeno območje	[-]
m	faktor obremenitve	[-]
m	koeficient uporabljen pri izračunu λ_0 ($m = (\omega/R_M)\ 10^{-7}$)	[-]
n	število obremenjenih vodnikov v kablu	[-]
r	polmer kabla	[m]
t_1	debelina izolacije	[m]
t_2	debelina izolacijskega sloja med kovinskim zaslonom in armaturo	[m]
t_3	debelina zunanjega plašča	[m]
v	razmerje med toplotnimi upornostmi suhih in mokrih con ($v = \rho_d/\rho_w$)	[-]
w	število ciklov obremenitev (upoštevamo w = 1)	[-]
x_s	argument Besslove funkcije uporabljen za izračun faktorja izriva toka	[-]
x_p	argument Besslove funkcije uporabljen za izračun faktorja sesedskega vpliva	[-]
y_s	faktor izriva toka (skin effect factor)	[-]
y_p	faktor sesedskega vpliva (proximity effect factor)	[-]
$\Delta T'_x$	dodatna navidezna toplotna upornost zaradi kopičenja pri trajni obremenitvi	[K m/W]
$\Delta T'_{xy}$	dodatna navidezna toplotna upornost zaradi kopičenja pri spremenljivi obremenitvi	[K m/W]
α_{20}	temperaturni koeficient električne upornosti pri 20°C	[1/K]
β_1	koeficient uporabljen pri izračunu λ''_1	[-]
δ	izgubni kot	[°]
δ_i	faktor kopičenja (pri več kabelskih sistemih) pri polaganju v zemljo	[-]
ε_o	dielektrična konstanta vakuma	[8,855 10^{-12} As/Vm]
ε_r	relativna dielektričnost materiala	[-]
q_{izol}	prerez izolacije	[m^2]
q_M	prerez kovinskega zaslona	[m^2]
γ	specifična prevodnost kovinskih delov kabla	[1/Ωm]
ϑ_c	temperatura vodnika	[°C]
ϑ_m	srednja temperatura med okolico in površino plašča	[°C]
ϑ_o	temperatura okolice	[°C]
ϑ_{PK}	temperatura površine kabla	[°C]
ϑ_x	kritična temperatura zemljine - temperatura izoterme na meji med suho in mokro cono	[°C]
ϑ_{Ze}	temperatura zemlje pri neobremenjenem kablovodu	[°C]
λ_1	razmerje med celotnimi izgubami v zaslonih in izgubami v vodnikih (odvisne so od razporeditve kablov)	[-]

λ_1'	razmerje med izgubami v posameznem zaslonu in izgubami v posameznem vodniku zaradi zančnih tokov v zaslonih	[-]
λ_1''	razmerje med izgubami v posameznem zaslonu in izgubami v posameznem vodniku zaradi vrtinčnih tokov	[-]
λ_2	razmerje med celotnimi izgubami v armaturi in izgubami v vodnikih	[-]
λ_{11}'	razmerje med izgubami v kovinskem zaslonu in izgubami v vodniku zaradi zančnih tokov za kabel s fazo, ki prehiteva pri linijski formaciji brez transpozicije faz	[-]
λ_{12}'	razmerje med izgubami v kovinskem zaslonu in izgubami v vodniku zaradi zančnih tokov za kabel s fazo, ki zaostaja pri linijski formaciji brez transpozicije faz	[-]
λ_{1m}'	razmerje med izgubami v kovinskem zaslonu in izgubami v vodniku zaradi zančnih tokov za kabel v sredini pri linijski formaciji brez transpozicije faz	[-]
λ_0	uporabljen pri izračunu λ''_1	[-]
μ_0	permeabilnost vakuuma	[$4\pi\ 10^{-7}$ H/m]
μ	izgubni faktor za določitev povprečnih toplotnih izgub	[-]
ρ_{el}	specifična električna upornost vodnika pri temperaturi 20°C	[Ωm]
ρ_{elM}	specifična električna upornost kovinskega zaslona pri temperaturi 20°C	[Ωm]
ρ_c	specifična toplotna upornost cevi	[K m/W]
ρ_1	specifična toplotna upornost izolacije	[K m/W]
ρ_2	specifična toplotna upornost materiala med kovinskim zaslonom in armaturo	[K m/W]
ρ_3	specifična toplotna upornost zunanjega plašča	[K m/W]
ρ_d	specifična toplotna upornost suhe zemljine	[K m/W]
ρ_w	specifična toplotna upornost mokre zemljine	[K m/W]
ρ_{Ze}	specifična toplotna upornost vlažne zemljine	[K m/W]
ρ_x	specifična upornost izsušene zemljine (znotraj mejne izoterme s premerom d_y)	[K m/W]
σ	Štefan-Boltzmanova konstanta sevanja črnega telesa (σ = 5.67 W/m²K²)	[W/m²K²]
ω	krožna frekvenca	[Hz]
$\Delta\vartheta$	nadtemperatura vodnika nad temperaturo okolice	[K]
$\Delta\vartheta_d$	prirastek temperature vodnika zaradi dielektričnih izgub	[K]
$\Delta\vartheta_x$	nadtemperatura mejne izoterme (kritični porast temperature zemljine)	[K]

UVOD

Zagotavljanje zanesljivosti oskrbe prebivalstva z električno energijo je eden izmed najpomembnejših kriterijev v današnjem času in h kateremu stremijo slovenska podjetja za distribucijo električne energije. Vedno večji delež v omrežju, pa tudi v mestnih središčih, predstavljajo srednje in visokonapetostni kabli, še posebej tam, kjer to zahteva hitra urbanizacija in z njo povezane prostorske omejitve ter strogi okoljevarstveni predpisi. Kabli z izolacijo iz omreženega polietilena (XLPE) se odlikujejo z visoko zanesljivostjo in zato predstavljajo najprimernejšo izbiro pri izgradnji srednje- in visokonapetostnih kabelskih omrežij.

Pri projektiranju kablovoda je potrebno poznati način obratovanja omrežja oziroma njegovega dela, konfiguracijo, način ozemljitve nevtralne točke, kratkostično moč, karakter in časovni potek obremenitev, največjo predvideno obremenitev ter obremenitve, ki se lahko pojavijo ob okvarah. Poznati je potrebno tudi prostorske in klimatske pogoje. Ti so določeni z medijem, v katerega se polaga kabel, njegovimi geološkimi in fizikalnimi lastnostmi. Na podlagi pogojev se izbere prerez in konstrukcijo kabla, ter določi najustreznejši način polaganja, način ozemljitve kovinskih zaslonov, število sistemov in njihovo razporeditev ter ustrezno termično prevodnost zemljišča, tako da bo kablovod zanesljivo obratoval v okviru dovoljenih električnih, termičnih in mehanskih obremenitev.

Študija obravnava enožilne NN, SN in VN kable, medtem ko so trižilni SN kabli obdelani v ločeni študiji ref. št. 1652 [59]

1 SPLOŠNE DOLOČBE

1 Ta navodila določajo osnovne smernice za izbiro, projektiranje, polaganje, montažo kabelskih vodov, spojk in končnikov ter preskušanje in vzdrževanje elektroenergetskih kablovodov.

2 Navodila obsegajo kablovode nazivne napetosti od 1 kV do 110 kV. Če je nazivna napetost omrežja različna od predhodno navedenih nazivnih napetosti kabla, je potrebno izbrati kabel z višjo nazivno napetostjo. Če se uporabi kabel druge nazivne napetosti od navedenih, je potrebno upoštevati določila za prvi višji napetostni nivo.

3 Navodila ne veljajo za:

- elektroenergetske kable nazivne napetosti nad 110 kV,
- elektroenergetske kable na ladjah, vozilih, motorjih z notranjim izgorevanjem in letalih,
- elektroenergetske kable za polaganje v atmosfere eksplozivnih zmesi,
- inštalacijske kable in izolirane vodnike za električne inštalacije nazivne napetosti do 1 kV,
- elektroenergetske kable s papirno izolacijo in kovinskim plaščem, polnjene z oljem ali nevtralnim plinom pod pritiskom,
- elektroenergetske kable za polaganje v morje,
- za že zgrajene objekte,
- za objekte, za katere je že izdano gradbeno dovoljenje ali je postopek pridobivanja gradbenega dovoljenja v teku,
- za vso nabavljeno opremo pred datumom pričetka veljavnosti navodil.

2 DEFINICIJE POJMOV

2.1 POMEMBNEJŠI POJMI ZA PODROČJE GRADNJE KABLOVODOV

Ob gradnji kablovodov moramo poleg same tehnologije upoštevati tudi predpisane bistvene in druge zahteve, ki so za take objekte predvidene. Spodaj navedeni izrazi imajo v smislu teh smernic in navodil naslednji pomen:

POJMI S PODROČJA OPREME KABLOVODA

KABELSKI SISTEM

je sistemska energetska kabelska povezava med dvema energetskima objektoma.

KABEL

je sestav iz ene žile s plaščem ali več žil s skupnim plaščem, morebitnih lastnih prevlek, električne in mehanske zaščite ter zaščitnih prevlek (kovinski plašč, armatura in zunanji plašč), [PGPVNV].

ENOŽILNI KABEL

je kabel sestavljen iz ene žile.

VEČŽILNI KABEL

je kabel, sestavljen iz več žil, od katerih se nekatere lahko uporabljajo kot nevtralni ali zaščitni vodnik z ustreznimi zaščitnimi plastmi.

KABLOVOD

je vrsta voda z enim ali več vodniki. K kablovodu štejemo poleg kabla v ožjem smislu tudi posteljico, kabelsko kanalizacijo, kabelske spojke in končnike in vse ostalo, kar je potrebno za zanesljivo obratovanje kablovoda.

VODNIK

je prevodni del žile, sestavljen iz ene ali več različno oblikovanih žic, katerih funkcija je prevajanje električnega toka. Vodnik je lahko poln ali večžičen, večžičen pa je lahko okrogel, sektorski, ovalni, kompaktirani ali nekompaktirani. Kompaktirani vodnik je večžičen vodnik z zmanjšanim premerom in obsegom (SIST IEC 60050 (461)).

KOMPAKTIRANI VODNIK

je večžičen vodnik z zmanjšanim premerom in obsegom (SIST IEC 60228).

KOMPENZACIJSKI VODNIK

je vodnik za izenačitev potenciala (ECC), s katerim je mogoče učinkovito zmanjšati visoke prenapetosti med kovinskimi zasloni in zemljo, ki so lahko nevarne za nastanek poškodb kabelskega plašča.

NEVTRALNI VODNIK

je vodnik pri NN kablih, ki je električno povezan z nevtralno točko.

NAZIVNI PRESEK KABELSKEGA VODNIKA

je vrednost prereza oz. preseka vodnika, izražena v mm².

ŽILA

je osnovni sestavni element kabla, ki jo sestavljata vodnik, polprevodna plast, izolacija in zunanja polprevodna plast.

IZOLACIJA

je električno neprevodna snov iz naravnega ali umetnega materiala, ki obdaja vodnik.

IZOLACIJSKI NIVO (STOPNJA IZOLACIJE) KABLA

Izolacijski nivo označuje električno izolacijsko sposobnost posameznega materiala oz. proizvoda.

Izolacijski nivo kabla se izbere glede na režim obratovanja EE sistema oziroma dovoljenega trajanja obratovanja sistema z enopolnim zemeljskim stikom. Glede na čas obratovanja z enopolnim zemeljskim stikom standard IEC 60183:2015 tč. 4.2 razvršča EE sisteme v tri kategorije A, B in C.

V kategorijo A se uvrščajo sistemi, v katerih je zemeljski stik izklopljen v čim krajšem možnem času, vsekakor pa prej kot v 1 minuti.

V kategorijo B se uvrščajo sistemi, ki lahko obratujejo z zemeljskim stikom ene faze nek omejen čas, ki naj ne bi presegal časa 1 ure, če v standardih, ki opredeljujejo posamezen tip kabla, ni navedeno drugače. V standardu IEC 60502-2:2014 ali IEC 60502:SER:2021, ki opredeljuje SN kable z ekstrudirano izolacijo, se dopušča obratovanja z zemeljskim stikom v trajanju do 8 ur ob pogoju, da skupen čas obratovanja z enopolnim zemeljskim stikom v letu ne presega 125 ur. V standardu SIST HD 620 S2:2010 je razvrstitev omrežij v kategorije in čas obratovanja z zemeljskim stikom določena v posameznih sekcijah.

V kategorijo C se uvrščajo vsi sistemi, ki ne izpolnjujejo zahtev kategorij A ali B.

KOVINSKI ZASLON

je prevodna plast ali več prevodnih plasti, katerih funkcija je oblikovanje električnega polja v izolaciji in prevajanje toka zemeljska stika.

KOVINSKI OKLEP

je žični ali trakast oklep, namenjen mehanski zaščiti.

PREČNA ZAPORA

je zaščita pred vlago, sestavljena iz materiala, ki ne prepušča vode in vlage.

VZDOLŽNA ZAPORA

je zaščita, izvedena z materialom, ki preprečuje vzdolžno prodiranje vode.

OZEMLJITEV

je električno prevodna zveza posameznih prevodnih delov z ozemljilom.

OZEMLJITEV NEVTRALNE TOČKE OMREŽJA

je način povezave nevtralne točke omrežja na potencial zemlje.

KABELSKI PRIBOR

so končniki, konektorji, spojke, kabelski čevlji, tulci, omarice za ozemljitev kovinskih zaslonov, natični pribor, pribor za povezovanje kovinskih zaslonov ter oprema za tesnjenje prehoda skozi steno.

SPOJNI TULEC

je kovinska cevka za spojitev vodnikov dveh zaporednih kablov.

KABELSKI ČEVELJ

služi za galvanski zaključek vodnika.

KABELSKA SPOJKA

je garnitura, namenjena spajanju kablov.

KABELSKI KONČNIK

je element na koncu kabla, ki omogoča električno povezavo z drugimi deli omrežja in zagotavlja izolacijo do točke priključitve.

KABELSKI KONEKTORJI

je vrsta kabelskega pribora, ki po svoji konstrukciji omogoča spajanje kabla na kovinsko oklopljene postroje.

ELEKTRO KABELSKA KANALIZACIJA (EKK)

je gradbeni inženirski objekt, sestavljen iz cevi, jaškov, kinet in drugih elementov, namenjenih polaganju kablov.

PRIKLJUČNA MERILNA OMARA (PMO)

je inštalacijski sklop, ki zagotavlja varnostno in mehansko zaščito vgrajeni opremi, namenjeni priključitvi objekta ali naprave.

PREPLETANJE KOVINSKIH ZASLONOV

je način povezave kovinskih zaslonov z namenom zmanjševanja induciranih napetosti in tokov v zaslonu enožilnih kablov.

BLODEČI TOK

je tok, ki ga povzroča enosmerni vir in izhaja iz vodnika v okolico. Tok lahko teče po prevodnih kovinskih predmetih, ki so v okolici nameščeni v druge namene (kovinske cevi, armature kablov itd.). Blodeči tok lahko povzroči korozijske poškodbe.

OBMOČJE BLODEČIH TOKOV

je prostor okrog enosmernih postrojev, v katerih blodeči toki lahko prehajajo iz enosmernih postrojev na kovinske predmete.

ZAŠČITNO OBMOČJE BLODEČIH TOKOV

je prostor, v katerem so cevi in kabli zaščiteni pred blodečimi tokovi s katodno zaščito.

TOPLOTNA UPORNOST KABLA

je določena s konstrukcijo, specifičnimi toplotnimi upornostmi izolacije in izolacijskih plaščev. Zaradi poenostavitev enačb in poenostavitve izračuna je vpeljan pojem navidezne (fiktivne) toplotne upornosti kabla, ki je odvisna od tokovnih in dielektričnih izgub.

TOPLOTNA UPORNOST KABLOVODA

je termična upornost kablovoda, ki je določena z notranjo (kabel) in zunanjo (okolica) termično upornostjo in določa sposobnost odvajanja toplote v okolico.

TERMIČNA OBREMENLJIVOST KABLOVODA

predstavlja električno obremenitev kablovoda pri kateri je zagotovljena določena sposobnost odvajanja toplote kot posledica obremenitve.

DOPUSTNA TOKOVNA OBREMENLJIVOST

je zdržni termični tok, ki lahko trajno teče v vsakem vodniku določenega tipa v normalnih pogojih, ne da bi se ta prekomerno segrel glede na mesto in pogoje vgradnje.

TOKOVNA OBREMENLJIVOST KABLOVODA

Izračun tokovne obremenljivosti kablovoda se izvede po določbah standardov serije IEC 60287-1.

TOKOVNA OBREMENLJIVOST KABLOVODA PRI KRATKEM STIKU

Izračun tokovne obremenljivosti kablovoda pri kratkem stiku se izvede po določbah standardov serije IEC 60909.

FAKTOR DIELEKTRIČNIH IZGUB TAN δ

je odvisen predvsem od vrste izolacijskega materiala, kapacitivnosti, dimenzij in dolžine kabla.

OBSIPNI MATERIAL (POSTELJICA)

je material, namenjen izdelavi kabelske posteljice, ki izpolnjuje zahteve glede termične upornosti.

ZASIPNI MATERIAL

vključuje obsipni material (posteljica) in preostali zasipni material kot je humus, tampon itd.

POJMI S PODROČJA ZAGOTAVLJANJA KVALITETE IN SKLADNOSTI

AKREDITACIJA

Z akreditacijo se ugotavlja usposobljenost za opravljanje določenih dejavnosti, na osnovi česar se podelijo pooblastila za izvajanje posameznih dejavnosti, ki so obvezne v okviru zakonodaje na posameznih področjih.

DAJANJE NA TRG

pomeni, da je proizvod prvič na voljo na trgu Skupnosti.

DIREKTIVA

Akt namenjen državam članicam Skupnosti z glavnim ciljem približevanja zakonodaj.

DISTRIBUTER

Vsaka fizična ali pravna oseba v dobavni verigi, ki ni proizvajalec ali uvoznik in da proizvod na trg.

DOKAZILO O ZANESLJIVOSTI OBJEKTA

Izjava s prilogami, ki skupaj dokazujejo, da bo objekt kot celota pri uporabi in vzdrževanju izpolnjeval predpisane bistvene zahteve in da je skladen z gradbenim dovoljenjem.

DOSTOPNOST NA TRGU

Vsaka dobava proizvoda za distribucijo ali uporabo na trgu Skupnosti (Unije) v okviru gospodarske dejavnosti, bodisi za plačilo ali brezplačno.

JAVNO NAROČANJE

Postopek naročanja blaga ali storitev s strani nosilcev javnih pooblastil namenjen javnosti.

ORGAN ZA UGOTAVLJANJE SKLADNOSTI

Organ, ki izvaja dejavnosti ugotavljanja skladnosti, vključno s kalibracijo, preskušanjem, potrjevanjem in pregledovanjem.

POOBLAŠČENI ZASTOPNIK

Vsaka fizična ali pravna oseba s sedežem v Skupnosti, ki jo je proizvajalec pisno pooblastil, da v njegovem imenu izvaja določene naloge.

PRAVILNIK

Podzakonski akt, izdan s strani resornih ministrstev. Z njimi se lahko tudi direktiva EU prenaša v slovenski pravni red.

PROIZVAJALEC

Vsaka fizična ali pravna oseba, ki izdeluje proizvod ali za katero se tak proizvod načrtuje ali izdeluje in ki trži ta proizvod pod njegovim imenom ali blagovno znamko.

STANDARD

Tehnična specifikacija za večkratno ali trajno uporabo, ki jo je odobril priznan standardizacijski organ in je na voljo javnosti.

STANDARD (MEDNARODNI)

Standard, ki ga sprejme mednarodna standardizacijska organizacija in je na voljo javnosti.

STANDARD (HARMONIZIRANI)

Evropski standard, sprejet na zahtevo Komisije za uporabo usklajevalne zakonodaje Unije.

STROKOVNI TEHNIČNI PREGLED

je pregled, s katerim se ugotovi, ali so vzdrževalna dela na objektih, napravah in omrežjih izvedena in vzdrževana v skladu s predpisi ter tehničnimi pravili in standardi. [UVDJK].

TEHNIČNI PREDPIS

Tehnične specifikacije in drugi predpisi, vključno z ustreznimi upravnimi predpisi, katerih upoštevanje je obvezno pri trženju ali uporabi v državi članici.

UGOTAVLJANJE SKLADNOSTI

Proces ugotavljanja izpolnjevanja predpisanih zahtev proizvoda, postopka, storitev, sistema.

UPORABNO DOVOLJENJE

Odločba, s katero tisti upravni organ, ki je za gradnjo izdal gradbeno dovoljenje, na podlagi poprej opravljenega tehničnega pregleda dovoli začetek uporabe objekta.

UREDBA

Splošen in v celoti zavezujoč akt namenjen vsem.

UVOZNIK

Vsaka fizična ali pravna oseba s sedežem v Skupnosti (Uniji), ki da proizvod iz tretje države na trg Unije.

ZADNJE STANJE GRADBENE TEHNIKE

Stanje, ki v danem trenutku, ko se izdeluje projektna dokumentacija ali izvaja gradnja, predstavlja doseženo stopnjo razvoja tehnične zmogljivosti gradbenih proizvodov, procesov in storitev, ki temeljijo na priznanih izsledkih znanosti, tehnike in izkušenj s področja graditve objektov, ob hkratnem upoštevanju razumnih stroškov.

3 SISTEM OZNAČEVANJA KABLOV

Za kable različnih napetostnih nivojev ni enotnega sistema označevanja, pač pa je le-to urejeno ločeno za kable, ki so obravnavani v posameznih standardih.

Označevanje NN, SN in VN kablov je določeno z nekaterimi standardi kot so SIST, EN, HD in VDE standardi, medtem ko standardi IEC nimajo svojega sistema označevanja.

Nazivna napetost elektroenergetskega kabla se označuje z napetostjo med vodnikom in zemljo (U_o - fazna napetost) in napetostjo med dvema faznima vodnikoma (U - medfazna napetost) in se podaja v kV/kV. Oznaki U_o in U se med seboj ločita s poševno črto.

V trifaznem sistemu se uporabljajo kabli nazivne napetosti U_o/U, ki jih prikazuje Tabela 1.

Oznaka je razdeljena v posamezne sklope, ki definirajo naslednje lastnosti kabla:

- konstrukcijo,
- oznake za obliko vodnika,
- nazivno napetost,
- oznako dolžine v metrih,
- ime proizvajalca oz. logotip,
- leto proizvodnje,
- označevanje žil pri kablih nazivne napetosti (npr. U_o/U = 0,6/1 kV).

Razdalja med koncem oznake in začetkom naslednje ne sme presegati 550 mm.

Osnovne podatke za okrogle in sektorske vodnike prikazuje Tabela 2. Podatki povzemajo standarde SIST EN 60228:2005 (IEC 60228:2004) DIN EN 60228 oz. VDE 0295:2005-09.

4 POGOJI ZA ZAGOTAVLJANJE KVALITETE

4.1 SPLOŠNO

Pri preverjanju kvalitete kablov je potrebno zadostiti pogojem s področja zagotavljanja varnosti (varnega obratovanja) in kvalitete na način pridobitve ustreznih dokazil, ki se izkazujejo z različnimi potrdili in oznakami.

Oznaka CE

Proizvajalec mora voditi tehnično dokumentacijo, ki mora biti na razpolago ustreznim pristojnim organom oblasti ali priglašenemu organu za EC tipsko preiskavo. Tehnična dokumentacija obsega:

- del A (tehnični podatki, EC izjava o skladnosti, izjava o lastnostih (gradbeni proizvodi), seznam standardov, opis, risbe ter druga dokazila skladnosti),
- del B (rezultati preiskav in testov, preskusna poročila, opis podatkov, podatki o kontroli kakovosti ipd.).

Oznaka CE potrjuje, da proizvod izpolnjuje minimalne zahteve ustreznih harmoniziranih predpisov in standardov pod pogojem, da je zagotovljena varnost pri uporabi. Potrebna je tudi za gradbene proizvode, ki se vgrajujejo v objekte oziroma na mestih, ki so dostopna širši javnosti. Primer: Zaščita kablov pred požarom, kjer je potrebno izdelati študijo požarne varnosti v skladu s tehnično smernico TSG1-001 2019. Podlaga za izdajo oznake CE je izjava o lastnostih.

Izjava o lastnostih je potrebna le v primeru, ko gre za gradbeni proizvod, ki se uporablja na javno dostopnih mestih, kjer se zadržuje večje število ljudi in je potrebno zagotoviti njihovo varnost (primer: kabli za NN električne inštalacije 450/750 kV).

Izjava o lastnostih potrjuje, da proizvod ustreza vsem veljavnim direktivam, ki se nanašajo na zadevni proizvod in jo mora izdati proizvajalec ali njegov pooblaščenec v eni od držav članic EU.

Požarno varnost zaradi obratovanja SN in VN kablovodov v bivanjskih prostorih oz. prostorih, ki so dostopni širši javnosti, rešuje s požarnimi conami in sistemi za gašenje.

Tako EC izjava o skladnosti kot tudi izjava o lastnostih oz. drugo dokazilo skladnosti je osnovni dokument, ki potrjuje, da proizvod ustreza vsem veljavnim direktivam, ki se nanašajo na proizvod, nič pa ne pove o kakovosti, zato je za preverjanje kakovosti potrebno preverjati dokumentacijo, ki spada v del B.

Odstopanja od obveznosti priprave izjave so dovoljena v primerih, ko gre za:

- individualen proizvod, izdelan po naročilu v izven-serijski proizvodnji, ki je vgrajen v objekt po nacionalnih pravilih,
- proizvod, narejen na gradbišču (veljajo nacionalna pravila), ali

- gradbeni proizvod, proizveden na tradicionalen (neindustrijski) način, ki ustreza spomeniškemu varstvu (kot je npr. ustrezna obnova uradno zaščitenega ali zgodovinsko pomembnega gradbenega objekta).

Gradbeni proizvod pomeni vsak proizvod ali sklop proizvodov, ki je proizveden in dan na trg za trajno vgradnjo v gradbene objekte ali njihove dele, ter katerega lastnosti spremenijo lastnosti gradbenih objektov glede na osnovne zahteve za gradbene objekte.

Zaradi zagotavljanja kvalitete vgrajene opreme v kabelsko omrežje je potrebno med proizvodnjo kabla in kabelskega pribora, med prevzemanjem in montažo izvršiti preskuse in meritve, ki jih določajo standardi za predmetno opremo.

Pri prevzemu je potrebno pregledati rezultate tipskih preskusov, opraviti kosovne preskuse na celotni proizvedeni količini in vzorčne preskuse na vzorcih kabla, katerih število določa standard. SN kabli so opredeljeni v standardu SIST HD 620 S2 Part 10- C- 16, v skladu s katerim se vzorčni preskusi opravijo na 10 % količine izdelanega kabla oziroma najmanj na eni dolžini.

AKREDITACIJA

Vsaka država ima svoj nacionalni akreditacijski organ, ki opravlja naloge akreditiranja znotraj svojega teritorija. Nacionalna akreditacijska služba v Republiki Sloveniji je Slovenska akreditacija (SA).

Pomembna funkcija SA je akreditacija podjetij, inštitutov, laboratorijev, servisnih delavnic in drugih ustanov. Z akreditacijo omenjene organizacije dobijo pooblastila za izvajanje posameznih dejavnosti, ki so obvezne v okviru zakonodaje na posameznih področjih. Akreditacije lahko pridobijo laboratoriji (preskušanje in kalibriranje), certifikacijski organi (certificiranje proizvodov, sistemov vodenja ali osebja) in kontrolni organi (ugotavljanje skladnosti z določenimi zahtevami). Organizacije morajo za pridobitev izpolnjevati naslednje zahteve: dokumentacija (poslovnik dejavnosti), ustrezna kadrovska struktura, ustrezna oprema, ustrezno okolje.

Z akreditacijo se ugotavlja usposobljenosti za opravljanje določenih dejavnosti. V postopek akreditacije se lahko vključi vsak laboratorij, ki izvaja kalibriranje ali preskušanje ter vsak certifikacijski organ za certificiranje proizvodov, sistemov vodenja, storitev oziroma osebja, ali kontrolni organ. Podlaga za delo na področju akreditiranja, preskušanja, certificiranja in kontrole so standardi serije ISO 17000. Določbe, vezane na akreditacijo znotraj EU, najdemo v Uredbi (ES) 765/2008.

Akreditacijska listina vsebuje navedbo postopkov v skladu z ustreznimi standardi, za katere je bila preskusnemu laboratoriju podeljena akreditacija, in ki se izvajajo v sklopu različnih postopkov dokazovanja kvalitete kot je npr. tipsko in kosovno preskušanje kablov.

PREVERJANJA KVALITETE PROIZVAJALCA IN PROIZVODA

Cilj presoje proizvajalca je potrditi sledljivost postopkov v skladu s katerimi poteka proizvodnji proces. Pomembno je tudi spremljanje najnovejših trendov tehnološkega razvoja in aktivnosti

ustreznih raziskovalnih inštitucij ter spremljanje osnutkov novih standardov ali njihovih izpopolnitev oz. dopolnitev. Za izvedbo postopka presoje proizvajalca je potrebno od proizvajalca pridobiti naslednja verodostojna dokazila o zagotavljanju kvalitete:

- postopek proizvodnega procesa z blok shemo,
- poslovnik o zagotavljanju kvalitete (ang. Quality Manual),
- akreditacijsko listino z navedbo akreditiranih preskusnih postopkov,
- dokazila o kalibraciji merilne opreme,
- dokazila o ustreznosti proizvodnje opreme,
- dokazila o izvoru in kvaliteti vhodnih materialov,
- dokazila o rezultatih vhodne, medfazne in izhodne kontrole,
- poročila o uspešno opravljenem tipskem preskušanju v skladu z zahtevanimi standardi,
- poročila o uspešno opravljenem dolgotrajnem preskušanju v skladu z zahtevanimi standardi,
- certifikat o zagotavljanju kvalitete proizvodov za proizvodnjo enoto, ki jih izdeluje.

CERTIFICIRANJE PROIZVAJALCA

V skladu s harmonizacijo z EU navodili se vse več proizvajalcev odloča za certificiranje svoje proizvodnje oziroma izdelkov. To je najvišja oblika sprejemne dokumentacije, ker je certifikat izdan s strani akreditiranega laboratorija oziroma institucije. Certifikat pomeni potrdilo o ustreznosti. Akreditiran organ za certificiranje izda na podlagi pregleda proizvodnje oz. izdelka potrdilo o ustreznosti – certifikat, da je proizvodnja ustrezna in zato tudi izdelek izdelan v skladu z zahtevanimi standardi oziroma drugo predpisano regulativo s tega področja.

Primer certifikata na področju kablov je npr. VDE znak. Podlaga za certificiranje kablov in pripadajočega pribora je pregled zagotavljanja kvalitete kablov in pribora, ki obsega poslovnik kakovosti, pregled proizvodnega procesa, pregled rezultatov tipskega preskušanja in dokazil o kvaliteti vhodnih materialov, vključno s sledljivostjo dobave, ter pregled izvajanja preskusov med proizvodnjo fazo na naključno izbrani količini kablov in pribora ter izvajanja kosovnega preskušanja ob dobavi naročenih količin, skladno z ustreznimi standardi in tehničnimi specifikacijami. Za zahtevnejše konstrukcije kablov, ki so izpostavljeni težjim obratovalnim pogojem (npr. večja električna poljska jakost na vodniku in izolaciji kabla), se dodatno izvaja še prekvalifikacijsko preskušanje, ki je vezano na daljšo dobo preskušanja in preverjanja.

<u>Pomen certifikata:</u> kvaliteta izdelka, zaščita kupca, usklajenost z mednarodnimi standardi, varnost, arhiviranje, trajnost.

Ključni elementi, ki določajo sistem kakovosti, so zakonodaja, nadzor, standardizacija, nivo organov za ocenjevanje skladnosti proizvodov in procesov s predpisi in standardi, obnašanje kupcev, porabnikov in potrošnikov.

NIZKO NAPETOSTNA DIREKTIVA (LVD)

LVD je bila sprejeta v EU leta 1973 z namenom harmonizacije zakonov držav članic na področju varnosti električnih proizvodov v napetostnem razredu 50-1000 V za izmenično napetost in 75-1500 V za enosmerno napetost. Dopolnila se je leta 1993 z direktivo CE.

Leta 2006 je bila zaradi bistvenih sprememb izdana kodificirana različica in sicer Direktiva 2006/95/ES Evropskega parlamenta in Sveta o uskladitvi zakonodaje držav članic v zvezi z električno opremo, konstruirano za uporabo znotraj določenih napetostnih mej.

Zaradi potreb po številnih novih spremembah je leta 2014 direktivo zamenjala nova in sicer Direktiva 2014/35/EU Evropskega parlamenta in Sveta o harmonizaciji zakonodaj držav članic v zvezi z omogočanjem dostopnosti na trgu električne opreme, ki je načrtovana za uporabo znotraj določenih napetostnih mej, ki pa dovoljuje uporabo proizvodov, ki so bili dani na trg na podlagi predhodne direktive pred 20. aprilom 2016 (25. člen).

Določila LVD direktive se nanašajo le na NN kable in so vezana na zahteve s področja izpolnjevanja varnosti.

OZNAKA CE

pomeni oznako, s katero proizvajalec izjavlja, da je proizvod skladen z veljavnimi bistvenimi zahtevami usklajevalne zakonodaje Skupnosti in ki predpisuje njegovo namestitev.

Določila označevanja s CE znakom se nanašajo le na NN kable.

OZNAKE VDE: VDE ZNAK IN VDE REGISTRACIJSKA ŠTEVILKA

VDE znak za elektrotehniške proizvode potrjuje skladnost z VDE določili oz. evropskimi ali mednarodnimi harmoniziranimi standardi, kar pomeni, da so izpolnjene varnostne zahteve pripadajočih smernic s stališča električnih, mehanskih, termičnih, toksikoloških, radioloških in drugih lastnosti in je zagotovljena visoka sprejemljivost certificiranih sposobnosti, kar omogoča enostaven pristop na svetovna tržišča.

VDE znak ali VDE registracijsko oznako lahko pridobijo električni kabli, katerih kakovost in varnost je bila pregledana s strani ustreznih postopkov preverjanja s strani združenja elektrotehnikov, elektronikov in informatikov - VDE (ang. »Association of Electrical Engineering, Electronics and Information Technology«). VDE organizacija se ponaša z visoko sprejemljivostjo v vseh industrijskih branžah tako v Nemčiji kot tudi širše po svetu. Med drugim promovira skladnost z zahtevami standardov s področja zagotavljanja varnosti in preverjanja kvalitete.

Registracijska številka, ki je odtisnjena na zunanjem plašču kabla pomeni, da imajo kabli s to označbo določena odstopanja od zahtev standarda.

<u>VDE znak za kable (nem. »VDE Kabelzeichen«)</u>

se uporablja pri kabli in vodnikih, izolacijskih ceveh in inštalacijskih kanalih. Podeli se v primeru, da so izpolnjene vse zahteve pripadajočega standarda.

VDE registracijska številka

Pridobitev VDE registracijske številke zagotavlja, da se izvajajo ustrezne preverbe s strani VDE strokovnih inženirjev tako v zvezi z samim procesom proizvodnje, kot tudi kvalitete končnega produkta. Le v primeru, da so pri obeh izpolnjeni vsi kriteriji, lahko kabel pridobi registrsko oznako. VDE oznaka je tako veliko več kot formalnost. Potrjuje, da je bila s strani neodvisnega inšpekcijskega organa potrjena visoka raven zagotavljanja zahtev glede varnosti in kvalitete s strani ustreznih standardov s teh dveh področij.

Certificiranje v obliki VDE registracijska številke pomeni, da je bil za nek proizvod podeljen atest oz. ekspertno mnenje (nem. Gutachten) s pomočjo spremljanja oziroma nadzorovanja procesa zagotavljanja kvalitete v postopku proizvodnje (nem. Fertigungsüberwachung). VDE registracijska številka predpostavlja uporabo omejenih zahtev standarda, ali pa, da so poleg zahtev standarda postavljene dodatne zahteve, ki jih predmetni standard ne predpisuje.

Pri kablih in vodnikih se lahko podeli VDE registracijska številko v primeru, da nekatere zahteve odstopajo od tistih, ki jih zahteva standard, v skladu s katerim se preverja kvaliteta kabla in opravlja preskušanje. V to skupino se uvrščajo npr. posebne konstrukcije kot tudi izpeljanke, ki niso opredeljene s standardom.

Primer: VDE oznake za SN kabel z vodotesnim vodnikom

Če naročnik želi nabaviti SN kabel z vodotesnim vodnikom, katerega kvaliteta je preverjena s strani nemške organizacije VDE, je to mogoče zagotoviti z registracijsko številko, saj VDE znaka za kabel take izvedbe (z vodotesnim vodnikom) ne more pridobiti, ker to pomeni odstopanje od standarda VDE 276-620 oz. nemške sekcije standarda HD 620 S2 (Part 0, 1 in 10-C). VDE registracijska številka je dokument, v katerem so navedena vsa odstopanja od standarda, ki je prevladujoč.

Na sliki 1 so prikazni različni primeri VDE označevanja.

Slika 1: VDE znak za kable (levo) in VDE registracijska številka (sredina) in VDE znak (desno)

STANDARDIZACIJA

Je metoda poenotenja na določenem področju z uporabo standardov. Postopek nastanka standarda ni definiran z zakonodajo ali drugo regulativo. Običajno je le ta posledica želja in procesov v družbi, ki želi določene postopke, tehnologijo, organizacijo in druge življenjske procese poenotiti oz. standardizirati v smislu optimizacije, poenostavljanja oziroma izboljšanja

kvalitete življenja na vseh področjih. V okviru podjetij, inštitutov, izobraževalnih ustanov, državnih organov in drugih institucij, zainteresiranih za nastanek nekega standarda, se formirajo delovne skupine. Te se registrirajo v okviru odgovornega ministrstva in urada. Standardi so neobvezni, obvezna uporaba se določi z zakonodajo in drugo regulativo.

TEHNIČNA DOKUMENTACIJA ZA IZDELAVO KABLA

Proizvajalec mora voditi tehnično dokumentacijo, ki je na razpolago ustreznim pristojnim organom oblasti za namene kontrole ali pa priglašenemu organu za EC tipsko preiskavo. Dokumentacija mora biti zaradi lažjega pregleda razdeljena na dva dela. Prvi del A obsega tehnične podatke za možno kontrolo ugotavljanja skladnosti in sicer EC izjavo o skladnosti, ime in naslov proizvajalca ter tipsko oznako proizvoda, seznam uporabljenih standardov, splošni opis proizvoda, navodilo za uporabo in vzdrževanje, shematske in konstrukcijske risbe. Drugi del B obsega opise in razlage, potrebne za razumevanje prvega dela A, rezultate preiskav in testov, preskusna poročila, opis podatkov, podatke o kontroli kakovosti ipd.

Dokumentacijo je potrebno hraniti najmanj 10 let od zadnjega proizvedenega proizvoda. Priporoča se arhiviranje certifikatov ostalih evropskih institucij, preskusnih poročil certifikacijskih organov, projektnih in izvedbenih načrtov, fotografskega materiala, analiz proizvodov, povezanih z reklamacijami ter druge dokumentacije, če se proizvod izdeluje variantno.

TEHNIČNI PREGLED

S tehničnim pregledom se preveri, ali je objekt izveden v skladu z gradbenim dovoljenjem, sta dokumentacija za pridobitev uporabnega dovoljenja in dokazilo o zanesljivosti objekta izdelana v skladu s predpisi, ali so bili upoštevani pogoji in ukrepi, določeni v gradbenem dovoljenju, in ali je izvedena minimalna komunalna oskrba objekta [GZ].

TEHNIČNA SMERNICA

Dokument, s katerim se za določeno vrsto objekta uredi natančnejša opredelitev bistvenih zahtev, pogoji za projektiranje, izbrane ravni oziroma razredi gradbenih proizvodov in materialov, ki se smejo vgrajevati, ter načini njihove vgradnje in način izvajanja gradnje z namenom, da se zagotovi zanesljivost objekta ves čas njegove življenjske dobe, kadar je to primerno, pa tudi postopke, po katerih je mogoče ugotoviti, ali so takšne zahteve izpolnjene.

DOPUSTNA TERMIČNA OBREMENLJIVOST KABLOVODA

Pri dimenzioniranju kablovoda je potrebno zagotoviti ustrezno rezervo glede na mejno termično obremenljivost. Pri mejni termični obremenitvi so izgube zelo velike, zato je ta dovoljena le v stanjih rezervnega napajanja, ker je vpliv izgub zaradi kratkega časa trajanja obremenitve zanemarljiv. Seveda pri tem padec napetosti ne sme preseči vrednosti 12,5 %, ki je predpisana za rezervna stanja napajanja. Dopustna obremenitev kablovodov v normalnih obratovalnih stanjih je odvisna od vrste omrežja. V radialnih omrežjih se v normalnih obratovalnih stanjih dopušča obremenjevanje kablovodov do 50 % termične moči zaradi zagotavljanja rezervnega napajanja, v omrežjih z zaprtimi zankami (dvostransko napajanje) pa se smejo kablovodi

obremeniti do 75 % termične moči v primeru samostojnega polaganja posameznega kabelskega sistema. Pri daljnovodih se v normalnih obratovalnih stanjih dopušča obremenjevanje do 50 % termične moči zaradi kratke termične časovne konstante. Pri daljnovodih je termično ravnovesje doseženo v nekaj minutah, medtem ko se pri kablovodih zaradi razmeroma dolge termične časovne konstante vzpostavi bodisi v nekaj minutah, lahko pa tudi šele v nekaj tednih, odvisno od velikosti trenutne obremenitve, dimenzije kabla in konstrukcije, termične zgodovine kabla in načina polaganja.

V primeru nadaljevanja daljnovodnega omrežja s kablovodom je potrebno zagotoviti ekvivalentno prenosno zmogljivost, ta pa ni odvisna samo od prereza vodnika, ampak tudi od načina polaganja in sposobnosti oddajanja toplote v okolico.

4.2 PREVERJANJE PROIZVAJALCA S STRANI NAROČNIKA (AUDIT)

Naročnik preveri usposobljenost proizvajalca na več načinov. Eden izmed najpomembnejših je zagotovo AUDIT tovarne. V okviru AUDIT-a se v prostorih proizvajalca izvede pregled in ocena zagotavljanja kakovosti izdelave visokonapetostnih kablov, pregled sistema kakovosti (postopki zagotavljanja kakovosti, certifikati, vplivi zunanjih dejavnikov na kakovost itd.) proizvodnje v skladu z ISO 9001, ISO / IEC 17025, zagotavljanje kakovosti vhodnega materiala, oprema laboratorijev (postopki, kalibracija instrumentov, akreditacije), preverjanje dokumentacije in naključno preverjanje postopkov kakovosti in notranjih poročil. Presojevalec preverja tudi dokumentacijo tipskih preizkusov (popolni tipski preizkus kablov) in preverja poznavanje standardov, po katerih se kabli izdelujejo.

Auditor oziroma presojevalec, uporabi vprašalnik, katerega mu predhodno ni potrebno pokazati proizvajalcu, saj se na ta način ocenjuje tudi pripravljenost službe za zagotavljanje kakovosti v tovarni QA/QC. V okviru AUDIT-a se lahko izvedejo tudi kosovni in vzorčni preizkusi za potrebe preverjanja laboratorijev (mehanskih in električnih preskusov), kjer se oceni način sprejema vzorca, ravnanja z njim, usposobljenost kadrov, poznavanja preizkusnih metod, zagotavljanje nizke stopnje pojavljanja napak ter zagotavljanja varnosti. Za izvedbo AUDIT-a je s strani proizvajalca zadolžen vodja QA/QC, presojevalec pa je običajno predstavnik strokovne inštitucije, ki pozna standarde ter postopke za zagotavljanje kakovosti izdelave VN opreme/kablov, je lahko opravil tečaj interne presoje po ISO/IEC 17025 ali je že opravljal »AUDIT« proizvajalcev.

Po končani presoji se objavi strokovno mnenje (poročilo), ki izkazuje, ali ima proizvajalec zagotovljen ustrezen proces zagotavljanja kakovosti izdelave visokonapetostnih kablov.

4.3 PRESKUŠANJE KABLOV

Preskušanje kablov je razdeljeno v posamezne sklope, ki se izvajajo za različne namene in glede na zaključene faze v proizvodnem procesu. Po rangu zagotavljanja kvalitete se delijo na tipsko, kosovno vzorčno preskušanje, po mestu kjer se opravijo pa na FAT (Factory Acceptance Test) in SAT (Site Acceptance Test).Tipsko preskušanje se izvaja v sklopu preverjanja novega tipa

proizvoda in se ponavlja v periodičnih časovnih obdobjih z namenom spremljanja kontinuitete zagotavljanja predpisanih zahtev. Kosovno in vzorčno preskušanje se izvaja v sklopu preverjanja določenega kontingenta proizvedenih enot npr. preskušanje naročene opreme posameznega naročnika.

4.4 TIPSKI PRESKUSI KABLOV

Tipski preskusi kablov se opravljajo pri proizvodnji novega tipa kabla, da bi se preverile obratovalne sposobnosti in s tem ustreznost kabla s standardom, po katerem je zgrajen. V sklop tipskih preskusov sodijo tudi nekateri preskusi, ki se izvajajo v okviru kosovnega in vzorčnega preskušanja.

Prikaz tipskih preskusov kablov v odvisnosti od vrste kablov podaja Tabela 37 v prilogi.

Tipskih preskusov ni potrebno ponavljati, razen če se ne spremeni kakšen element konstrukcije kabla ali material kabla, ki bi lahko spremenil obratovalne karakteristike kabla.

Proizvajalec kabla je dolžan na zahtevo kupca dostaviti dokumentacijo o preverjanju kvalitete za posamezni tip kabla, ki obsega poročila o tipskem, kosovnem, izbirnem preskušanju, izjavo o skladnosti, Poslovnik o zagotavljanju kvalitete, certifikate in akreditacijske listine, tehnične specifikacije itd. Če strokovna inštitucija, ki opravlja akreditacijo, ni iz EU oziroma države, ki ni polnopraven član EA (Evropsko združenje za akreditacijo) ali ima z njim podpisan sporazum o medsebojnem priznavanju akreditacij (MRA) med EA in mednarodnim združenjem za akreditacijo certifikacijskih in nadzornih organov (IAF), je potrebno dokumentacijo o tipskem preskušanju kabla nostrificirati na ustrezni ustanovi, ki je polnopraven član EA.

4.5 OBVEZNI KOSOVNI PRESKUSI KABLOV

Obvezni kosovni preskusi kablov pa se izvajajo v tovarni (pri proizvajalcu) na celotni izdelani količini kabla in tudi pri prevzemu, da bi se preverila njihova obratovalna zanesljivost.

Prikaz obveznih kosovnih preskusov kablov v odvisnosti od vrste kablov podaja Tabela 38.

Proizvajalec in kupec se medsebojno dogovorita o prisotnosti predstavnika kupca pri obveznih preskusih kablov. Za vsako dobavljeno dolžino kabla je proizvajalec dolžan dostaviti kupcu dokazilo o obveznih preskusih. Smiselno se uporabljajo določila ustreznega standarda.

4.6 VZORČNI PRESKUSI KABLOV

Vzorčni preskusi se izvajajo na vzorcih izdelanih kablov ali na elementih, vzetih iz izdelanega kabla za kontrolo izpolnjevanja zahtev standarda, po katerem je kabel izdelan.

Preskusi se izvajajo na največ 10 % izdelanih dolžin kabla istega tipa in konstrukcije, naročene po pogodbi.

Če gre za manjše količine kablov (manj od 2 km za večžilne kable in manj od 4 km za enožilne kable), se preskusi izvajajo na najmanj eni izdelani dolžini kabla.

Če eden izmed vzorcev ne zadovolji zahtevam vzorčnih preskusov, je dovoljeno izbrati dva nova vzorca (z mesta, ki je oddaljen najmanj 0,5 m od koncev kabla) iz iste dobavne količine in jih preskusiti z istim preskusom, katerega predhodni vzorec ni zadovoljil.

Če novi vzorci zadovoljijo preskuse, se šteje, da celotna dobavljena količina izpolnjuje zahteve standarda, po katerem je bil kabel izdelan.

Če v standardu določen odstotek novih vzorcev ne izpolnjuje zahtev ustreznega standarda pri ponovljenem preskusu, se šteje, da celotna količina kabla, pripravljena za dobavo, ne ustreza standardu.

Pregled vzorčnih preskusov in ustreznih predpisov v odvisnosti od konstrukcije kabla prikazuje Tabela 39.

Proizvajalec kabla je dolžan dostaviti kupcu ustrezna dokazila o izvršenih vzorčnih preskusih. Prisotnost predstavnika kupca pri vzorčnih preskusih kabla se določi z medsebojnim dogovorom med kupcem in proizvajalcem.

4.7 TOVARNIŠKI PREVZEMNI PRESKUSI (ANGL. FAT - FACTORY ACCEPTANCE TEST)

Tovarniški prevzemni preskusi, ki se izvedejo v sklopu prevzema naročene opreme, so sestavljeni iz kosovnih preskusov ter posameznih vzorčnih in tipskih preizkusov, ki jih določi naročnik.

4.8 DODATNO PRESKUŠANJE DOBAVLJENIH KABLOV IN KABELSKEGA PRIBORA

Pri dobavljeni količini kablov in kabelskega pribora naročnik lahko predpiše naključno preverjanje kvalitete na določenem številu kablov in kabelskega pribora. Ta opremo lahko preveri sam ali pa preverjanje zaupa pooblaščeni strokovni inštituciji oz. njenemu akreditiranemu laboratoriju zlasti v primeru, če želi preveriti skladnost dobavljene opreme z zahtevami in pogoji pripadajočih standardov

4.9 IZVAJANJE VHODNE KONTROLE PRI PREVZEMU KABLA

Preverjanje ustreznosti na posameznih dobavljenih količinah kablov ob dobavi mora potekati skladno z navodili in zahtevami ustreznih standardov.

Pri dostavi blaga k naročniku je potrebno sodelovanje strokovno usposobljene osebe, ki pregleda blago in izbere morebitne naključne vzorce za ponovno preverjanje in preskušanje ob dostavi. Preverjanje se izvede skladno z navodili podjetja. Preverjanje obsega :

- preverjanje pravilnega transporta – položaj kabelskih bobnov,
- stanje in material kabelskih bobnov ter izvedba uvodnic,
- preverjanje nameščenih kapic na koncih kablov,

- vizualni pregled stanja kabla (poškodovanost kabla, oznake na kablih),
- preverjanje ustreznosti naročenih dolžin,
- preverjanje podatkov o izvedenem kosovnem preskušanju,
- odvzem vzorcev za ponovitev omejenega obsega kosovnega preskušanja,

Uprava podjetja imenuje komisijo za pregled materiala pred prevzemom. Pred prevzemom materiala mora skrbnik pogodbe o predvideni dobavi obvestiti vsaj enega člana komisije. Ta član je dolžan material preveriti, ali material ustreza tehničnim zahtevam s pogodbe.

4.10 PRESKUSI NA MESTU VGRADNJE (ANGL. SAT - SITE ACCEPTANCE TEST)

Z namenom zagotovitve kvalitete pri izvedbi del, ki je vezana na polaganje kablov in izdelavo kabelskega pribora, je pred vstavitvijo kablovoda v obratovanje potrebno upoštevati določila ustreznih standardov in pogodbe. Zahteve so vezane na preverjanje celovitosti izolacije zunanjega plašča in glavne izolacije. V ta namen se izvedeta napetostni preskus zunanjega plašča kabla in napetostni preskus glavne izolacije, z možnostjo dodatnih meritev delnih razelektrenj in izgubnega kota (tan δ).

5 SPLOŠNE DOLOČBE (ZAHTEVE) ZA POLAGANJE KABLOV

Minimalne tehnične pogoje za gradnjo, obratovanje in vzdrževanje elektroenergetskih vodov izmenične napetosti nad 1 kV določa pravilnik o tehničnih pogojih za graditev podzemnih elektroenergetskih vodov izmenične nazivne napetosti nad 1 kV do 400 kV (Uradni list RS, št. 42/2021).

Predmetni pravilnik prav tako določa naslednje temeljne zahteve, ki jih je treba upoštevati pri gradnji:

Podzemni EE vod nad 1 kV mora biti grajen tako, da je zagotovljeno:

- zanesljivo obratovanje,
- varna uporaba in vzdrževanje,
- zaščita pred neposrednim in posrednim dotikom delov pod napetostjo,
- zaščita pred nevarnostjo obloka in pregrevanjem,
- zaščita pred udarom strele in prenapetostjo,
- mehanska odpornost in stabilnost,
- varnost pred požarom,
- higienska in zdravstvena zaščita ter zaščita okolice.

Zemeljska dela je potrebno izvajati v skladu s splošnimi zahtevami gradbenih norm in drugih obstoječih predpisov, ki obravnavajo tovrstna dela.

Pri večjem številu paralelnih sistemov kablovodov je pred zasutjem potrebno upoštevati temperaturne razlike med dnevom in nočjo ter vpliv sončnega obsevanja na raztezanje kablov in posledično spreminjanje razdalj med bližnjimi paralelnimi kabli.

Globina kabelskega jarka se praviloma določa po nazivni napetosti in številu paralelno položenih kablov.

Praviloma znaša normalna globina jarka v zemlji, kjer ni ostalih inštalacij za:

- SN kabel U_o/U = 0,6/ 1kV, 6/10 kV in 12/20 kV 0,8 m
- SN kabel U_o/U = 18/30 kV (20/35 kV) 1,0 m
- VN kabel U_o/U = 64/110 kV 1,4 m
- debeloslojna PE cev za optični kabel ϕ 50 mm pri SN kablih 12/20 kV 0,8 m
- debeloslojna PE cev za optični kabel ϕ 50 mm pri SN kablih 18/30 kV(20/35 kV) 1,0 m

Možne so tudi manjše globine, če so izvedeni posebni zaščitni ukrepi oziroma posebni pogoji polaganja. Pri prehodih cest in ulic z gostim prometom naj bo globina zgornjega roba cevi najmanj 0,5 m.

Odstopanje od normalne globine polaganja kablov je dovoljeno pri križanjih z drugimi podzemnimi inštalacijami ter pri paralelnem polaganju kablov različnih napetostnih nivojev v skupni jarek.

Za zmanjšanje medsebojnega vpliva paralelno položenih kablov (TK-TK, TK-EK, EK- EK) je treba upoštevati najmanjše dopustne medsebojne oddaljenosti kablov kot prikazuje Tabela 33.

Če razdalje ki jih podaja Tabela 33**Error! Reference source not found.** ni mogoče zagotoviti, so dopustne tudi manjše razdalje oz. v dogovoru z drugimi upravljavci kot to določa pravilnik o tehničnih pogojih za graditev podzemnih elektroenergetskih vodov izmenične nazivne napetosti nad 1 kV do 400 kV.

Jarek, v katerega se polagajo podzemni kabli, se koplje kot odprti jarek.

Pri prehodih trase kablov pod železniško in tramvajsko progo ali cestiščem pomembnejših prometnic, na katerih se promet ne sme ovirati, se izvaja z podvrtavanjem ali prebijanjem odprtine in naknadno uvleko kabla skozi cev.

Stene jarka so lahko navpične ali poševne. Jarki z navpičnimi stenami se kopljejo v zemljišču, ki se ne zasipava. Dela se izvajajo skladno z gradbenimi uzancami.

V sipkem zemljišču je potrebno stranice jarka kopati poševno. Velikost nagiba je odvisna od vrste zemljišča, vlažnosti in vrste obremenitve, ki deluje na robovih jarka.

Kopanje jarka se izvede ročno ali z ustrezno mehanizacijo.

Pri izkopu jarka ob cestišču se zemlja ne sme odlagati v odvodne kanale.

EKK mora biti zgrajena tako, da ni ovirano odtekanje vode s ceste, da meteorna voda ne priteka na cesto ter da voda ni speljana v naprave za odvajanje ceste in cestnega telesa.

Odtočne jaške, ventile za plin in vodo, hidrante, jaške za TK vode in elektroenergetske vode se ne sme zasipavati z zemljo.

Med gradnjo mora biti zaradi preglednosti in varnosti ves material ustrezno oddaljen od zunanjega roba ceste.

Za varnost pešcev in vozil je potrebno izkopani jarek kakor tudi vse druge gradbene jame predpisno označiti in zavarovati. Če ni cestne razsvetljave, je potrebno ponoči izkopani jarek označiti s svetlobno opozorilno signalizacijo.

Vhod v hiše in poslovne prostore se izvede z mostovi za ustrezno obremenitev in z ustrezno varnostno ograjo.

Ovire v kabelskih jarkih (zidovi, druge podzemne inštalacije, arheološke najdbe) moramo pazljivo obiti in zaščititi. Če je potrebno začasno odstraniti mejne kamne in merilne točke, je potrebno zagotoviti njihovo ponovno namestitev s strani pooblaščene organizacije.

Obstoječe postroje in objekte kot so cestna razsvetljava, stebri, razdelilne omarice in podobno, katerih stabilnost bi bila pri izkopu ogrožena, je potrebno strokovno zavarovati v skladu z veljavnimi predpisi.

Stavbe in zidove, kjer se v neposredni bližini kopljejo jarki, je potrebno dobro podpreti. Kabel se polaga v oddaljenosti najmanj 0,6 m od temeljev in zidov zgradb, če se ne ogroža stabilnosti objekta.

Pri izkopu kabelskega jarka vzdolž drevoreda se priporoča oddaljenost najbližje stene jarka do debla 2,5 m. Zaradi izsuševanja in vpliva korenin na kabel je priporočljivo kable položiti v cevi.

Površine, pod katerimi rastejo korenine, se z težkimi stroji ne utrjuje, ne odkopava in ne nasipa ter ne odlaga gradbenega materiala. V kolikor bo poseganje v koreninski sistem neizogiben, je dela treba izvajati ročno. Korenine ne smejo priti v stik s škodljivim sredstvom.

Vse podzemne inštalacije, ki so položene vzdolž jarka ali ga križajo, je potrebno pri večji širini jarka zaščititi.

V primeru, da vendarle pride pri delih do poškodb podzemnih inštalacij, je potrebno takoj obvestiti lastnika oziroma upravljalca.

Vse objekte in postroje je investitor dolžan vzpostaviti v prvotno stanje.

Lomljenje trase oziroma jarka ali spremembo globine jarka zaradi umika pred drugimi podzemnimi objekti je potrebno izvesti postopno in upoštevati polmer krivljenja kabla.

Dno jarka je potrebno zravnati in očistiti kamenja in drugih ostrih predmetov, ki bi lahko povzročili okvaro kabelskega plašča.

Dno jarka je potrebno prekriti s plastjo presejane zemlje, mivke ali drugega ustreznega materiala v debelini 10 cm, vanjo položiti kabel in ga prekriti z enako plastjo v debelini 10 cm (posteljica za kabel). Pred zasipom jarka mora nadzorni organ potrditi ustreznost izvedbe del.

6 SN KABLI

Pri SN kablih se uporablja označevanje v skladu s SIST HD 620 S2. Oznaka vsebuje podatke o materialu in vrsti vodnika, vrsti izolacije izvedbi ekrana in zunanjega plašča in morebitni mehanski zaščiti, sledi t.i. označevanje števila vodnikov, preseka in nazivne napetosti.

6.1 IZBIRA SN KABLOV

6.1.1 Splošne določbe izbire konstrukcijskih lastnosti SN kablov

V omrežjih nazivne napetosti U = 10 kV in U = 20 kV se uporabljajo kabli nazivne napetosti U_o/U = 6/10 kV, 12/20 kV. Vrednost največje napetosti kabla U_m je odvisna od nazivne napetosti omrežja, kar prikazuje Tabela 3.
Opomba: V omrežju nazivne napetosti 35 kV se do ukinitve uporabljajo kabli za nazivne napetosti (20/35) kV.

Najvišja dopustna trajna delovna temperatura vodnika in najvišja dopustna temperatura vodnika v kratkem stiku prikazuje Tabela 4.

Nazivni prerez faznega vodnika za SN enožilne in trižilne kable, v odvisnosti od nazivne napetosti prikazuje Tabela 5 (SIST HD 620 S2 Page 10-C-29 Tabela 1b).

Izolacija vodnika pri SN kablih mora ustrezati zahtevam SIST HD 620 S2 Part 1.

Konstrukcija izbranih tipov kablov za napetosti od 3,6/6 kV do 20,8/36 kV mora ustrezati določilom standardov SIST HD 620 S2 npr. SIST HD 620 S2 Part 10-C.

V skladu z novo izdajo standarda VDE 276-620:2018-04 Teil 10-C-8 je mogoče predpisati zahtevo po polprevodni plasti na zunanjem plašču (točka 13. 4).

6.2 OZNAČEVANJE SN KABLOV

Oznaka kablov v skladu s SIST HD 620 S2 PART 10-C 2010 (Nemčija) oz. VDE 276-620:2018 je sestavljena iz skupina črk in številk, ki po vrsti označujejo konstrukcijo kabla od sredine kabla (vodnik) navzven (plašč).

Ne označuje se: vodnik iz bakra, izolacija iz papirja, notranji in zunanji prevodni plašči, skupni koncentrični kovinski zaslon-ekran.

Glavne oznake:

N	A	2X	S	(FL)2Y	1	x	240/25 RM	12/20 kV
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**		**7 8**	**9**

1-	N	kabel označen v skladu s sekcijo standarda SIST HD 620 S2 Part 10-C
2-	A	vodnik iz aluminija
	-	vodnik iz bakra (brez označbe)
3-	2X	izolacija iz termostabilnega (omreženega) polietilena (XLPE)
4-	S	kovinski zaslon-ekran iz bakra
	SE	oklop iz bakra za vsako žilo posebej pri trižilnem kablu
5-	Y	PVC plašč
	2Y	PE plašč
	(F)2Y	vzdolžna vodna zapora s PE plaščem
	(FL)2Y	vzdolžna in prečna vodna zapora s Al/PE plaščem
	(FB)2Y	vzdolžna in prečna vodna zapora s Cu/PE plaščem

Oznake za obliko vodnika:

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

Dodatna oznake za armaturo:

AWA	Aluminium wire armoured
SWA	Steel wire armoured

Primer: Oznaka NA2XS2Y 1 x 240 RM/25 18/30 kV pomeni:

N	kabel označen v skladu s sekcijo standarda SIST HD 620 S2 Part 10-C
A	vodnik iz aluminija (pri vodniku iz bakra ni oznake)

2X	izolacija iz XLPE
S	kovinski zaslon-ekran iz bakra
2Y	plašč iz PE
1 x 240	kabel je enožilen, prerez vodnika je 240 mm^2
RM	večžičen okrogel vodnik
25	prerez kovinskega zaslona-ekrana je 25 mm^2
18/30	(dozemna / medfazna) napetost v kV

Označevanje SN kablov v skladu s standardom SIST HD 620 S2 ni enotno (common marking: under consideration), pač pa je način označevanja podan ločeno v posameznih sekcijah, ki pripadajo posameznim državam članicam CENELEC. V sekciji 10- C, ki pripada Nemčiji, je označevanje skladno z opisom iz točke 3.2.

Enoten je le princip in tehnološki postopek izvedbe označitve (indication of origin). Označitev mora biti kontinuirana vzdolž kabla. Predpisana je razdalja med posameznimi označitvami vzdolž kabla. Presledek med koncem predhodne oznake in začetkom naslednje ne sme presegati 550 mm, razen če je v posameznih sekcijah določeno drugače. Dodatne označbe so predpisane v posameznih sekcijah. Oznaka je vtisnjena v plašč kabla.

V zadnji izdaji standarda VDE 267-620:2018-04 Teil 10 C-8 točka 13.4 je dodana možnost izvedbe kabla s polprevodno plastjo na zunanjem plašču, katere debelina in prevodnost nista predpisani, prav tako tudi ne tehnologija izvedbe, ki pa se posebej ne označuje.

V izdaji standarda VDE 267-620:2018-04 Teil 10 C-8 točka 13.3 je spremenjena tudi določba o debelini zunanjega plašča in sicer je debelina odvisna od preseka vodnika, podana pa ni nazivna temveč najmanjša vrednost. In sicer za vodnike s presekom

- <= od 630 mm^2 2,1 mm
- <= od 800 mm^2- 1200 mm^2 2,4 mm

6.2.1 Primeri označevanja SN kablov

a) Kabel z izolacijo iz omreženega polietilena (XLPE), s polprevodnima plastema okrog vodnika in izolacije, s plaščem iz polietilena (PE), vzdolžno vodno zaporo in z električnim kovinskim zaslonom v obliki ovoja ali opleta iz bakrenih žic prereza 25 mm^2, z enim vodnikom iz aluminija prereza 150 mm^2, za nazivno napetost 12/20 kV se označuje:

NA2XS(F)2Y 1 x 150 RM/25 12/20 kV

b) Kabel z izolacijo iz omreženega polietilena (XLPE), s polprevodnima plastema okrog vodnika in izolacije, s plaščem iz polietilena (PE), vzdolžno in prečno vodno zaporo in z (kovinskim zaslonom) električno zaščito v obliki ovoja ali opleta iz bakrenih žic prereza 25 mm^2, z enim vodnikom iz aluminija prereza 150 mm^2, za nazivno napetost 12/20 kV se označuje:

NA2XS(FL)2Y 1 x 150 RM/25 12/20 kV

6.3 PRESKUŠANJE SN KABLOV

Preskušanje SN kablov se opravi po določbah SIST HD 620 S2 in drugih standardov, na katere se predmetni standard sklicuje.

V sklopu tipskega preskušanja se poleg ustaljenega nabora preskusov pri SN kablih opravljajo tudi **dopolnilni preskusni postopki**. Dopolnilni postopki za preskušanje SN kablov z izolacijo iz umetnih mas so opisani v standardu SIST HD 605 S3:2019: »Dodatne preskusne metode« (Electric cables - Additional test methods). Dodatne preskusne metode obsegajo preskušanje neelektričnih in električnih lastnosti, preskušanje ognjevarnosti in dolgotrajno preskušanje.

Med dopolnilnimi preskusnimi postopki je potrebno izpostaviti posebej dolgotrajno preskušanje. Opisano je v točki. 5.4.15 (Harmonised long duration test). Omenjeno preskušanje se lahko opravlja na kablih brez zunanjega plašča s prerezi med 95 mm^2 in 400 mm^2 z aluminijskim ali bakrenim vodnikom, debelino izolacije 3,4 mm, 4,5 mm ali 5,5 mm, rezultati preskušanja pa veljajo za vse konstrukcije vodnikov in prereze kablov nazivnih napetosti med 3,6/6 kV in 20,8/36 kV. Namen dolgotrajnega preskušanja je ugotoviti, kakšna je odpornost kabla na vodna drevesa in s tem, kakšna je njegova pričakovana življenjska doba.

Postopek harmoniziranega dolgotrajnega preskušanja v skladu s SIST HD 605 S3:2019 tč. 5.4.15 je eden izmed najpomembnejših dodatnih preskusnih postopkov in je doživel tudi največ popravkov in dopolnitev. Predmetni preskus je obvezen v večini sekcij, zato je primerno, da ga podrobneje opišemo. Sestoji iz treh glavnih sklopov, in sicer kondicioniranja, umetnega staranja in preskušanja prebojne trdnosti s stopnjevano izmenično napetostjo.

Pred preskušanjem se preskusni vzorec kondicionira v mehki vodi temperature (55 ± 5)°C v trajanju najmanj 500 ur. Med postopkom umetnega staranja je kabel potopljen v mehko vodo temperature (40 ± 5)°C. Za preskus sta potrebna dva preskusna vzorca, katerih dolžina mora biti najmanj 60 m. Prvi vzorec se stara najmanj 8750 ur (1 leto), drugi vzorec enake dolžine pa najmanj 17500 ur (2 leti). Po zaključenih periodah umetnega staranja se vzorca razrežeta v preskusne vzorce dolžine 6 x 10 m, ki ves čas ostanejo v vodi. Pred preskušanjem se vzorce opremi z končniki. Sledi preskušanje s stopnjevano izmenično napetostjo.

6.3.1 Preskušanje s stopnjevano izmenično napetostjo

Preskus je del tipskega preskušanje SN kablov v skladu s standardom HD 620 S2 Part 10 C (Harmonised long duration test.) Začetna vrednost preskusne napetosti je 3 U_o, ki se povečuje v stopnjah po U_o do preboja. Preskusni vzorec ostane priključen na preskusno napetost vsake stopnje za 5 minut. Vrednost prebojne napetosti se sproti registrira in vnaša v bazo podatkov. Če pride do preboja pri prehodu med dvema stopnjama preskušanja, se kot vrednost prebojne napetosti upošteva vrednost napetosti tiste stopnje, pri kateri še ni prišlo do preboja. Pri preskusu se dopušča defekt na enem preskusnem vzorcu. Če pride do preboja na končnikih, je te dovoljeno zamenjati. Za uspešno opravljeno preskušanje je potrebno zagotoviti rezultate na podlagi preskušanja vzorcev skupne dolžine najmanj 40 m v obeh periodah staranja (1 letni in

2 letni). Nadaljnja preskušanja, kot je dolžina vodnih dreves, se uporabljajo zgolj v raziskovalne namene in niso obligatorna.

6.4 DOPUSTNE OBREMENITVE SN KABLOVODOV

6.4.1 Splošno o nazivni tokovni obremenitvi SN kablovodov

Pri projektiranju kablovodov je potrebno zagotoviti čim bolj enakomerno termično obremenitev (ustrezen termični profil) vzdolž kablovoda, zato je potrebno zagotoviti kvalitetno odvajanje toplote iz vseh elementov in odsekov kablovoda, še posebej z mest s povečanimi izgubami in večjimi termičnimi upornostmi kot so spojke in križanja ter paralelni poteki z drugimi infrastrukturnimi vodi in objekti.

Pri zelo izpostavljenih kablovodih se lahko le-tega opremi s sistemom za spremljanje (merjenje) termične obremenitve kablovodov, ki deluje na principu merjenja temperature vzdolž kablovoda s pomočjo optičnih vlaken. Pri SN kablovodih se sistem uporabi le na posebnih kritičnih trasah, sicer pa je njegova uporaba namenjena prvenstveno VN kablovodom.

Pri projektiranju kablovodov je potrebno upoštevati, da je odvod toplote odvisen od konstrukcije in dimenzij kabla, vrste toka in napetosti, od temperature medija, v katerem je kabel položen, in od toplotne upornosti tega medija.

V normalnem obratovanju kablovodov se toplota razvija v vodniku, izolaciji, prevodnih plasteh, kovinskem plašču in armaturi.

Poleg tega je potrebno upoštevati tudi vpliv urbanizacije in umetno ustvarjenih preplastitev površin z za vodo nepropustnimi materiali (asfaltne in betonske preplastitve itd.) ter meteorne kanalizacije, ki lahko bistveno spremenijo naravne toplotne tokove in odtekanje padavinskih vod, kar predstavlja povečano nevarnost izsušitve zemljine. V navedenih primerih je potrebno uporabiti posebne termično stabilne zasipne materiale z majno specifično toplotno prevodnostjo tudi v suhem stanju.

Geometrijske karakteristike kablov se le neznatno spreminjajo v odvisnosti od temperature, pa jih zaradi tega lahko smatramo kot konstante.

Če je tokovna obremenitev kablovodov presežena za daljši čas, se lahko pojavi izsušitev okoliške zemljine. To je mogoče preprečiti ali vsaj zmanjšati z ustrezno izbiro termično stabilnih zasipnih materialov in izvedbo ustreznega kompaktiranja posameznih slojev ter izvajanjem monitoringa temperature površine kabla ali okoliške zemljine.

Tokovne obremenitve in obratovalni pogoji so podani v naslednjih tabelah:

Tokovno obremenitev SN kablov U_o/U = 6/10 kV, 12/20 kV in 18/30 kV z vodniki iz bakra in aluminija za polaganje v zemljo prikazujeta Tabela 11 in Tabela 13 in sicer:

- SIST HD 620 S2 10-C-33 tabela 7 za XLPE enožilne kable - Tabela 11
- SIST HD 620 S2 10-C-35 tabela 9 za XLPE trižilne kable - Tabela 13

- IEC 60502-2:2014 Annex B ali IEC 60502:SER:2021 Annex B

Tokovno obremenitev SN kablov U_o/U = 6/10 kV, 12/20 kV in 18/30 kV z vodniki iz bakra in aluminija za nadzemno polaganje (v zraku) prikazujeta Tabela 11 in Tabela 14 in sicer:

- SIST HD 620 S2 10-C-34 tabela 8 za XLPE enožilne kable Tabela 12
- SIST HD 620 S2 10-C-36 tabela 10 za XLPE trižilne kable Tabela 14
- IEC 60502-2:2014 Annex B ali IEC 60502:SER:2021 Annex B

Korekcijski faktorji za preračun tokovne obremenitve SN kablov v skladu z DIN VDE 0276-1000 in IEC 60502-2:2014 Annex B ali IEC 60502:SER:2021 Annex B

Pri obratovalnih pogojih, ki odstopajo od nazivnih pogojev za polaganje kablov, je potrebno tokovno obremenitev množiti s korekcijskimi faktorji iz DIN VDE 0276-1000.

Korekcijski faktor "f_1" za preračunavanje tokovne obremenitve kablov, položenih v zemljo, v odvisnosti od specifične toplotne upornosti in temperature zemljišča, za različne faktorje obremenitve in za vse konstrukcije kablov razen PVC-kabel 6/10 kV, prikazuje Tabela 15 (DIN VDE 0276-1000 tabela 4).

Korekcijski faktor "f_2" za preračunavanje tokovne obremenitve trižilnih kablov v trifaznem sistemu, v odvisnosti od števila kablov v istem jarku, specifične toplotne upornosti zemljišča in faktorja obremenitve pri linijski razporeditvi z medsebojnim razmikom kablov 7 cm, prikazuje Tabela 16 (DIN VDE 0276-1000 tabela 9).

Korekcijski faktor "f_2" za preračunavanje tokovne obremenitve enožilnih kablov trifaznega sistema, položenih v obliki trikotnika, z medsebojnim razmikom sistemov 25 cm, v odvisnosti od števila sistemov v istem jarku, specifične upornosti zemljišča in faktorja obremenitve, prikazuje Tabela 17 (DIN VDE 0276-1000 tabela 7).

Korekcijski faktor "f_2" za preračunavanje tokovne obremenitve enožilnih kablov trifaznega sistema, položenih v obliki trikotnika z medsebojnim razmikom sistemov 7 cm, v odvisnosti od števila sistemov v istem jarku, specifične upornosti zemljišča in faktorja obremenitve, prikazuje Tabela 18(DIN VDE 0276-1000 tabela 6).

Korekcijski faktor "f_2" za preračunavanje tokovne obremenitve enožilnih kablov trifaznega sistema, položenih v liniji z medsebojnim razmikom sistemov 7 cm, v odvisnosti od števila sistemov v istem jarku, specifične upornosti zemljišča in faktorja obremenitve, prikazuje Tabela 19 (DIN VDE 0276-1000 tabela 8).

Korekcijski faktorji za posamezne vplivne veličine so podani tudi v standardu IEC 60502- 2:2014 Annex B ali IEC 60502:SER:2021 Annex B in sicer:

Table B.10 Korekcijski faktorji za odstopanje od referenčne temperature zemlje (angl. Correction factors for ambient air temperatures other than 30°C)

Table B.11 Korekcijski faktorji za odstopanje od referenčne temperature zraka (angl. Correction factors for ambient ground temperatures other than 20°C

Table B.12 Korekcijski faktorji za odstopanje od referenčne globine pri polaganju v odprti jarek (angl. Correction factors for depths of laying other than 0,8 m for direct buried cables

Table B.13 Korekcijski faktorji za odstopanje od referenčne globine pri polaganju v cevi (angl. Correction factors for depths of laying other than 0,8 m for cables in ducts

Table B.14 Korekcijski faktorji za odstopanje od referenčne termične upornosti 1,5 K.m/W pri polaganju enožilnih kablov v odprti jarek (angl. Correction factors for soil thermal resistivities other than 1,5 K.m/W for direct buried single-core cables

Table B.15 Korekcijski faktorji za odstopanje od referenčne termične upornosti 1,5 K.m/W pri polaganju enožilnih kablov v cevi (angl. Correction factors for soil thermal resistivities other than 1,5 K.m/W single-core cables in buried ducts

Table B.16 Korekcijski faktorji za odstopanje od referenčne termične upornosti 1,5 K.m/W pri polaganju trižilnih kablov v odprti jarek (angl. Correction factors for soil thermal resistivities other than 1,5 K.m/W for direct buried three-core cables

Table B.17 Korekcijski faktorji za odstopanje od referenčne termične upornosti 1,5 K.m/W pri polaganju trižilnih kablov v cevi (angl. Correction factors for soil thermal resistivities other than 1,5 K.m/W for three-core cables in ducts)

Table B.18 Korekcijski faktorji pri polaganju večjega števila sistemov trižilnih kablov v ravninski formaciji v isti kabelski jarek (angl. Correction factors for groups of three-core cables in horizontal formation laid direct in the ground

Table B.19 Korekcijski faktorji pri polaganju večjega števila sistemov v trikot položenih enožilnih kablov v isti kabelski jarek (angl. Correction factors for groups of three-phase circuits of single-core cables laid direct in the ground

Table B.20 Korekcijski faktorji pri polaganju večjega števila sistemov trižilnih kablov v posamezne cevi (angl. Correction factors for groups of three-core cables in single way ducts in horizontal formation)

Table B.21 Korekcijski faktorji pri polaganju večjega števila sistemov enožilnih kablov v posamezne cevi (angl. Correction factors for groups of three-phase circuits of single-core cables in single-way ducts

Table B.22 Redukcijski faktorji pri polaganju večjega števila večžilnih kablov v zraku (angl. Reduction factors for groups of more than one multi-core cable in air)

Table B.23 Redukcijski faktorji pri polaganju večjega števila sistemov enožilnih kablov v zraku (angl. Reduction factors for groups of more than one circuit of single-core cables in air)

6.4.2 Izračun dejanske tokovne obremenitve kablovoda

Dejanska tokovno obremenitev SN kablovoda določa izraz:

$$I_z = I_n \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot \prod f \tag{6.1}$$

I_n nazivna tokovna obremenitev, ki je določena v SIST HD 620 S2 Part 10-C in VDE 276- 1000 [A]

f_1 korekcijski faktor tokovne obremenitve v odvisnosti od temperature zemlje za različne specifične toplotne upornosti zemlje in faktorje obremenitve »m« [-]

f_2 korekcijski faktor tokovne obremenitve v odvisnosti od števila kablov v istem jarku pri posamezni formaciji, za različne specifične toplotne upornosti zemlje in faktorje obremenitve »m« [-]

I_z tokovna obremenljivost (efektivna vrednost) [A]

Πf produkt korekcijskih faktorjev obremenitve razen f_1 in f_2, od Tabela 15 do Tabela 23.

Faktorja f_1 in f_2 se vedno uporabljata v povezavi drug z drugim (vedno se uporabita oba faktorja).

Dodatni faktorji, razen faktorjev f_1 in f_2, se nanašajo na odstopanja zaradi posebnih načinov polaganja: polaganje v cevi, kanale itd.

Pri nazivni tokovni obremenitvi mora proizvajalec obvezno navesti vse konstrukcijske podatke kabla, na katere se ta nanaša, in sicer:

- razporeditev oziroma formacijo (trikot ali linija),
- razdaljo med kabli posameznih faz,
- način ozemljitve kovinskih zaslonov (obojestransko ali enostransko),
- temperaturo vodnika (večinoma se navaja nazivna obremenitev pri 90°C),
- število sistemov (privzeta vrednost je en sistem) in njihovo medsebojno razdaljo,
- toplotno upornost zemlje (privzeta vrednost je 1 K.m/W),
- stopnjo obremenitve »m« (privzeta vrednost je 0,7),
- medij, v katerega se kabel polaga in način izvedbe kabelske posteljice.

Za polaganje kablov v zemljo so podane tokovne obremenitve za normalno obratovanje ob izpolnjenih referenčnih pogojih za polaganje v zemljo. Med njimi je posebno pomembna referenčna temperatura, ki je pogojena s klimatskim pasom države proizvajalca oz. uporabnika kabla, zato se vrednosti referenčnih temperatur v posameznih sekcijah med seboj razlikujejo, česar se ne sme spregledati. Če želimo podatke o tokovni obremenljivosti kablov, ki so izdelani v skladu z različnimi sekcijami standarda, med seboj primerjati, je potrebno njihove vrednosti preračunati na referenčno temperaturo zemlje, v kateri bo kablovod obratoval.

Pri nadzemnem polaganju kablov velja ustrezna nazivna tokovna obremenitev za normalno obratovanje ob izpolnjenih referenčnih pogojih za nadzemno polaganje. Pri tem se razume, da

je omogočeno ohlajanje kablov s konvekcijo in sevanjem, da ni porasta temperature okolice in prav tako ne tujih toplotnih izvorov.

Nazivno tokovno obremenitev (brez vpliva sosednjih sistemov) določa dopustni trajni obremenilni tok za posamično položene kable oziroma kabelske sisteme (tri posamične kable) po tako imenovanem dnevnem diagramu obremenitve.

Dnevna obremenitev (VDE 276-1000 tč. 5.3.1.1 Slika 1) je obratovalno stanje, pri katerem se v dnevnem obdobju obremenitev spreminja od polne ali maksimalne obremenitve do najmanjše minimalne obremenitve. Razmerje med obremenitvijo in maksimalno polno dnevno obremenitvijo se imenuje stopnja dnevne obremenitve.

Faktor obremenitve se v skladu s standardom SIST HD 620 S2 10-C-37 izračuna kot količnik površine pod diagramom dnevne obremenitve in skupne površine pravokotnika, ki ga določa maksimum obremenitve skozi 24 ur (glej prilogo A2).

Dnevna obremenitev ne sme presegati vrednosti, ki je podana s faktorjem obremenitve (npr. 0,7) tj. ploščina v dnevnem grafu obremenitve mora biti na ordinati omejena s faktorjem obremenitve.

Vodnik in kovinski zaslon kabla je potrebno dimenzionirati glede na najvišjo tokovno in napetostno obremenitev, v normalnem obratovanju in v primeru kratkega stika. Ti dve sta odvisni od obratovalne upornosti, načina ozemljitve nevtralne točke in načina ozemljitve kovinskih zaslonov.

V primeru nadaljevanja daljnovodnega omrežja s kablovodom je potrebno zagotoviti ekvivalentno prenosno zmogljivost, ta pa ni odvisna samo od prereza vodnika, ampak tudi od načina polaganja in sposobnosti oddajanja toplote v okolico. V praksi se DV vodniki 20 kV nadzemnih vodov kombinirajo s kabli naslednjih presekov.

Nadzemni vodi (goli vodniki)	Podzemni kabel (Al vodniki)	Nadzemni kabel AlMgSI
Vodnik Al/Fe 35/6 mm^2	50 mm^2	70 mm^2
Vodnik Al/Fe 70/12 mm^2	95 mm^2	95 mm^2
Vodnik Al/Fe 95/15 mm^2	150 mm^2	-
Vodniki Al/Fe 120/20 mm^2	150 mm^2	-

Priporočene minimalne vrednosti presekov kablov pri prehodu DV/KBV prikazuje tabela 49. Pri močneje obremenjenih kablovodih večjih dolžin je potrebno preveriti, kolikšno je zmanjšanje obremenljivosti zaradi zančnih tokov po kovinskih zaslonih v primeru obojestranske ozemljitve kovinskih zaslonov.

6.5 IZRAČUN TOKOVNE OBREMENLJIVOSTI IN IZGUB KABLOVODA

Izračun tokovne obremenljivosti za kable za izmenično napetost položene v zrak ali v zemljo ob pogoju, da se ne pojavi izsušitev zemljine, se opravi v skladu z IEC 60287-1-1(2006-12)

Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses - Section 1: General.

V standardu so podane enačbe za izračun dovoljenih tokovnih obremenitev kablov ob upoštevanju dovoljenega povečanja temperature, upornosti vodnikov, izgub in toplotnih upornosti. Tokovna obremenljivost se izpelje iz enačbe, s katero je podano povečanje temperature kabla nad temperaturo okolice:

$$\Delta\theta = \left(I^2R' + 0.5W_d\right)T_1 + \left[I^2R'\left(1+\lambda_1\right)+W_d\right]nT_2 + \left[I^2R'\left(1+\lambda_1+\lambda_2\right)+W_d\right]n\left(T_3+T_4\right) \qquad (6.2)$$

kjer je:

I	tok v posameznem vodniku (efektivna vrednost)	[A]
$\Delta\theta$	nadtemperatura vodnika nad temperaturo okolice	[K]
R'	ohmska upornost vodnika pri izmeničnem toku	[Ω/m]
W_d	dielektrične izgube v izolaciji	[W/m]
T_1	toplotna upornost med vodnikom in zaslonom	[K.m/W]
T_2	toplotna upornost med zaslonom in armaturo	[K.m/W]
T_3	toplotna upornost zunanjega plašča	[K.m/W]
T_4	toplotna upornost med površino kabla in okoliškim medijem	[K.m/W]
n	število vodnikov v kablu	[-]
λ_1	razmerje med izgubami v zaslonu in celotnimi izgubami v prevodnih delih	[-]
λ_2	razmerje med izgubami v armaturi in celotnimi izgubami v prevodnih delih	[-]

Dovoljena tokovna obremenljivost iz zgornje enačbe je:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\theta - W_d\left[0.5T_1 + n\left(T_2+T_3+T_4\right)\right]}{R'T_1 + nR'\left(1+\lambda_1\right)T_2 + nR'\left(1+\lambda_1+\lambda_2\right)\left(T_3+T_4\right)}} \qquad (6.3)$$

6.5.1 Izračun induciranih tokov v kovinskih zaslonih

Izračun induciranih tokov v kovinskih zaslonih je zelo kompleksen in je odvisen od formacije kablovoda (trikot linija) in načina ozemljitve kovinskih zaslonov (zančni tokovi, vrtinčni tokovi). Za izračun je treba določiti faktor izgub v kovinskih zaslonih in kovinskih plaščih λ_1. Pri izmenični napetosti se v zaslonih pojavijo izgube. Vpliv je izrazitejši pri kablih z večjimi preseki in višjimi tokovnimi obremenitvami, ki se v večini vgrajujejo v visokonapetostnih omrežjih. Faktor izgub v kovinskih zaslonih λ_1 je seštevek faktorja izgub zaradi zančnih tokov v zaslonih λ_1'in faktorja izgub zaradi vrtinčnih tokov:

$$\lambda_1 = \left(\lambda_1' + \lambda_1''\right) \qquad (6.4)$$

kjer je:

λ_1 razmerje med celotnimi izgubami v kovinskem zaslonu in izgubami v vodnikih

λ_1' razmerje med izgubami v kovinskem zaslonu in izgubami v posameznem vodniku zaradi zančnih tokov v zaslonih

λ_1'' razmerje med izgubami v zaslonu in izgubami v posameznem vodniku zaradi vrtinčnih tokov

Izgube zaradi zančnih tokov v zaslonih λ_1'so odvisne od razporeditve kablov.

Pri **enostranski ozemljitvi** kovinskih zaslonov in obojestranski ozemljitvi s prepletanjem in enakimi dolžinami posameznih odsekov so izgube v kovinskih zaslonih enake nič. V kolikor se pri izvedbi s prepletenimi kovinskimi zasloni pojavi nesimetrija med posamezni odseki, se v njih inducira napetost, ki požene zančne tokove. V primerih, kjer so poznane dolžine posameznih krajših odsekov, se izgubni faktor λ_1' izračuna tako, da se izgubni faktor za konkretno razporeditev izračuna, kot da bi bili zasloni povezani in ozemljeni na obeh straneh posamezne sekcije brez prepletanja po enačbi:

$$\lambda_1^{'} = \frac{p^2 + q^2 + 1 - p - pq - q}{(p + q + 1)^2} \tag{6.5}$$

kjer sta p in q mnogokratnika najkrajšega odseka za izračun dolžine ostalih dveh daljših odsekov. Če dolžina najkrajšega odseka ni znana, se privzame vrednosti p = 1 in q = 1.2 kar da vrednost 0.004.

Pri določitvi tokovne obremenitve kablov je poleg izračuna izgub v vodnikih potrebno opraviti tudi izračun izgub v kovinskih zaslonih. Slednje lahko, v primeru njihove obojestranske ozemljitve pri polaganju v horizontalni liniji in večjih oddaljenostih med posameznimi fazami, dosežejo zelo visoke vrednosti in močno zmanjšajo obremenljivost kablovoda. Izgube v kovinskem zaslonu je moč močno zmanjšati z ustreznim načinom polaganja. Izgube v kovinskih zaslonih so najmanjše pri polaganju v trikot in največje pri polaganju v ravnini, zato je tak način polaganja, ki sicer zagotavlja boljše odvajanje toplote, pri daljših kablovodih z večjimi preseki (tokovi) primerno izvesti preplet faznih vodnikov (angl. Cross-bonding). Izgube v kovinskih zaslonih so tem večje, čim večja je oddaljenost med posameznimi faznimi vodniki. Postopek izračuna tokovne obremenljivosti in izgub podaja standard IEC 60287-1-1.

6.6 OZEMLJEVANJE 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 preferira metodo navzkrižnega prepleta.

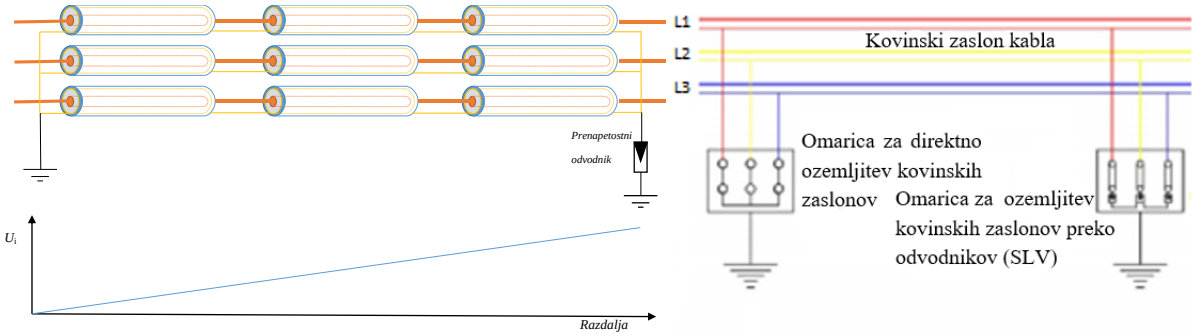
Načini ozemljitve kovinskih zaslonov pri normalnem obratovanju občutno vpliva na tokovno obremenljivost kablovoda, pri okvarah (defektih) pa na velikost induciranih napetosti in kratkostičnih tokov.

6.6.1 Enostranska ozemljitev kovinskih zaslonov

Izvedba enostranske ozemljitve kovinskih zaslonov je najpreprostejša. Pri tej izvedbi inducirana napetost v kovinskih zaslonih ne more pognati induciranega toka, zato se v njih zančni tokovi ne pojavijo, prav tako v njih ni dodatnih toplotnih izgub. Velikost inducirane napetosti v kovinskih zaslonih je premo sorazmerna z dolžino kablovoda, tokom v vodniku in medsebojno reaktanco (X_m) posameznih žil. Slednja zavisi od formacije kablovoda in je večja pri ravninski formaciji, posebno pri zunanjih dveh fazah.

$$U_i = l \cdot I \cdot X_m \tag{6.6}$$

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 direktno ozemljiti na strani z nižjo specifično upornostjo.

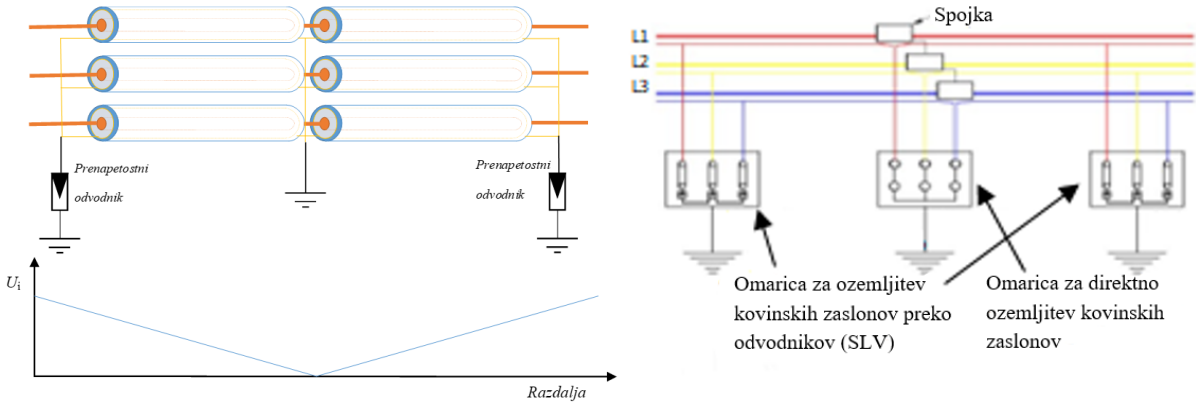


Slika 2: Prikaz enostranske ozemljitve kovinskih zaslonov in inducirane napetosti v njih

Enostranska ozemljitev kovinskih zaslonov se uporablja pri kablovodih dolžin do 1 km, pri čemer so 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 [62].

6.6.2 Sredinska ozemljitev kovinskih zaslonov (ozemljitev na sredini)

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

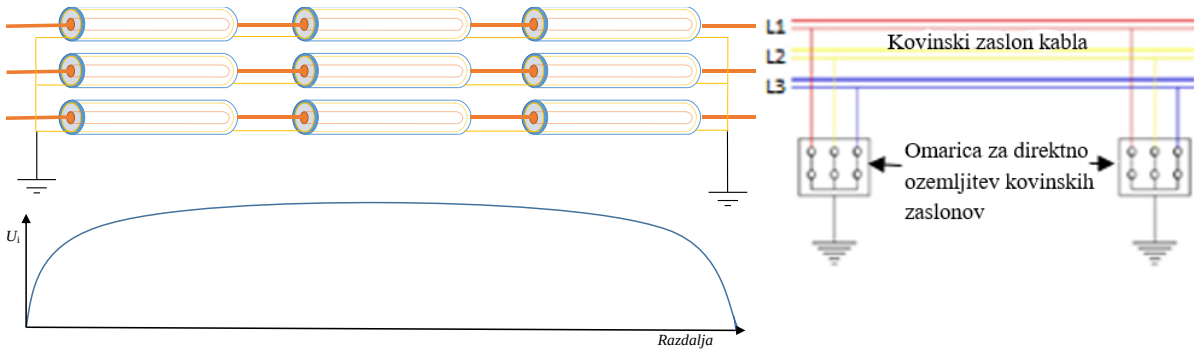


Slika 3: Sredinsko ozemljeni kovinski zasloni in inducirana napetost v njih

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 zunanjega plašča (SVL). Tudi pri tej izvedbi v kovinskih zaslonih ne tečejo zančni tokov, zato so izgube majhne.

6.6.3 Obojestranska ozemljitev kovinskih zaslonov

Pri obojestranski ozemljitvi kovinskih zaslonov so le-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 konceh 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 4. Predmetni način ozemljitve kovinskih zaslonov se uporablja pri kablovodih dolžin nad 500 m.



Slika 4: Obojestransko ozemljeni kovinski zasloni in inducirana napetost v njih

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) [62].

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 le teh 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.

1. primer: Kabel U_o/U = 12/20 kV, 1 x 150/25 mm^2 Cu **v trikotni formaciji**

Premer vodnika = 14 mm
Premer preko izolacije = 26 mm
Zunanji premer kabla D = 36 mm
Zunanji premer kovinskega zaslona $d_M = d_{zpl} - 2\,\delta_{zpl}$ = 36 – 5 = 31 mm
Debelina kovinskega zaslona δ_M =0,95 + 0,1 mm trak = cca 1 mm
Srednji premer preko kovinskega zaslona $d_{Mm} = d_M - \delta_M$ = 31 – 1 = 30 mm
Nazivni prerez kovinskega zaslona $q_M = 25 \cdot 10^{-6}$
Specifična prevodnost Cu kovinskega zaslona $\gamma = 50 \cdot 10^6$ (1/Ωm)
Trikotna formacija na dotik - medosna razdalja med vodnikoma $a = D$ = 36 mm
Tokovna obremenljivost pri temp.vodnika 90°C in enostranski ozemljitvi zaslonov:
$I_{max\ (trikot)1OZ}$ = 410 A (vir ABB XLPE Cable Systems – User's guide Table 3)
Tokovna obremenljivost pri temp. vodnika 90°C in obojestranski ozemljitvi zaslonov:
$I_{max\ (trikot)2OZ}$ = 410 A (vir ABB XLPE Cable Systems – User's guide Table 3)

Izračun medsebojne induktivnosti med vodnikom in kovinskim zaslonom ter induktivne in ohmske upornosti kovinskega zaslona:

$$M' = \frac{\mu_0}{2\pi} ln \frac{2a}{d_{Mm}} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} ln \frac{70}{30} = 1{,}69 \cdot 10^{-7} H/m = 0{,}169 mH/km \qquad (6.7)$$

$$X_M' = \omega \cdot M' = 100 \cdot \pi \cdot 0.169 \cdot 10^{-3} H/km = 0.0531 \Omega/km \qquad (6.8)$$

$$R_M' = \frac{1}{q_M \gamma} = \frac{1}{25 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^6} = 0.0008 \Omega/m = 0.8 \Omega/km \qquad (6.9)$$

Izračun napetosti v enostransko ozemljenem kovinskem zaslonu pri nazivnem toku:

Pri največji trajni tokovni obremenljivosti, ki je v primeru enostransko ali obojestransko ozemljenih kovinskih zaslonov enaka in znaša I = 410 A se v njih inducira napetost E'_o

$$E_o' = I \cdot X_M' = I \cdot \omega \cdot M' = 410A \cdot 100 \cdot \pi \cdot 0.169 \cdot 10^{-3} H/km = 21{,}7 V/km \qquad (6.10)$$

Napetost, ki se izmeri med dvema sosednjima kovinskima zaslonoma v trifaznem sistemu je:

$$E = \sqrt{3} \cdot E_o' = 37{,}6 V/km \qquad (6.11)$$

Izračun zančnega toka v obojestransko ozemljenem kovinskem zaslonu pri nazivnem toku:

V primeru obojestranske ozemljitve ta napetost v kovinskem zaslonu požene tok I_M :

$$I_M = \frac{E_0'}{\sqrt{R_M'^2 + X_M'^2}} = \frac{21{,}7}{\sqrt{(0.8)^2 + (0.0531)^2}} = 27A \qquad (6.12)$$

Izračunana vrednost toka 27 A znaša 6 % nazivnega toka v vodniku. Ko vrednost toka v kovinskem zaslonu preseže 30 % vrednosti nazivnega toka, je potrebno izvesti preplet kovinskih zaslonov.

Izračun napetosti v enostransko ozemljenem kovinskem zaslonu pri zemeljskem stiku:

Dovoljeni tok zemeljskega stika za Cu kovinski zaslon preseka 25 mm^2 znaša cca. 4 kA. Ta tok pri zemeljskem stiku v enostransko ozemljenem kovinskem zaslonu inducira napetost E'_o

$$E_o' = I \cdot X_M' = I \cdot \omega \cdot M' = 4 \cdot 10^3 A \cdot 100 \cdot \pi \cdot 0.169 \cdot 10^{-3} H/km = 212 V/km \quad (6.13)$$

Pri obojestransko ozemljenem kovinskem zaslonu po njem teče tok I_M:

$$I_M = \frac{E_0'}{\sqrt{R'^2_M + X'^2_M}} = \frac{212}{\sqrt{(0.8)^2 + (0.0531)^2}} = 264{,}4A \quad (6.14)$$

2. primer: Kabel U_o/U = 12/20 kV, 1 x 150/25 mm^2 Cu **v ravninski formaciji**

Premer vodnika = 14 mm
Premer preko izolacije = 26 mm
Zunanji premer kabla D = 36 mm
Zunanji premer kovinskega zaslona $d_M = d_{zpl} - 2\,\delta_{zpl}$ = 36 – 5 = 31 mm
Debelina kovinskega zaslona δ_M = 0,95 + 0,1 mm trak = cca. 1 mm
Srednji premer preko kovinskega zaslona $d_{Mm} = d_M - \delta_M$ = 31 – 1 = 30 mm
Nazivni prerez kovinskega zaslona $q_M = 25 \cdot 10^{-6}$
Specifična prevodnost Cu kovinskega zaslona $\gamma = 50 \cdot 10^6$ (1/Ωm)
Ravninska formacija - osno razdalja med vodniki a = 35 mm + 70 mm = 105 mm
Tokovna obremenljivost pri temp. vodnika 90°C in enostranski ozemljitvi zaslonov:
$I_{max\ (ravnina)1OZ}$ = 435 A (vir ABB XLPE Cable Systems – User's guide Table 3)
Tokovna obremenljivost pri temp. vodnika 90°C in obojestranski ozemljitvi zaslonov:
$I_{max\ (ravnina\ )2OZ}$ = 410 A (vir ABB XLPE Cable Systems – User's guide Table 3)

Pri polaganju kablov v ravnini je potrebno računati s srednjo geometrično razdaljo, ki znaša:

$$a = \sqrt[3]{2} \cdot a = 1.26 \cdot a = 1{,}26 \cdot 105 = 132 \quad (6.15)$$

Izračun medsebojne induktivnosti med vodnikom in kovinskim zaslonom ter induktivne in ohmske upornosti kovinskega zaslona:

$$M' = \frac{\mu_0}{2\pi} ln \frac{2a}{d_{Mm}} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} ln \frac{264}{30} = 4{,}35 \cdot 10^{-7} H/m = 0{,}435 mH/km(\quad 6.16)$$

$$X_M' = \omega \cdot M' = 100 \cdot \pi \cdot 0.435 \cdot 10^{-3} H/km = 0.137 \Omega/km \quad (6.17)$$

$$R_M' = \frac{1}{q_M \gamma} = \frac{1}{25 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^6} = 0.0008 \Omega/m = 0.8 \Omega/km \quad (6.18)$$

Izračun napetosti v enostransko ozemljenem kovinskem zaslonu pri nazivnem toku:

Pri največji trajni tokovni obremenljivosti I = 435 A se v enostransko ozemljenem kovinskem zaslonu inducira napetost E'_o

$$E_o' = I \cdot X_M' = I \cdot \omega \cdot M' = 435A \cdot 100 \cdot \pi \cdot 0.435 \cdot 10^{-3} H/km = 59{,}4 V/km \quad (6.19)$$

Napetost, ki se izmeri med dvema sosednjima kovinskima zaslonoma v trifaznem sistemu je:

$$E = \sqrt{3} \cdot E_o^{'} = 103V/km \tag{6.20}$$

Izračun zančnega toka v obojestransko ozemljenem kovinskem zaslonu pri nazivnem toku:

Pri največji trajni tokovni obremenljivosti v primeru obojestransko ozemljenih kovinskih zaslonov I = 410 A se v njih inducira napetost E'_o

$$E_o^{'} = I \cdot X_M^{'} = I \cdot \omega \cdot M^{'} = 410A \cdot 100 \cdot \pi \cdot 0.435 \cdot 10^{-3} H/km = 56V/km \tag{6.21}$$

V primeru obojestranske ozemljitve ta napetost v kovinskem zaslonu požene tok I_M :

$$I_M = \frac{E_0^{'}}{\sqrt{R_M'^2 + X_M'^2}} = \frac{56}{\sqrt{(0.8)^2 + (0.137)^2}} = 69A \tag{6.22}$$

Izračunana vrednost toka znaša 17 % nazivnega toka v vodniku in 50 % dopustne obremenitve preseka kovinskega zaslona 25 mm^2 Cu. Če tok v kovinskem zaslonu preseže 125 A, je potrebno izvesti preplet kovinskih zaslonov.

Izračun napetosti v enostransko ozemljenem kovinskem zaslonu pri zemeljskem stiku:

Dovoljeni tok zemeljskega stika za Cu kovinski zaslon preseka 25 mm^2 znaša cca. 4 kA. Ta tok pri zemeljskem stiku v enostransko ozemljenem kovinskem zaslonu inducira napetost E'_o

$$E_o^{'} = I \cdot X_M^{'} = I \cdot \omega \cdot M^{'} = 4 \cdot 10^3 A \cdot 100 \cdot \pi \cdot 0.435 \cdot 10^{-3} H/km = 547V/km \tag{6.23}$$

Pri obojestransko ozemljenem kovinskem zaslonu po njem teče tok I_M:

$$I_M = \frac{E_0^{'}}{\sqrt{R_M'^2 + X_M'^2}} = \frac{547}{\sqrt{(0.8)^2 + (0.137)^2}} = 674A \tag{6.24}$$

V splošnem velja pravilo, da za kable nazivne napetosti 12/20 kV prereza 150/25 mm^2 do prereza v trikotni formaciji način ozemljitve kovinskih zaslonov ne vpliva na obremenljivost kablovoda. (I = 410 A). Razlike v obremenljivosti Al in Cu vodnika so zanemarljive. Tudi pri kablu prereza 240/25 mm^2 je razlika v obremenljivosti zanemarljiva cca. 2 % (I_{CB} = 540 A, I_{2OZ} = 530 A), pri kablu prereza 630/35 mm^2 cca. 5 % (I_{CB} = 885 A, I_{2OZ} =845 A) kablu prereza 1000/35 mm^2 pa slabih 10 % (I_{CB} =1080 A, I_{2OZ} =1005 A). Opaznejše so razlike pri ravninski formaciji in sicer pri kablu prereza 150/25 mm^2 cca. 5 % (I_{CB} = 435 A, I_{2OZ} = 410 A), kablu prereza 240 /25 cca. 10 % (I_{CB} = 570 A, I_{2OZ} = 515 A) in kablu prereza 1000/35 mm^2 cca 25 %.(I_{CB} = 1180 A, I_{2OZ} = 870 A).

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

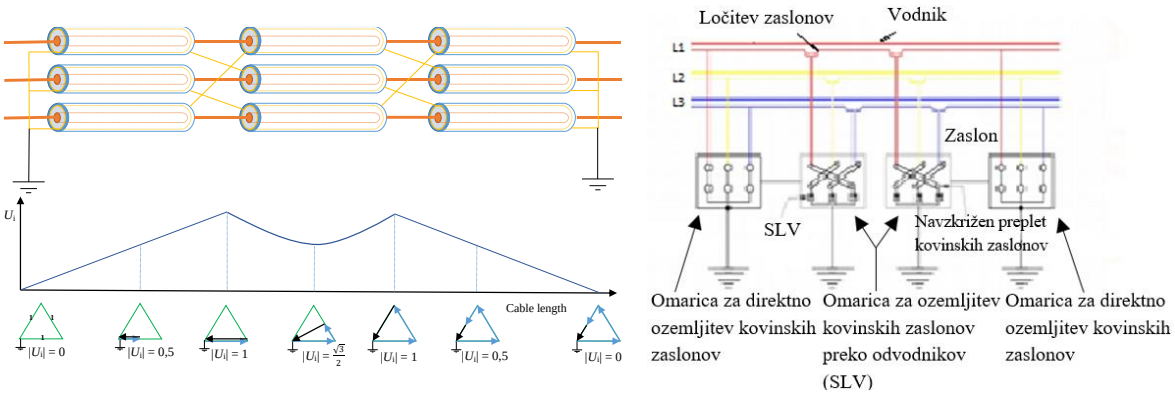
primeru je prenosna zmogljivost kablovoda položenega v ravninski formaciji kljub boljšemu termičnemu odvajanju približno 15 % slabša kot v primerjavi s trikotno položeno izvedbo.

Obojestranska ozemljitev kovinskih zaslonov je primerna za kablovode z razmeroma nizkimi prenosnimi močmi oz. 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 taka izvedba kablovod s stališča varnosti najugodnejša.

6.6.4 Ozemljitev kovinskih zaslonov z navzkrižnim prepletanjem (angl. Cross-bonding)

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). Kovinske zaslone se na obeh koncih kablovoda togo ozemlji, 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 čemer se zagotovi vektorsko seštevanje in s tem izničenje sumarne inducirane napetosti na kovinskih zaslonih.



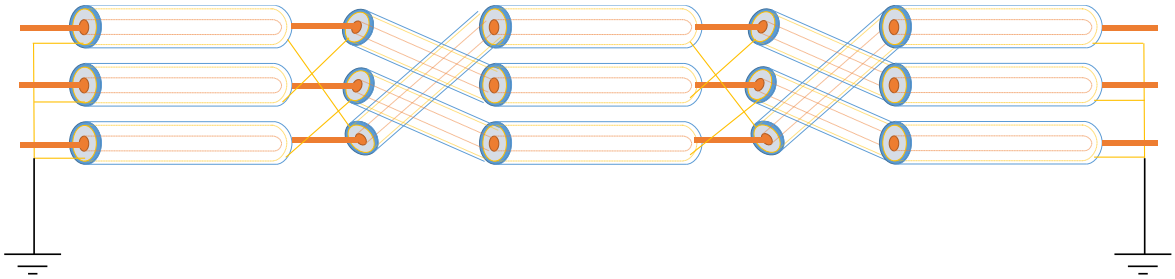
Slika 5: Prikaz prepletanja kovinskih zaslonov-ekranov (angl. Cross-bonding)

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 direktno 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 prepreči dodatne toplotne izgube. Opisan fizikalni pojav velja tam, kjer so medsebojne reaktance (X_m) posameznih faz kablovoda enake (trikotna formacija). V primeru zelo dolgih kablovodov je pri ravninski formaciji potrebno dodatno izvesti tudi transponiranje vodnikov. Možnih je več načinov izvedbe navzkrižnega prepletanja kovinskih zaslonov, ki je podrobnejše obdelano v poglavju 7, ki obravnava VN kable.

Izvedba je primerna za dolge trase z velikim številom spojk. Odlikuje se predvsem po visoki prenosni moči in majhnimi izgubami v kovinskih zaslonih, ki se pojavijo zgolj zaradi nesimetrije (razlike v dolžini in konfiguraciji) med posameznimi odseki.

Slika 6: Prikaz izvedbe navzkrižne povezave kovinskih zaslonov na priključnem SN kablovodu za tovarno KRKA v Novem Mestu z namenskimi kabelskimi spojkami.

Primer izvedbe ozemljitev z navzkrižnim prepletanjem kovinskih zaslonov in transponiranjem faznih vodnikov (Kirke Searingova izvedba), ki deluje na principu izenačevanja reaktance v različnih fazah na dolžini kabelske trase, prav tako pa se zmanjšuje vpliv v sosednjih izpostavljenih prevodnih delih. Namen transpozicije faz je vzpostavitev simetrije med posameznimi fazami in zemljo, kjer je položen vodnik za izenačitev potenciala ECC, vendar nekatere države transpozicije faz ne prakticirajo.

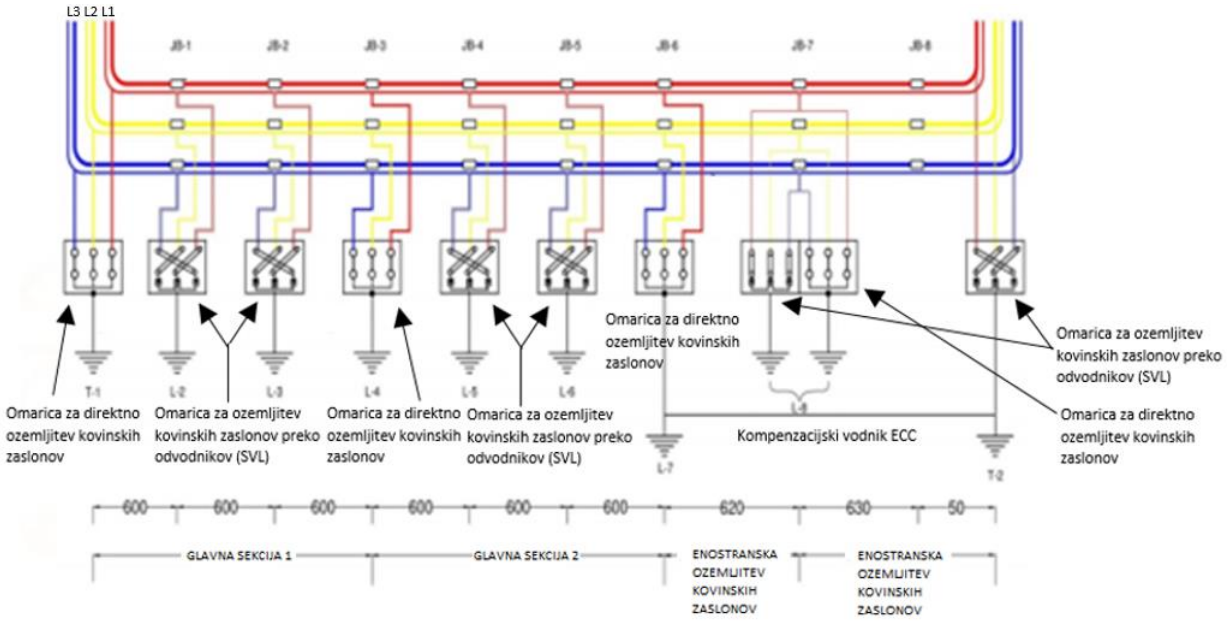


Slika 7: Kirke Searingova izvedba prepletanja kovinskih zaslonov in transpozicijo faz

6.6.5 Mešana (kombinirana) ozemljitev kovinskih zaslonov

Poleg enostavne izvedbe navzkrižnega prepleta kovinskih zaslonov se pri zahtevnejših trasah, kjer le te ni mogoče razdeliti na tri enake dele, uporabi ti. mešana oz. kombinirana ozemljitev kovinskih zaslonov. Prednost te izvedbe je, da omogoča izničenje izgube na dolgih trasah.

V večini primerov so v uporabi izvedbe v obliki kombinacije dveh odsekov z izvedenim prepletanjem kovinskih zaslonov in enega odseka z enostransko ozemljitvijo kovinskih zaslonov. Posamezni odseki so dolgi do največ 600 m.



Slika 8: Prikaz izvedbe kombinirane ozemljitve kovinskih zaslonov

6.6.6 Opustitev izvedbe navzkrižnega povezovanja zaslonov

Navzkrižno povezovanje kovinskih zaslonov se ne izvede, bodisi zaradi prevelikih investicijskih stroškov, bodisi v primeru krajše dolžine kabelske trase. To pomeni, da dolžina kabelske trase ne presega dolžine kabla, ki jo je mogoče izdelati in dobaviti na enem kabelskem bobnu in zaradi tega odpade potreba po kabelskih spojkah. V takem primeru predstavlja ustrezno rešitev polaganje kablov v trikot in ozemljitev zaslonov na obeh straneh kablovoda brez njihovega navzkrižnega povezovanja, ki pri kablih nazivne napetosti U_o/U = 64/110 kV s prerezi do 240 mm^2 pomeni za okrog 10 % manjšo obremenljivost, pri srednjih prerezih (800 mm^2) pa že za okrog 20 % manjšo obremenljivost. Pri prerezih nad 1200 mm^2 razlika v obremenljivosti med zgoraj navedenima načinoma polaganja preseže že 30 %, zato je pri takih prerezih uporaba navzkrižnega povezovanja kovinskih zaslonih bolj ali manj obvezna. 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. Načini ozemljitev kovinskih zaslonov so podrobneje opisani v [45]. Navzkrižni preplet kovinskih zaslonov je smiseln v primeru, ko zančni tok v kovinskem zaslonu preseže 30 % vrednosti toka v vodniku.

6.6.7 Dopustna delovna temperatura vodnika

Dopustna delovna temperatura vodnika in specifične toplotne upornosti kabla v skladu s SIST HD 620 S2 Part 10-C prikazuje Tabela 6. Podane so tudi v standardu IEC 60502- 2:2014 Annex B oz. IEC 60502:SER:2021 Annex B.

6.6.8 Obratovalni pogoji pri polaganju kablov v zemljo

Vrednosti korekcijskih faktorjev pri polaganju v zemljo f_1 in f_2 so podane v DIN VDE 0276 1000 v tabelah 4 do 9. Z njimi so zajeti vplivi že prej omenjenih vplivnih veličin, kot so temperatura okolice, specifična toplotna upornost zemlje, razmik, cevi in število kablov. Pogoje pri polaganju kablov v zemljo podaja Tabela 7.

Referenčna temperatura zemlje v globini 0,7 m (referenčna globina) je 20°C (IEC 60502-2 Ed 3 2014 Table B.11: Correction factors for ambient ground temperatures other than 20 C).

Pri določitvi globine se upošteva os kabla, pri polaganju kablov v snop pa globina osi snopa. S povečevanjem globine se obremenljivost kabla zmanjšuje. V območju med 0,7 m in 1,2 m je zmanjšanje obremenljivosti minimalno in se, zaradi manjše specifične upornosti tal v večjih globinah, kompenzira, zaradi tega do globine 1,2 m ni potrebno upoštevati zmanjšanja obremenljivosti.

Privzeta je vrednost specifične toplotne upornosti vlažnega terena 1,0 K m/W. Ob upoštevanju zgornjih pogojev se smatra, da ni prisotnih tujih virov toplote. V primeru izsušenega terena je potrebno upoštevati specifično toplotno upornost suhega terena 2,5 K. m/W.

6.6.9 Zmanjšanje obremenljivosti kablovoda pri polaganje v kabelsko kanalizacijo

Pri polaganju v cevi se obremenljivost kablovoda zmanjša zaradi zmanjšane sposobnosti oddajanja toplote v okolico. V primeru, da je izračun obremenljivosti prezahteven, se faktor obremenitve pri polaganju v cevi lahko oceni na 0,85 v skladu z DIN VDE 0276- 1000 točka 5.3.1.2.4.

Pri polaganju kablov v cevi se lahko pojavi izsuševanje okoliške zemljine zaradi spremembe lastnosti zasipnih materialov, njegove migracije, razraščanja korenin dreves ali prevelikih termičnih obremenitev. Pri izdelavi cevne kabelske kanalizacije je potrebno izvesti odvodnjavanje. Preprečiti je potrebno nastajanje U-kolen med jaški, tako da voda vedno odteče iz cevi v jašek in se v cevi ne nabira mulj.

Cevi morajo biti položene z blagim padcem v smeri podzemnih jaškov, namenjenih spajanju. Možna je tudi povezava jaškov s sistemom meteorne kanalizacije za namen odvajanja vode s povezavo v meteorno kanalizacijo.

6.6.10 Obratovalni pogoji pri nadzemnem polaganju SN kablov (v zraku)

Pogoje pri nadzemnem polaganju kablov (v zraku) v skladu z DIN VDE 0276-1000 tabela 3 podaja Tabela 8.

Pri nadzemnem polaganju se za preračun tokovne obremenljivosti na referenčno temperaturo uporabi Tabela 44 (DIN VDE 0276-1000 tabela 12).

Tokovna obremenljivost pri nadzemnem polaganju je odvisna od konfiguracije in števila sistemov. Če je kabel postavljen v bližini tal ali stene, je cirkulacija zraka otežena. Oddajanje

toplote s sevanjem je odvisno od temperature bližnje površine in absorpcijskega koeficienta njenega materiala. Če se kabli dotikajo teh površin, se lahko del toplote odda tudi s prevajanjem. V tem primeru je oddana toplota odvisna tudi od toplotne upornosti površine, ki je v stiku s kablom. Vrednosti korekcijskega faktorja v odvisnosti od števila sistemov pri različnih konfiguracijah so podane v DIN VDE 0276- 1000 tabela 10 in delno tudi IEC 60502-2:2014 Annex B Table B.23 ali IEC 60502:SER:2021 Annex B Table B. 23.

V primerih, kjer je kabel izpostavljen močnemu sončnemu obsevanju, je potrebno upoštevati povečanje temperature zaradi sončnega obsevanja, ki se izračuna iz enačbe:

$$\Delta \vartheta_s = \alpha_o \cdot d \cdot E_s \cdot T'_{zr} \tag{6.25}$$

kjer je:

E_s	moč sončnega obsevanja	[kW/m^2]
T'_{zr}	toplotna upornost zraka okrog kabla pri sončnemu obsevanju	[K.m/W]
d	zunanji premer kabla	[m]
α_o	absorpcijski faktor zunanjega plašča kabla	[-]

Vrednost absorpcijskega faktorja α_o PVC plašča znaša 0,6 ter PE plašča 0,4. Moč sončnega obsevanja se v povprečju giblje okrog 1 kW/m^2, v posebnih primerih pa največ 1,35 kW/m^2. Povečanje toplotne upornosti zraka okrog kabla 1 x 150 mm^2, 12/20 kV, pri moči sončnega obsevanja 1 kW/m^2, je približno 1,04 K.m/W. Pri teh pogojih se obremenljivost kablovoda zmanjša približno za faktor 0,8.

6.6.11 Dopustni tokovi kratkih stikov SN kablov

Kratkostične tokovne gostote kablov z vodniki iz aluminija in bakra, v odvisnosti od začetne temperature vodnika za čas trajanja kratkega stika 1 sek, prikazuje Tabela 5 (SIST HD 620 S2 Part 10-C-37 tabela 12) in Tabela 24.

Kot prikazuje Tabela 24, so dovoljene tokovne gostote v kovinskem zaslonu večje kot v vodniku, ker je temperatura v obratovanju (pred nastopom kratkega stika) v kovinskem zaslonu manjša kot v vodniku in da je tudi najvišja dovoljena temperatura pri kratkem stiku za kovinski zaslon (350°C) višja kot za vodnik (250°C).

Če je čas trajanja kratkega stika različen od 1 s, je potrebno vrednosti v HD 620 S2 tabela 12, str. 10-C-37, množiti s faktorjem 1/√t, pri čemer je t čas dejanskega trajanja kratkega stika. Pri tem je maksimalno dopustni čas trajanja kratkega stika omejen na 5 sekund.

Vrednosti kratkostičnih tokovnih gostot so odvisne od začetne temperature vodnika oziroma kovinskega zaslona v trenutku neposredno pred nastopom kratkega stika. Najvišje dovoljene vrednosti temperatur vodnika in izolacije so določene v standardih v odvisnosti od vrste ter debeline glavne izolacije in drugih izolacijskih slojev ter konstrukcije kabla. Temperatura kovinskega zaslona ni eksplicitno določena, pri VN°kablih z XLPE°izolacijo se giblje med 50°C

in 70°C, če je temperatura vodnika med 65°C in 90°C. Pri SN°kablih je razlika med temperaturama vodnika in kovinskega zaslona nekoliko manjša zaradi manjše debeline izolacije. Pri temperaturi vodnika 90°C je temperatura kovinskega zaslona približno 80°C. Podatki veljajo v primeru, da so kovinski zasloni enostransko ozemljeni oziroma prepleteni tj. ob predpostavki, da ni dodatnih izgub zaradi zančnih tokov v kovinskih zaslonih.

6.7 POLAGANJE SN KABLOV

Globina jarka v zemlji, kjer ni ostalih inštalacij, praviloma znaša:

- SN kabel U_o/U = 0,6/ 1kV, 6/10 kV in 12/20 kV 0,8 m
- SN kabel U_o/U = 18/30 kV (20/35 kV) 1,0 m
- debeloslojna PE cev za komunikacije ϕ 50 mm 0,8 m

Možne so tudi manjše globine, če so izvedeni posebni zaščitni ukrepi (kot npr. betonske pregrade) oziroma posebni pogoji polaganja (kot npr. polaganje v kabelsko kanalizacijo v urbanih območjih). Pri prehodih cest in ulic z gostim prometom naj bo globina zgornjega roba cevi najmanj 0,5 m.

Odstopanje od normalne globine polaganja kablov je dovoljeno pri križanjih z drugimi podzemnimi inštalacijami ter pri paralelnem polaganju kablov različnih napetostnih nivojev v skupni jarek.

Za zmanjšanje medsebojnega vpliva paralelno položenih kablov (TK-TK, TK-EK, EK- EK) je potrebno upoštevati najmanjše dopustne medsebojne oddaljenosti kablov kot prikazuje Tabela 33.

Če razdalje, ki jih podaja Tabela 33, ni mogoče zagotoviti, so dopustne tudi manjše razdalje ali koti križanja, pod pogojem, da se varnost in zanesljivost ne zmanjša v skladu z dogovorom z drugimi upravljavci kot to določa pravilnik o tehničnih pogojih za graditev podzemnih elektroenergetskih vodov izmenične nazivne napetosti nad 1 kV do 400 kV (7. člen, 3 alineja).

Stavbe in zidove, kjer se v neposredni bližini kopljejo jarki, je potrebno dobro podpreti. Kabel se polaga v oddaljenosti najmanj 0,5 m od temeljev in zidov zgradb, če se ne ogroža stabilnosti objekta.

Pri izkopu kabelskega jarka vzdolž drevoreda se priporoča oddaljenost najbližje stene jarka do debla 2,5 m. Zaradi izsuševanja in vpliva korenin na kabel je priporočljivo kable položiti v cevi.

Površine, pod katerimi rastejo korenine, se z težkimi stroji ne utrjuje, ne odkopava in ne nasipa ter ne odlaga gradbenega materiala. V kolikor bo poseganje v koreninski sistem neizogiben, je dela treba izvajati ročno. Korenine ne smejo priti v stik s škodljivim sredstvom.

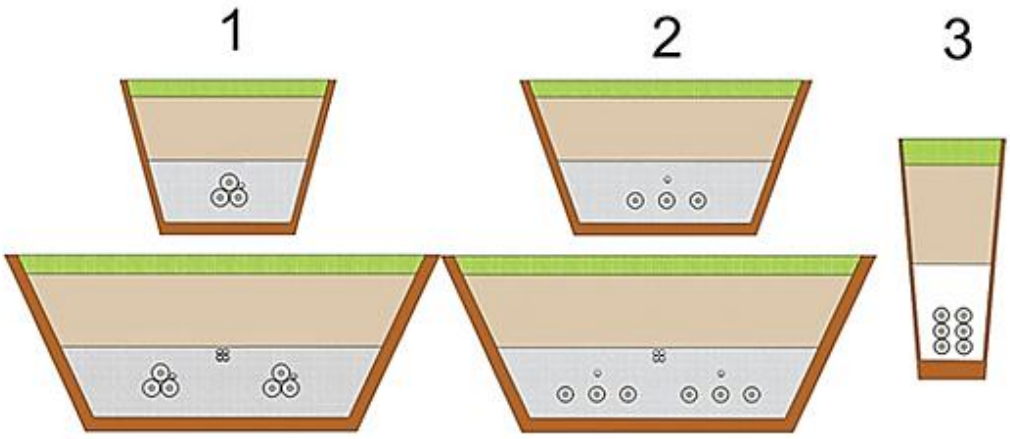
Dno jarka je potrebno prekriti s plastjo mivke ali drugega ustreznega materiala v debelini 10 cm, vanjo položiti kabel in ga prekriti z enako plastjo v debelini 10 cm (posteljica za kabel). Pred preostalim zasipom jarka mora nadzorni organ potrditi ustreznost del iz prvega stavka tega odstavka.

6.7.1 Polaganje SN kablov v zemljo

Za polaganje kablov v zemljo se uporabljajo štirje osnovni načini in sicer polaganje v odprt kabelski jarek, kinete, predore in cevi.

6.7.2 Polaganje SN kablov v kabelski jarek

Najpogostejši način polaganja je polaganje v kabelski jarek. Pri tem sta najpogostejši razporeditvi trikotna in ravninska. Vertikalna razporeditev se uporablja le pri večsistemskih kablovodih, kjer ni na razpolago dovolj širokega koridorja za polaganje vseh sistemov v isti ravnini. Razporeditve kablov pri polaganju v kabelski jarek prikazuje Slika 9.



Slika 9: Razporeditve kablov pri polaganju v kabelski jarek

Razmik med kabli posameznih faz se določi skladno z razpoložljivo širino koridorja in želeno obremenljivostjo kablovoda. Enako velja za razmik med posameznimi sistemi pri večsistemskem kablovodu. Najmanjši razmik med kabli posameznih faz v ravninski formacije je enak premeru kabla.

Kabel se polaga na podlago debeline 10 cm iz drobnega peska ali mivke ali mletega peska granulacije od 0 do 4 mm ter zasipava s slojem zemlje ali drobnega peska debeline najmanj 10 cm. Pri zasipavanju je potrebno zasipni material nabijati v slojih.

Nad kablom tj. min 10 cm je potrebno položiti mehansko opozorilno zaščito kabla (plastične ščitnike). Mehanska zaščita se polaga na prvi prekrivni sloj.

Odvisno od globine polaganja kabla se 40 do 60 cm nad njim položi po celotni dolžini trase **plastični opozorilni trak.**

Opozorilni trak je izdelan iz folije mehkega polivinilklorida ali polietilena rdeče barve oziroma podobnega obstojnega materiala. Na eni strani po sredini je vtisnjeno opozorilo z velikimi črkami v črni barvi.

POZOR ENERGETSKI KABEL

Napis se ponavlja z razmikom 10 cm in je potiskan v obratni smeri na isti strani traku. Za trak, ki je izdelan iz dveh folij, mora biti napis vtisnjen na površini med folijama, ki sta med seboj termično zvarjeni, tako da je napis viden z zunanje strani.

Material za trak in barva za napis morata biti odporna proti vodi in kemikalijam v zemlji, obstojna in mehansko zdržljiva in ne smeta pokati na mrazu. Življenjska doba traku mora biti enaka življenjski dobi kabla.

Jarek se zasipava z odkopanim materialom po prvem sloju zdrobljene zemlje ali peska tako, da se najprej uporabi rahlo zemljo brez kosov kamenja, betona, opeke ali podobno. Zasipavati je potrebno v slojih po 20 cm s pazljivim nabijanjem neposredno nad kablom.

Nabijanje materiala se izvaja z motorno napravo s pogojem globinskega delovanja do 30 cm.

6.7.3 Polaganje SN kablov v prostorih

Pri vpeljavi kablov v zgradbe se mora jarek enakomerno dvigovati proti mestu uvoda. Izogibati se je potrebno strmim uvodom kablov v zgradbe.

Odprtino za uvod kabla v zgradbo je potrebno izdelati nad nivojem podzemnih kablov. V odprtino se namestijo zaščitne cevi (plastične, betonske, jeklene) ustreznega premera, ki se zatesnijo z ustreznimi vodotesnimi uvodnicami. Pri nameščanju cevi je potrebno zagotoviti blag naklon cevi proti zunanjemu zidu. Vidne dele jeklenih cevi je potrebno zaščititi pred korozijo.

Uvod kablov v zgradbo se pazljivo zapre z ustreznimi tesnili, ki preprečuje vstop plina ali vode. Pri kablih, ovitih z juto ali podobnim gorljivim materialom, je potrebno v prostoru odstraniti gorljivi omot ali oplet in armaturo premazati z zaščitno barvo pred korozijo.

V prostorih se kabli polagajo glede na okoliščine s posebnimi zaščitnimi ukrepi. Na zidove se lahko kabli pritrdijo na jekleno konstrukcijo z ustreznimi objemkami. Kabel se ne sme poškodovati zaradi prevelikega pritiska objemk. Razmik med posameznimi objemkami je 0,5 m do 1,5 m odvisno od konstrukcije in teže kabla. Izbiro objemk je potrebno prilagoditi zunanjemu premeru kabla.

Pri pritrjevanju enožilnih kablov trifaznega sistema ne smemo uporabljati zaprtih jeklenih objemk, ampak objemke iz nemagnetnega materiala.

Vsi kovinski deli, ki se uporabljajo pri polaganju in pritrjevanju kablov, morajo biti kvalitetno zaščiteni pred korozijo. Kovinske nosilce in palice moramo ozemljiti. Armature kabelskih jaškov je potrebno variti (vsaj 30 %) ter z valjancem povezati z ozemljitvijo. Litoželezne pokrove, katerih površina presega 1m^2,je prav tako potrebno povezati z ozemljitvijo. V kabelski kanal se lahko kabli polagajo tudi v zgradbi.

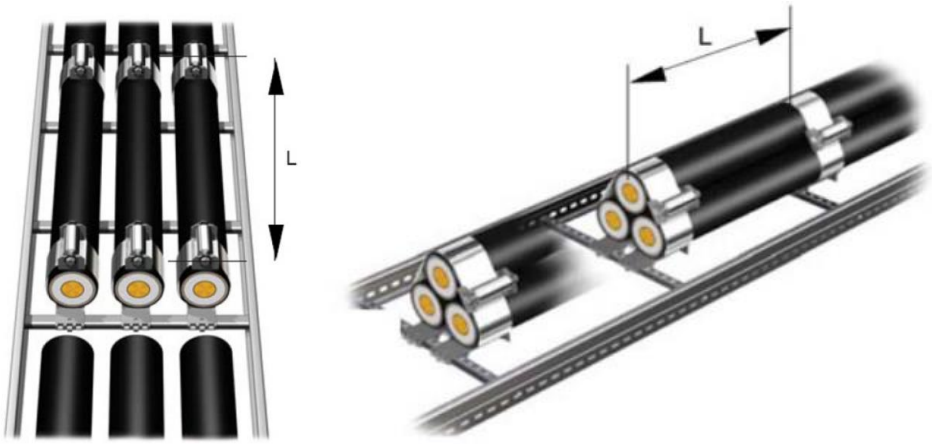
Dimenzije kanala se določijo po številu položenih kablov. Pri tem je potrebno paziti, da se z energetsko izgubo v kablu ne prekorači dopustne temperature zraka v kanalu in s tem tudi dopustne temperature kabla. Če je potrebno, se lahko uporabi tudi umetna ventilacija. Kabelski kanali so pokriti z montažnimi ploščami.

Kable **ni dovoljeno** obzidovati ali polagati v zidove ali konstrukcijske dele objekta.

Kabli se **lahko polagajo na kabelske perforirane police** ali lestve (vertikalne, horizontalne), ki so pritrjene na zid ali na samostoječe podstavke. Pri tem moramo omogočiti dobro odvajanje toplote. Razdalja med kabelskim policami mora biti pri elektroenergetskih kablih najmanj 30°cm v skladu s VDE 0276-1000 Tabela 10 oziroma je odvisna od konstrukcije kablov.

Razdalja med kabli posameznih faz pri polaganju v horizontalni ravnini ne sme biti manjša od premera »d« posameznega kabla.

Pritrjevanje z objemkami pri ravninski in pri trikotni formaciji prikazuje Slika 10.



Slika 10: Pritrjevanje kablov z objemkami pri ravninski in trikotni formaciji

Slika 11: Prikaz objemk za pritrjevanje kablov iz neferomagnetnega materiala

6.7.4 Polaganje SN kablov v prostorih s povečano požarno ogroženostjo

Pri polaganju kablov v prostore s povečano požarno ogroženostjo je nujno upoštevati ustrezne protipožarne ukrepe za primer nastanka požara in njegovega širjenja. Polaganju v prostorih s povečano požarno ogroženostjo (javni objekti, kjer se zadržuje večje število ljudi – ceste, tuneli, mostovi, postaje bolnice itd.) je potrebno uporabiti ustrezne kable, ki zagotavljajo dolgotrajno protipožarno odpornost v skladu s ustreznimi standardi ali zagotoviti dodatne ukrepe za preprečevanje širitve požara in sisteme za gašenje. Polaganje v prostorih s povečano požarno ogroženostjo je opredeljeno v standardih IEC skupine IEC 60332-_-__, VDE 472 Teil 804, HD 622 S1 in EN 50575.

6.7.5 Polaganje enožilnih SN kablov

Če se enožilni kabli polagajo v jeklene cevi, tedaj nikakor ni dopustno polaganje enega kabla v eno cev, ampak veljajo za razne sisteme naslednji načini polaganja:

- Pri trifaznem sistemu se polaga vse tri kable v isto cev.
- Razporeditev enožilnih kablov v trifaznem sistemu je lahko v obliki trikota ali v ravnini.
- V primeru obojestranske ozemljitve kovinskih zaslonov se priporoča trikotna razporeditev, še posebej pri kablih z večjimi prerezi oz. tokovnimi obremenitvami.
- V SN omrežjih, ki lahko nek čas obratujejo z zemeljskim stikom (omrežje z resonančno ozemljitvijo nevtralne točke - RONT), se poveča obremenitev izolacije in verjetnost nastanka dvojnega zemeljskega stika, zato uporaba trižilnih kablov ni priporočljiva.
- V primeru uporabe trižilnih kablov ni dovoljeno obratovanja daljše od 4 s sicer je potrebno povečati izolacijsko stopnjo tj. izbrati kabel naslednjega napetostnega nivoja. Polaganje trižilnih kablov je obdelano v ločeni študiji EIMV ref. št. 1652
- V primeru polaganja kabelskega sistema, ki ga sestavlja večje število enožilnih kablov na fazo, je potrebno zagotoviti, da je induktivnost paralelno potekajočih kablov, ki pripadajo isti fazi čim bolj enaka, da ne bi prišlo do razlik med tokovi v kablih, ki pripadajo isti fazi. To se najlažje zagotovi, če se kable različnih faz med seboj poveže v posamezne sisteme in je razmik med kabli enega sistema manjši od razmika med kabli različnih sistemov. Razdalja med posameznima sistemoma mora biti približno dvakrat večja od razdalje med kabli, ki pripadajo istemu sistemu. Popolno simetrijo tokov je mogoče doseči le z uporabo trižilnih kablov (glej [23]SIST HD 620 S2 Part 10-B-38 in [61] Študija EIMV št. 1836 tč. 5.9.).

6.7.6 Polaganje SN kablov na nagnjenih in drsečih terenih ter navpično polaganje

Če je kabel položen v zemljo v neprekinjeni dolžini 10 m ali več pod stalnim naklonom imenujemo tako traso nagnjeno.

Predvideni tipski kabli po svoji konstrukciji in z izolacijo iz trdnega dielektrika omogočajo tudi polaganje na nagnjenih terenih.

Na nagnjenih terenih je potrebno kable in kabelske spojke razbremeniti pred vplivom teže kabla, kabelskih spojk in zemlje, v katero so položeni.

Pri naklonu terena do 20° se kabel bodisi sidra, bodisi se kabelska trasa oblikuje vijugasto, kabelske spojke pa se polaga izven kabelske trase.

Pri naklonu terena nad 20° in na drsečih terenih se priporoča uporaba kablov z armaturo iz jeklenih žic in kable spojiti s specialnimi spojkami. Če se v takih primerih uporabi kabel z armaturo iz jeklenih trakov in normalne spojke, je potrebno oba elementa razbremeniti pred nateznimi napetostmi skladno z navodili proizvajalca (npr. N2XSF2Y AWA).

Kabelski kanal na nagnjenih terenih je potrebno na določenih mestih dodatno zavarovati pred izpiranjem posteljice kabla.

6.7.7 Prehod SN kablovoda v nadzemni vod

Pri prehodu kablovoda v nadzemni vod je potrebno že v zemlji kabel oblikovati tako, da polmer krivljenja ne prekorači najmanjše še dopustne vrednosti.

Kabel mora biti zaščiten pred mehanskimi poškodbami najmanj 0,3 m v zemlji ter najmanj 2,2 m iznad zemlje.

Slika 12: Zaščita kablov pri prehodu iz zemlje na SM pred mehanskimi poškodbami

Mehanska zaščita se izvede s plastičnimi cevmi ali polcevmi, aluminijskimi koriti ali ščitniki ustreznega premera, ki so pritrjeni z objemkami najmanj na dveh mestih ali z ostalimi nemagnetnimi materiali.

Če je zračna dolžina kabla večja od 10 m, se pri dimenzioniranju prereza kabla upošteva segrevanje kabla zaradi izpostavljenosti soncu ali se predvidi ustrezna zaščita.

Pri kablih, ki so izpostavljeni sončnemu obsevanju, je potrebno bodisi uporabiti zaščito pred soncem (senčenje), bodisi je v izračunu potrebno upoštevati zmanjšanje obremenljivosti zaradi višje temperature.

Pri navpičnem prehodu je potrebno upoštevati tehnična navodila proizvajalca ali določila standardov za navpično polaganje kablov.

Pri prehodu nadzemnega voda v kablovod je potrebno uporabiti ustrezno zaščito pred atmosferskimi prenapetostmi. Kabelski končniki se namestijo v zaščitni coni konstrukcije ter neposredni bližini prenapetostnih odvodnikov.

Pri polaganju PE kablov po drogu naj bodo le-ti po možnosti oddaljeni od droga za premer kabla, lahko pa se med seboj dotikajo. Objemke za pritrditev kablov morajo biti iz nemagnetnega materiala. Dolžina pokablitve daljnovoda pred vstopom (priklopom) v RTP naj bo vsaj 130 m. V primeru naddolžine kabla se pusti rezervo v obliki pentlje.

6.7.8 Polaganje SN kablov na mostovih

Glede na različne konstrukcije mostov je potrebno prilagoditi način prehoda kabla sami konstrukciji mosta. Pri tem moramo vedno upoštevati usklajenost morebitnih ostalih komunalnih inštalacij s kablom pri pristojnih podjetjih. Priporoča se, da se kabli polagajo na nizvodni strani mostne konstrukcije.

Polaganje kablov preko armiranobetonskih, jeklenih in kamnitih mostov se praviloma izvaja pod pločnikom v kanalih ali ceveh iz materialov odpornih pred ognjem.

Medsebojna razporeditev kablov mora biti takšna, da morebitni preboj enega kabla ne ogroža sosednjih kablov.

Priporoča se, da ima kabel na mostu, ki je položen v kanalu ali cevi, samougasni plašč.

Kabli, ki se polagajo na nosilce - konzole, morajo biti ustrezno pritrjeni.

Na mostovih spajanje kablov ni priporočljivo. Spojke naj bodo 20 m stran od mosta in drugih objektov, ki povzročajo vibracije tal. Zaradi raztezanja in krčenja, ki ga povzroča sprememba zunanje temperature, sončno obsevanje in vibracije se priporoča vijugasto polaganje in obojestransko zaščitno vpetje v kabelske objemke, da ne bi kabel polzel. Glede na izvedbo mosta je dopustno tudi prosto polaganje kablov na mestih, ki niso dostopna ljudem.

Vpliv vibracij se lahko zmanjša z različnimi ukrepi: polaganje kabla na posteljico iz materiala, ki blaži vibracije, uporaba kabla z mehansko zaščito iz žice.

Pri prostem polaganju kablov na mostu je potrebno kable zaščititi pred sončnimi žarki in omogočiti hlajenje kabla s pretokom zraka.

Na diletacijskih mestih na mostu je potrebno kabel polagati v blagem loku ali zanki, da bi se izognili diletacijskim obremenitvam kabla.

Polaganje elektroenergetskih kablov preko lesenih mostov se ne priporoča.

Če ni druge možnosti premostitve vodne ovire, je potrebno kable polagati preko lesenega mostu pod pločnikom v trdni cevi iz materiala, odpornega proti ognju. Prosto polaganje kablov po leseni mostni konstrukciji ni dovoljeno.

Način prehoda kablov preko armiranobetonskih in kamnitih mostov je odvisen tako od konstrukcije in nosilnosti mosta kakor tudi od razpoložljivega prostora.

Če niso že zgrajeni kanali in vgrajene cevi v mostu, se lahko izdela posebna jeklena konstrukcija, ki se pritrdi na most. Način pritrditve kablov v nosilne konstrukcije ne sme vplivati na trdnost konstrukcije mosta.

Prepovedano je vzidovanje kablov v oboke mosta, razen če so bile že vbetonirane cevi EKK skozi mostno konstrukcijo ob priliki gradnje mosta.

Pri večjih armiranobetonskih mostovih je dovoljeno polaganje kablov v posebnih kanalih ali plastičnih ceveh.

Za prehod kablov pri mostovih jeklene konstrukcije se lahko uporabi tudi sama mostna konstrukcija, ki služi kot nosilec, ali plastične cevi, pritrjene na konstrukcijo mosta.

Vse kovinske konstrukcije za polaganje kablov je potrebno ozemljiti.

Kable na jeklenih ali armiranobetonskih mostovih z elektrificirano železniško ali tramvajsko progo je potrebno polagati izolirano, tako da ne pride do dotika s kovinskimi deli mosta ali armature armiranobetonske konstrukcije. Uporabi se objemke iz umetnih mas, ki zagotavljajo ustrezno razdaljo med kablom in prevodnimi deli mosta. Tako se prepreči stik med plaščem in kovinskimi deli mostu, ki v primeru poškodbe plašča povzroča, da se tokovi kovinskega zaslona zaključujejo po kovinski konstrukciji mosta. Nameščanje kablov v PVC cevi ni primerno, saj se v njih lahko pojavi voda zaradi kondenzacije ali padavin.

Ta določba je v ozki zvezi z ukrepi za zmanjšanje škodljivega delovanja blodečih tokov.

Če v smeri trase oziroma vodne ovire ni mosta ali obstoječi most ne more nositi teže kabla in cevi ter polaganje kabla na dno vodotoka ni smotrno ali ni mogoče, se lahko kabel položi na namenski premostitveni inženirski objekt za kabel. Za tak način polaganja kablov veljajo prav tako prej omenjeni napotki.

6.7.9 Polaganje SN kablov v kabelskih predorih

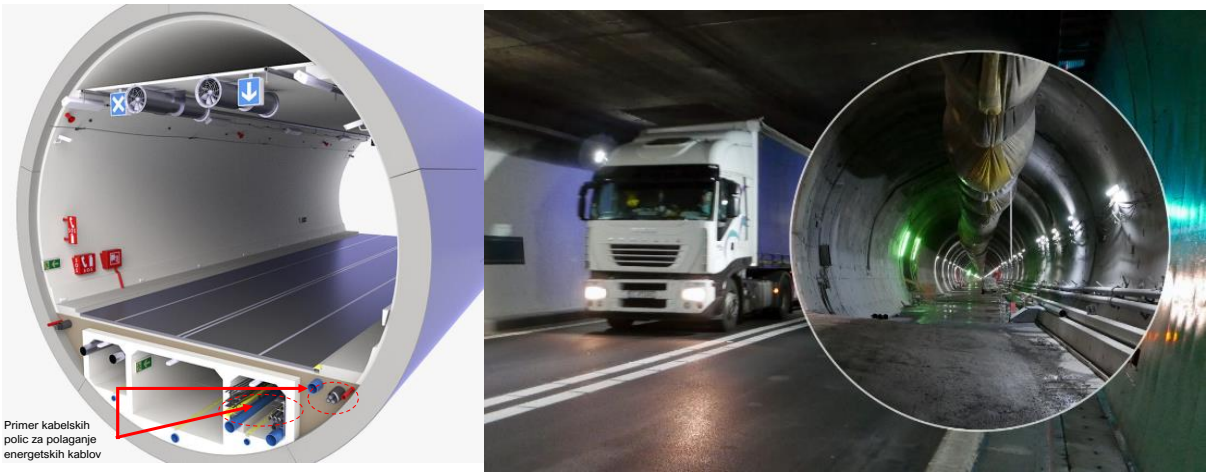
V primerih z gosto urbanizacijo, kjer ni možnosti za umestitev kabelske trase v prostor, se uporabi metoda polaganja v predorih, ki so namenjeni izključno kablom. Večinoma so to VN

kablovodi za pomembnejše povezave. Ti so locirani globoko pod vsemi infrastrukturnimi vodi (npr. Stockholm). Podobne rešitve se uporabijo tudi pri prečkanju posebnih zavarovanih območji, npr. naravnih rezervatov, kjer se bodisi predor izdela z metodo podvrtavanja ali z izkopom s postopkom odprtega kopa in namestitvijo predfabriciranih betonskih blokov ter naknadnim zakopavanjem (npr. Madrid – letališče).

Slika 13: Polaganje kablov v kabelskih predorih

6.7.10 Polaganje SN kablov v cestnih predorih

SN kabli se polagajo v predore izdelane za različne namene, saj izdelava predorov, namenjenih izključno SN kablom, ne bi bila ekonomsko upravičena. SN kabli se večinoma polagajo v cestne predore ali predore, namenjene drugim infrastrukturnim vodom. Slika 13 prikazuje način polaganja SN kablov v cestnih predorih.



Slika 14: Polaganje kablov v cestnih predorih

6.7.11 Podvodno polaganje SN kablov

Podzemni kabli so na večini kabelskih tras stalno izpostavljeni vlagi. Korozijska izpostavljenost se še poveča, če je v zemlji prisotna voda. Voda v naravi večinoma ni čista ampak vsebuje soli, kisline in baze, zato je dober elektrolit. Kljub temu za elektrokemičen proces korozije zadostuje tudi povsem kemično čista voda. Korozijska izpostavljenost se še poveča, če je v vodi raztopljen kisik. Prav tako je korozija intenzivnejša zaradi delovanja električnih tokov po zaslonih in

blodečih enosmernih tokov v okolici železnic. Podrobneje je problematika obdelana v študiji EIMV št. 2394 str. 27.

Kabli, specificirani v standardu SIST HD 620 S2, niso namenjeni polaganju v vodo (Annex A Page 1- 27 tč. A.2.1), zato je potrebno specifične zahteve opredeliti dodatno. Priporoča se uporaba zunanjega plašča iz HDPE (polietilen z visoko gostoto) ter konstrukcija kabla s prečno vodno zaporo (oznaka FL). Polaganje kablov na terenih z veliko in dolgotrajno vsebnostjo vode je smotrn način za prehod preko vodne ovire samo tedaj, če je možno zagotoviti zanesljivo obratovanje kablov in če so pri polaganju kablov izpolnjene vse zahteve, ki se morajo upoštevati pri takšnem načinu polaganja.

Pri globlji poškodbi zunanjega plašča lahko pride do vdora vode v notranjost kabla, zato je primernejša uporaba kabla, ki ima poleg vzdolžne tudi prečno vodno zaščito (oznaka FL).

Kovinski zasloni so izdelani pretežno iz bakra, v zadnjem obdobju pa je vse pogostejši tudi aluminij oziroma njegove zlitine. Baker ni tako občutljiv na korozijo kot aluminij, ker ima dovolj visok elektrokemični potencial. Aluminij je treba zaščititi pred korozijo v primeru izpostavljenosti agresivnejšim atmosferam kot so morska, industrijska ali agresivna mestna atmosfera.

Pri poškodbi zunanjega plašča na podzemnih kablovodih voda iz okoliške zemljine nemoteno vstopi v kabel in najprej doseže prečno vodno zaporo, pri globljih poškodbah pa tudi kovinski zaslon. Prečna vodna zapora je pri SN kablih izdelana izključno iz aluminija oziroma aluminijeve zlitine, kar pomeni, da je njena korozijska ogroženost ob poškodbi zelo močna. Voda lahko vstopi v kabel tudi pri poškodbi ali pomanjkljivi montaži kabelskega pribora, zlasti spojk, manjša verjetnost pa je, da vstopi na končnikih. V obeh primerih se pojavi tendenca kapilarnega prodiranja vode v vzdolžni smeri, kar onemogoča uporabo vzdolžne vodne zapore iz posebnih trakov, ki v stiku z vodo nabreknejo in tvorijo žele.

Korozijska izpostavljenost aluminijskega zaslona pri globljih poškodbah zunanjega plašča zahteva uporabo izboljšane zaščite pred vstopom in prodiranjem vode v notranjost kabla. Enako velja tudi za prečno zaporo, ki pa je večinoma izdelana iz aluminija, le v manjšem obsegu pa sta uporabljena tudi baker ali svinec. V primeru mehanske poškodbe kabla v zemlji je treba poskrbeti za zaščito kovinskih slojev, ki se nahajajo neposredno pod zunanjim plaščem kabla, to sta prečna vodna zapora in kovinski zaslon.

Boljšo korozijsko zaščito vodnika omogoča tudi izbira kabelske konstrukcije z vodotesnim vodnikom (prah ali trakovi). V posameznih sekcijah standarda SIST HD 620 S2 je podan sklic na postopek preskušanja vzdolžne vodotesnosti kabla v skladu z določili standarda za visokonapetostne kable SIST HD 632 S3 (primer SIST HD 620 S2 Part 10 M).

Pri neposrednem polaganju kablov v vodo je potrebno posvetiti posebno pozornost izbiri trase. Izogibati se je potrebno trasi z ostrimi podvodnimi stenami in čermi. Dno tekoče vode ne sme bistveno menjati svoje konfiguracije, kar pomeni, da se je potrebno izogibati peščenim nanosom, ki spreminjajo svoj položaj in ki bi odnesli dno pod kablom ali bi kabel zasuli. Kabel je potrebno dodatno obtežiti.

Trasa podvodnega kablovoda mora biti oddaljena od mostov, sidrišč za ladje in podobnih mest, kjer naprave za vodni promet lahko poškodujejo kabel.

Položeni kabel na dnu vodotoka ne sme biti napet, ampak se mora prilagoditi konfiguraciji tal.

Na obalah med najnižjo in najvišjo koto vodostaja mora biti kabel tako položen, da morebitno odnašanje in trganje obale ne more poškodovati kabla. Najmanjša dolžina vkopa je odvisna od obale in mora znašati od 30 do 50 m.

Polaganje je potrebno opraviti po možnosti pri najnižjem vodostaju. V priobalnem delu je potrebno kable zaščititi pred vplivi valov in vodnimi tokovi.

Kabel mora biti iz enega kosa zadostne dolžine, za kar je potrebno pred polaganjem ugotoviti profil dna, da se lahko določi potrebna dolžina kabla. Prehod je potrebno uresničiti po možnosti na čim krajšem oziroma čim ožjem delu vodotoka.

Način in globino polaganja kabla pri prehodu vodotoka (direktno polaganje na dno ali pod dnom) določi ali predpiše pristojno podjetje za vodno gospodarstvo.

Za en ali drug način polaganja se lahko uporabi kabel ustrezne konstrukcije ali cevi ustrezne mehanske trdnosti za zaščito kabla normalne izvedbe.

Pri širokih prehodih vodotoka je potrebno uporabiti ustrezno opremo in mehanizacijo za polaganje.

Križanje kabla s plovno potjo moramo označiti z oznako o prepovedi sidranja. Oznako je potrebno na vsaki strani obale tako dobro in vidno postaviti, da stoji neposredno poleg trase, njen napis je obrnjen na desno stran prometa. Na nepreglednem delu obale se morajo namestiti oznake z obojestranskim napisom.

Velikost oznake o prepovedi sidranja se izbere glede na širino vodotoka na mestu prehoda, kar prikazuje Tabela 34.

Polaganje kablov v morju zajemajo posebni predpisi.

6.8 TRANSPORT IN SKLADIŠČENJE SN KABLOV

Kabli se transportirajo na kabelskih bobnih s predpisanimi minimalnimi polmeri jedra, ki so večji od minimalnega dovoljenega polmera zvijanja kabla. Tudi pri previjanju krajših dolžin je potrebno uporabiti bobne enakih ali večjih premerov. Krajše dolžine kablov se lahko prevažajo zvite v kolutih z upoštevanjem minimalnega dopustnega premera krivljenja kabla. Konci kablov morajo biti vodo nepropustno zaščiteni z ustreznimi kapami.

Za transport in polaganje kabelskih bobnov se priporoča uporaba ustrezne kabelske prikolice in ustrezna tovorna vozila.

Kabelske bobne premeščamo previdno, da preprečimo poškodbe stranic bobna in kabla.

Bobni s premerom stranic 100 cm in več se prevažajo v delovnem položaju, medtem ko se bobni manjšega premera lahko položijo tudi na stranico.

Kabli smejo biti naviti na bobnu tako, da med zadnjim slojem kabla in vrhom stranice bobna ostane razmik najmanj 5 cm.

Transport kabla s kotaljenjem je dopusten samo na krajših razdaljah npr. v skladiščnih prostorih na ravni površini ali na ravnem terenu brez kamenja. Kotaljenje bobna je dopustno le v smeri puščice na stranici bobna in le, ko je kabel na bobnu čvrsto navit, konci kabla pa pritrjeni na stranico bobna, boben pa mora biti blindiran.

Če je teren vlažen ali mehak, je potrebno pod boben položiti debele (5 cm) deske.

Na gradbišču je potrebno bobne zavarovati pred nehotenim kotaljenjem (priloga A30).

Kable je potrebno skladiščiti skladno z navodili proizvajalca na pokritem mestu in jih zavarovati pred direktnimi sončnimi žarki, atmosferskimi vplivi, gnilobo pri lesenih bobnih ter možnostjo poškodb. Vsak kabelski boben mora imeti vremensko odporno etiketo s tehničnimi podatki o kablu: tip kabla, število in presek žil, nazivno napetost, težo in dolžino kabla, leto izdelave in številko kabelskega bobna.

6.9 POLAGANJE SN KABLOV PRI NIZKIH TEMPERATURAH

Najnižja priporočljiva temperatura pri polaganju SN kablov z PVC plaščem je -15 C in kablov s PE plaščem -20 C. Pri nižjih temperaturah je potrebno kabel predhodno segreti. Enako velja tudi za montažo spojk in končnikov.

V primeru polaganja pri nižjih temperaturah je potrebno kabel predhodno segreti.

a Segrevanje kablov v toplih prostorih. Kabelski boben se pusti v toplem prostoru.

- Če je temperatura prostora:
  - med +5°C do +10 °C pustimo kabel v tem prostoru 72 ur,
  - med +10°C do 20 °C pustimo kabel v tem prostoru 48 do 40 ur,
  - med +20°C do +25 °C pustimo kabel v tem prostoru 36 do 24 ur.

b Segrevanje z električnim tokom se izvaja tako, da se vse žile kabla povežejo paralelno, razen četrte nevtralne žile, če je ta manjšega prereza in se priključi na varilni aparat ali posebni transformator napetosti 400/230/7 V.

- Tok segrevanja lahko znaša okrog 1 A/mm².
- Temperaturo segrevanja je potrebno kontrolirati s termometrom na površini kabla in lahko znaša maksimalno do:
- 25°C za kable 35 kV,
- 35°C za kable 10 kV in 20 kV.

Čas segrevanja je odvisen od jakosti toka in se giblje okrog 50 minut. Pri tem načinu segrevanja morati biti dostopna oba konca kabla.

6.10 ODVIJANJE IN POLAGANJE SN KABLOV

Pred odvijanjem in polaganjem kablov je potrebno preveriti:

- pravilnost zaščitnih kap na koncih kabla, kontrola vlage v kablu,
- morebitne mehanske poškodbe in stanje plašča kabla na zunanji plasti,
- ali obstaja možnost morebitne poškodbe zunanjega plašča pri odvijanju,
- splošno stanje kabelskega bobna.

Prav tako je potrebno preveriti napisno ploščico na bobnu, oznake na zunanjem plašču kabla in ugotoviti skladnost tipa kabla, obratovalne napetosti, prereza in tipa vodnika ter dolžine kabla s projektiranimi podatki za določeno kabelsko traso.

Mesto postavitve kabelskega bobna oziroma podstavka se prilagodi okoliščinam terena in predvidenem načinu polaganja v neposredni bližini jarka.

Za odvijanje kabla je potrebno dvigniti boben s tal na kabelski podstavek ali prikolico, ki omogoča kontrolirano vrtenje bobna brez poškodb zunanje plasti kabla. Kabel se odvija s počasnim in enakomernim vlečenjem z gornje strani bobna tako, da je smer odvijanja nasprotna smeri puščice na bobnu (priloga A31). Paziti je treba, da se v kablu ne bi ustvarile prevelike natezne sile, ki bi lahko poškodovale zlasti kable manjših prerezov in kable brez armature. Pri odvijanju je potrebno zagotoviti možnost zaviranja bobna. Postopek odvijanja kabla z bobna in njegovo polaganje v izkopani jarek je odvisen od delovnega mesta, preprek v jarku in zraven njega ter od razpoložljive mehanizacije. Če poteka istočasno odvijanje več bobnov kabla na isti trasi (enožilen kabel), je potrebno paziti, da žile kabla po razvitju obdržijo isti vrstni red. Paziti je treba, da se kabel ne razvija preveč na kratko in da se ne vleče preko ostrih predmetov. Pri polaganju kablov je potrebno dosledno spoštovati določila proizvajalcev kabla, da ne pride do prekoračitve dopustnih parametrov, ki so pri tem pomembni. Ti so:

- dopustno natezna obremenitev kabla pri razvijanju kabla,
- dopustna najmanjša temperatura, pri kateri se kabel še lahko polaga in
- dopustni polmer zvijanja (krivljenja) kabla.

Slika 15: Sočasno polaganja vseh treh faz SN kablov s kamiona in dodatne prikolice

Slika 16: Poenostavljeno polaganje SN kablov direktno v kabelski jarek

Polaganje kabla se lahko izvede ročno, z vozila ali strojno z uporabo vitla in motornih valjčkov.

1 **Ročno polaganje kablov** (primerno za krajše dolžine do 300 m in pri sektorjih z ostrim spreminjanjem trase).

- Kabel se odvija s kabelskega bobna in položi direktno v kabelski jarek ali na tla neposredno poleg jarka.
- Odviti kabel nosijo delavci na rokah. Število delavcev se določi tako, da znaša obremenitev na enega delavca do 20 kg. Pri tem je potrebno paziti na minimalne dopustne polmere krivljenja kabla in kabel se ne sme vleči po tleh. Na težjih mestih je potrebno večje število delavcev.
- Pri ročnem polaganju kabla je možna tudi uporaba valjev. Razpored valjev določa sama trasa oziroma so valji nameščeni na dnu jarka v razmiku od 3 do 6 m, odvisno od tipa in teže kabla na meter. Pogoj je, da se kabel ne vleče po tleh in da se ne prekorači dopustnega polmera krivljenja.

Kabla se ne sme vleči preko trdih in ostrih predmetov in robov.

2 **Strojno polaganje kablov** (polaganje z uporabo vitla)

Strojno polaganje kabla (polaganje kabla z vitlom) se dopušča na trasi, kjer ni ovir in krivin. Kabel se vleče preko vrtljivih valjev, ki so nameščeni na dnu jarka v razmiku od 4 do 6 m, odvisno od tipa in teže kabla na meter. Vlečna vrv je z vlečno nogavico povezana s koncem kabla. Velikost vlečne nogavice je odvisna od premera kabla. Po polaganju se mora dolžina kabla, ki jo je objela vlečna nogavica, odstraniti in ponovno zatesniti konec kabla, če se takoj ne izdela kabelski končnik.

Slika 17: Prikaz opreme za strojno polaganje kabla

Slika 18: Manjša in večja naprava za podvrtavanje

Slika 19: Zatezna sponka

Pri polaganju kabla z vitlom na daljših in težjih trasah, kjer so potrebne večje vlečne sile, se kabel pričvrsti na same vodnike z zatezno sponko. Če vlečna sila vitla ni dovolj velika (ne zadostuje), da izvleče kabel, oz. če je trasa kabla prezahtevna ali predolga, se priporoča uporabo dodatnih motornih valjčkov, ki se običajno postavijo pred in za težkimi zavoji. Če se kabel vleče skozi cevi, je potrebno na vstopu v cevi namestiti posebne uvodnice z valčkom, na zavojih

pa dodatno montirati valjčno progo, po potrebi pa ga je treba tudi podmazati, da se zmanjša trenje in zmanjša potrebna vlečna sila.

Slika 20: Valjčna proga in prikaz njene uporabe na ostrih krivinah

Slika 21: Uporaba valjčkov za polaganje SN kablov

V primeru polaganja kabla na lomljeni trasi je potrebno uporabiti kotne valjčke oz. valjčno progo. Na mestih, kjer ni mogoče postaviti valjev, nosijo kabel delavci na prej opisani način. Pred strojnim polaganjem kablov je potrebno določiti silo vlečenja kabla glede na dolžino kabla, koeficient trenja, lomljenja in nagib trase. Vrednost vlečne sile ne sme preseči dopustne mehanske obremenitve kabla oziroma vrednosti iz Tabela 35 in HD 620 S2 Part 10-C-25 (za Cu vodnik 50 N/mm^2 in za Al vodnik 30 N/mm^2).

Potrebna vlečna sila za vleko kabla s pomočjo vitla in pomožne vrvi se izračuna iz enačbe:

$$F_v = f \times g \times L \; [daN] \tag{6.26}$$

kjer je:

F_v	potrebna vlečna sila kabla	[da N]
f	koeficient trenja pri postavitvi valjčkov s krogličnimi ležaji v razmiku 3-4 m	[-]
g	specifična teža kabla (teža kabla na enoto dolžine)	[kg/m]
L	dolžina kabla, ki se polaga	[m]

Koeficient trenja f je odvisen od vrste kabla.

Vrednosti koeficienta trenja pri kablu s plaščem iz PVC ali PE znašajo:

- 0,10 - 0,15 (0,20 v izjemnih primerih vlečenja kabla v cevi),
- 0,5 - 0,60 brez podmazanja plašča kabla,
- 0,30 - 0,50 s podmazovanjem plašča kabla.

Pri vleki kabla na zahtevni trasi z ostrimi krivinami je potrebna znatno večja sila. V spodnji tabeli so podane povprečne vrednosti vlečne sile, ki so odvisne od teže kabla in od konfiguracije trase kablovoda.

Vrsta trase kablovoda	Vlečna sila / skupna masa kabla, ki se vleče s pomočjo vitla in vrvi
• ravna trasa ali majhne neravnine:	15-20 %
• trasa z dvema krivinama po 90:	20-40 %
• trasa z tremi krivinami po 90:	40-60%
• vleka kabla v cevi in kabelskih kanalih:	30-50%

Možni načini za zmanjšanje vlečne sile kabla:

- pred razvijanjem kabla postaviti motorne valjčke,
- smer vleke kabla naj poteka od zahtevnejšega dela trase k lažjem delu.

Pri vleki kabla se uporabi sledeči način:

- vleka s pomočjo vlečne nogavice pritrjene na plašč kabla, ki se uporablja pri trasah, kjer ni veliko ostrih krivin,
- vleka s pomočjo sponke, spojene za vodnik kabla, ki se uporablja pri daljših in zahtevnejših trasah, kjer so natezne sile večje.

Pri vseh navedenih načinih vleke je potrebno paziti, da se ne preseže maksimalne sile vlečenja, ki jo podaja proizvajalec kablov za posamezen tip kabla.

Maksimalna sila vlečenja [N] je odvisna od tipa kabla in načina vlečenja:

Vlečenje z vlečno glavo za vse tipe kablov

Al vodnik	F = 30 N/mm^2 x A	[N]

Cu vodnik	F = 50 N/mm^2 x A	[N]

Vleka z vlečno nogavico za kable brez armature in kovinskega plašča (npr. NYY, NYSY, NYSEY, NYCWY)

Al vodnik	F = 30 N/mm^2 x A	[N]
Cu vodnik	F = 50 N/mm^2 x A	[N]

Vleka z vlečno nogavico za kable z armaturo (npr. NYFGY, NAYFGY)

F = 9 N/mm^2 x D^2 [N]

Vleka z nogavico za kable s kovinskim plaščem brez armature (npr. NKBA, NYKY, NKLEY)

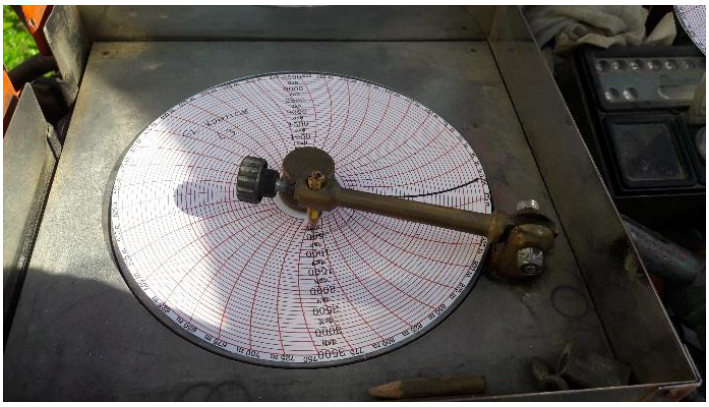
Enoplaščni	F = 3 N/mm^2 x D^2	[N]
Triplaščni	F = 1 N/mm^2 x D^2	[N]

Kjer pomeni:

A	presek vodnika	[mm^2]
D	zunanji premer kabla	[mm]
F	maksimalna dovo1jena sila vlečenja	[da N]

Koeficienti trenja (informativni) so podani v tabeli 47, korektivni faktorji vlečnih sil (informativni) zaradi preloma trase pa v tabeli 48.

Pri mehaniziranem načinu polaganja kabla je potrebno kontinuirano preverjati vlečno silo z dinamometrom in jo spremljati med polaganjem. Vitel mora biti opremljen s posebno varnostno varovalko, ki popusti, če kabel prekorači dovoljeno vlečno silo. Če vlečna sila vitla ni dovolj velika, da izvleče kabel oz. če je trasa kabla prezahtevna ali predolga, se priporoča uporabo dodatnih motornih valjčkov, ki se običajno postavijo pred in za težkimi zavoji. Če se kabel vleče skozi cevi, je potrebno na vstopu v cevi namestiti posebne uvodnice z valčkom, na zavojih pa dodatno montirati valjčno progo, po potrebi pa ga je treba tudi podmazati, da se zmanjša trenje in zmanjša potrebna vlečna sila.



Slika 22: Dinamometer za registracijo vlečne sile pri polaganju kablov

Kabel se ne sme zvijati t. j. torzijsko obremeniti, zato mora biti vgrajena antitorzijska sponka z vlečno vrvjo in zatezno nogavico.

Velikost obremenitve kabla glede na raztezek in natezanje, ki ga povzroča vlečna sila, sta odvisna od:

- tipa in konstrukcije kabla,
- teže kabla na enoto dolžine ali dolžine kabla za določeno traso,
- od koeficienta trenja med kablom in vrtečimi se valji, steno jarka ali cevi,
- od smeri vlečne sile in poti kabla pri spremembah smeri trase,
- od profila in načrta trase oziroma polmerov zakrivljenosti trase v vodoravni in navpični ravnini.

Pri uporabi vitla mora biti vgrajena varovalka, ki popusti pri prekoračitvi dopustne vlečne sile.

Slika 23: Uporaba valjčkov in vesp pri polaganju SN kablov

Ko je kabel razvlečen, se ročno prestavi iz valjev v jarek. Snemanje kabla z valjev po polaganju je potrebno pričeti od bobna v smeri vlečenega konca kabla.

Pri odvijanju in transportu kabla je potrebno upoštevati minimalni dopustni polmer krivljenja kablov, ki ga prikazuje Tabela 36. Polmeri krivljenja, ki jih prikazuje Tabela 36, so lahko izjemoma manjši za 30 %, če se krivljenje izvaja preko šablon ali če gre za končno krivljenje na mestu vgradnje.

Kabel se polaga v jarek valovito, še posebej v razgibanem terenu. Tako je dolžina položenega kabla za približno 3-5 % daljša od dolžine trase.

Pri paralelnem polaganju več kabelskih sistemov je potrebno zadržati paralelnost poteka z določenim razmikom vzdolž skupne trase brez medsebojnega križanja.

Pri polaganju večjega števila paralelnih sistemov kablovodov je pred zasutjem potrebno upoštevati temperaturne razlike med dnevom in nočjo zaradi raztezanja kablov in posledično spreminjanje razdalj med njimi.

Po delnem in pred popolnim zasutjem kabla je potrebno izvesti :

- napetostni preskus zunanjega plašča,
- napetostni preskus glavne izolacije kabla po namestitvi spojk,
- ponovni napetostni preskus plašča,
- posneti natančen potek trase kablovoda, označiti križanja z ostalimi objekti, mesta spojk in točno dolžino kabla.

Na koncih položenega kabla je potrebno obvezno namestiti ploščice za oznako kabla. Enožilni kabli se ne smejo označevati z objemkami iz feromagnetnega materiala.

Ploščice in pritrdilni material za označevanje kablov so izdelane iz obstojnega materiala (večinoma s trakovi z oznakami L_1, L_2, L_3) in morajo vsebovati naslednje podatke o kablovodu:

- presek,
- naziv kablovoda,
- napetostni nivo,
- dolžino,
- smer,
- označbo faz.

Po položitvi kablov se opravi **geodetski posnetek** kablovoda (na vsakih 30 cm).

6.11 POLAGANJE SN KABLOV V KABELSKO KANALIZACIJO

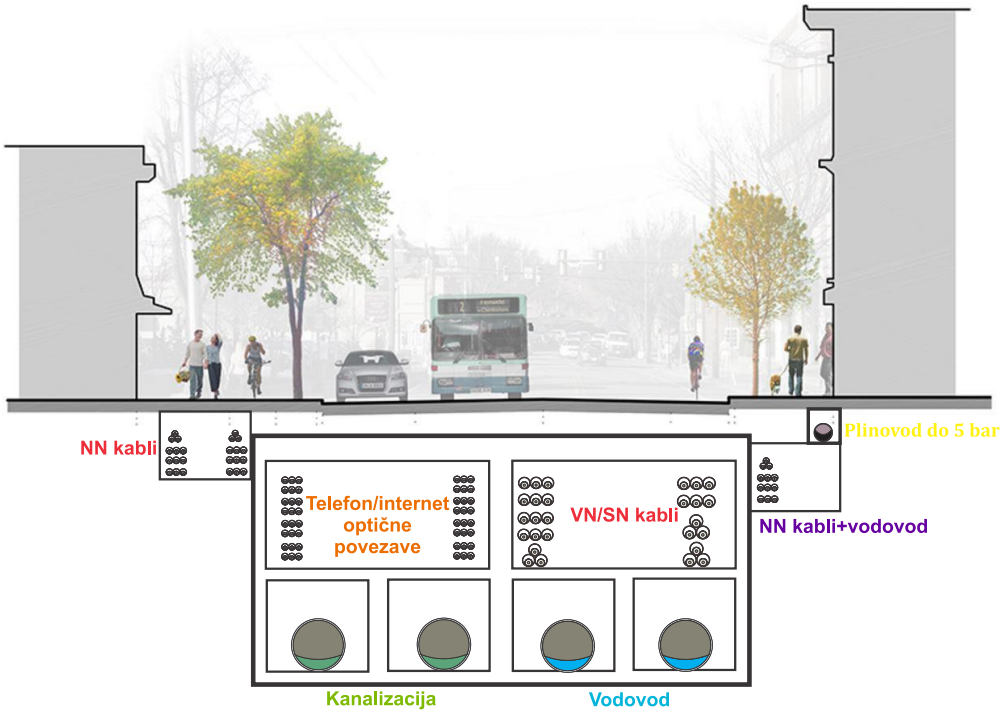
Kabel zaščitimo z uvlekom v cev v naslednjih primerih:

- pri križanju trase kabla s prometnimi potmi, železniškimi ali tramvajskimi progami,
- pri prekoračitvi dopustne minimalne oddaljenosti kabla od ostale infrastrukture,
- pri možni mehanski okvari kabla,
- pri približevanju elektroenergetskih vodov in postrojev,
- za zaščito kablov pred blodečimi tokovi.

Kovinske cevi se uporabljajo samo za zaščito kablov pri križanju z visokotlačnim cevovodom, mostnih konstrukcijah, telefonskih vodih ali pri možnih pogostih mehanskih okvarah kabla.

Pri polaganju kablov v kabelsko kanalizacijo mora biti minimalni nazivni notranji premer cevi najmanj 1,5 krat večji od premera kabla. Priporočajo se premeri cevi:

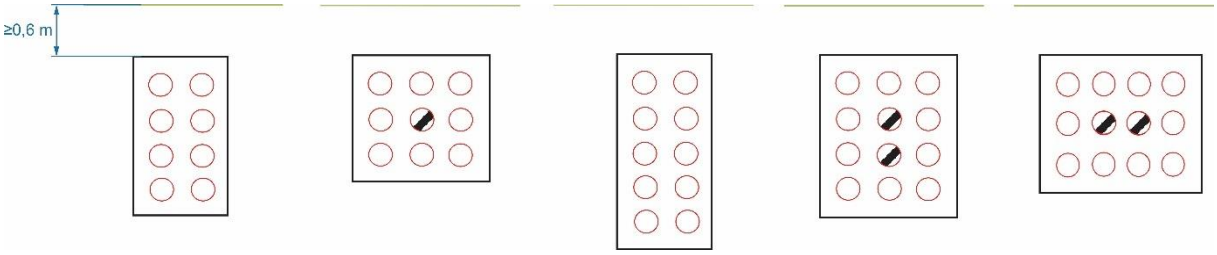
- 110 mm — en kabel v cevi za kable U_0/U = 12/20 kV in 18/30 kV (20/35 kV)
- do 160 mm — trije kabli v cevi za kable U_0/U = 12/20 kV in 18/30 kV (20/35 kV)
- 2 x 50 mm — optični kabel



Slika 24: Skupno polaganje kablov in komunalne infrastrukture

Slika 24 na skrajni desni strani prikazuje skupno polaganje kablov in komunalne infrastrukture. Visokonapetosni in srednjenapetostni kabli potekajo nad komunalnimi vodi. Visokonapetosni kabli na desni in srednjenapetostni kabli na levi strani.

Dovoljene razmestitve kablov v kabelski kanalizaciji prikazuje Slika 25.



Slika 25: Dovoljene razmestitve kablov v kabelski kanalizaciji

Neuporabljene cevi se lahko uporabijo za optične kable.

Za cevno kabelsko kanalizacijo se izdela najprej podlaga iz suhega betona C 12/15 debeline 10 cm, na katero se polagajo cevi. Cevi je potrebno zatesniti in izvesti brez mehanskih robov ter spoje zaliti s cementnim mlekom. Če se cevi polaga v več vrst, morajo biti spoji cevi

razmaknjeni. Po spojitvi je potrebno cevi prekriti s suhim betonom debeline 10 cm (priloga A12).

Če se izvaja prehod na že položenih kablih, se mehanska zaščita izdela z ustreznimi polcevmi iz enakega materiala, kot so cevi. Prehod je možno izvesti tudi s prerezanimi PVC cevmi. Postopek za vgradnjo polcevi je enak kot za vgradnjo cevi.

Pri vgradnji cevi za prehode je potrebno upoštevati bodočo razširitev omrežja z vgradnjo rezervnih cevi. Predhodna namestitev cevne kanalizacije je smiselna tudi v primeru načrtovanja bodoče urbanistične ureditve.

Če se v kabelsko kanalizacijo polagajo kabli različnih napetostnih nivojev, se kabli nižjih napetosti polagajo v manjši globini, to je v višjih slojih kanalizacije.

Kabli, ki se polagajo prvi, zavzamejo najnižje odprtine v kanalizaciji. Cevne odprtine je potrebno zapreti, da ne pride do zasipavanja.

Vgradnja cevi za prehode pod cesto (ali pod cestami ali pod prometnicami) praviloma ne sme motiti prometa.

Na mestih prehoda kabla s čvrste podlage na mehkejšo in obratno je potrebno zavarovati kabel pred morebitno poškodbo z izdelavo blazinic steptane zemlje pod kablom (priloga A13).

Če se kabelska kanalizacija postavlja na daljšem sektorju, je potrebno po določenih razmikih zgraditi kabelske jaške. Ti se izdelujejo tudi:

- na kotih lomljenja kabelske kanalizacije,
- na koncih kabelske kanalizacije pri križanjih z magistralnimi mestnimi prometnicami.

Razmik med kabelskimi jaški na daljšem ravnem sektorju kabelske kanalizacije določa izraz:

$$L = \frac{F_V}{f \times g}\,[m] \tag{6.27}$$

kjer je:

L	razmik med kabelskimi jaški	[m]
F_V	dopustna vlečna sila kabla	[da N]
f	koeficient trenja	[-]
g	teža kabla na enoto dolžine	[kg/m]

V primeru strojnega polaganja kablov je razdalja med jaški pogojena z vlečno silo ter dolžino vlečne vrvi in v praksi pri ravni trasi presega 70 m do 100 m.

Na mestih, kjer kabel vstopa v cevno kanalizacijo, je potrebno vstavite posebne valjčke in sproti mastiti kabel pred vstopom v vhodno odprtino.

Kabelski jaški se izdelujejo v različnih velikostih, kar je odvisno od števila in prereza kablov, napetostnega nivoja, minimalnih delovnih pogojev in dopustnega polmera krivljenja. Globina jaška je odvisna od situacije na terenu, vendar ne sme biti globlja od 4 m.

Kabelske jaške je potrebno konstruirati po statičnem izračunu. Minimalna odprtina litoželeznega pokrova je 65 x 65 cm. Na dnu jaška mora biti drenažna odprtina, na bočni steni se pritrdijo stopnice iz jeklenih palic ali drugega materiala. Bočne stene so iz betona ali primernega obstojnega materiala (npr. trda plastika).

Za prehod kablov pod pomembnimi prometnicami, križanji in podobno, oziroma pri polaganju večjega števila kablov, se lahko uporabljajo povozni kanali (kinete), izvedeni po statičnem izračunu.

Če se kabel vleče skozi ravne cevi ali bloke, položene v vodoravni ravnini, določa vlečno silo izraz:

$$F_v = f \times g \times L \; [daN] \tag{6.28}$$

kjer je:

F_v	dopustna vlečna sila kabla	[da N]
f	koeficient trenja	[-]
g	teža kabla na enoto dolžine	[kg/m]
L	razmik med kabelskimi jaški	[m]

V primeru, da je bil kabel do vhoda v cev že obremenjen s silo F_1, je potrebna vlečna sila za uvlek kabla sledeča:

$$F_v = F_1 + f \times g \times L \; [daN] \tag{6.29}$$

kjer je:

F_1	predhodna obremenitev kabla	[da N]

Pred uvleko kabla moramo poskrbeti za normalne pogoje dela:

- dvig pokrovov s kabelskih jaškov,
- kontrola vsebnosti škodljivih plinov,
- ventilacija,
- razsvetljava,
- čiščenje jaška in odstranjevanje vode,
- kontrola prehodnosti cevi.

Pri uvleki kablov v cevi je potrebno upoštevati tudi vrednosti koeficientov trenja med različnimi materiali in povečanje vlečnih sil zaradi preloma trase. Pri vsakem jašku je potrebno kable mazati z mastjo.

Da bi se izognili križanju kablov v kabelskih jaških, je potrebno polagati kable po navpičnih vrstah od spodaj navzgor. Kable moramo razporediti tako, da je odprtina za vhod v jašek prosta. Kabli nižjega napetostnega nivoja zasedejo praviloma zgornje cevi.

6.12 PRIBLIŽEVANJE IN KRIŽANJE SN KABLOV Z OBJEKTI, PROMETNIMI POTMI IN INŠTALACIJAMI

6.12.1 Vodovod in kanalizacija

Pri križanjih in približevanjih kablovoda z vodovodom in kanalizacijo je potrebno upoštevati veljavne predpise, zahteve upravljavcev vodovodnega oz. kanalizacijskega omrežja ter zahteve upravljavca elektroenergetskega omrežja.

S polaganjem elektroenergetskih kablov ne smemo ovirati niti poškodovati obstoječih naprav. Da ne bi prišlo do medsebojnih vplivov in poškodb, moramo upoštevati minimalne odmike pri križanjih, približevanju in vzporednem polaganju kablov z ostalimi infrastrukturnimi objekti, ki jih predpišejo upravljalci teh objektov. Minimalni odmiki med kablovodom in vodovodom ter kablovodom in kanalizacijo morajo ustrezati zahtevam standarda SIST EN 805 (DIN EN 805 :2000-03) Zagotoviti je treba tudi posebno zaščito vodovoda pred odnašanjem termičnega zasipa v primeru puščanja oz. razlitja.

Polaganje elektroenergetskih kablov pod vodovodnimi in kanalizacijskimi cevmi ter nad njimi ni dopustno, izjema so križanja.

Minimalni horizontalni razmik pri paralelnem polaganju elektroenergetskega SN kabla in vodovoda je 0,5 m oziroma 1,5 m, kot križanja pa od 45° do 90°, če gre za magistralni vodovod za preskrbo vode. Razmik se meri med najbližjimi zunanjimi robovi inštalacij.

Na mestih križanja je kabel lahko položen nad vodovodom ali pod njim, odvisno od položaja cevi. Vertikalni svetli razmik med kablom in glavnim cevovodom mora biti najmanj 0,5 m ter pri križanju kabla in priključnega cevovoda je najmanjši svetli razmik med njima najmanj 0,3 m kot križanja pa od 30° do 90°(priloga A15 in A16).

Če je v obeh primerih križanj manjši razmik, je potrebno elektroenergetski kabel zaščititi pred mehansko poškodbo, s tem da se ga namesti v zaščitno cev tako, da je cev daljša za 1 m na vsaki strani križanja (priloga A15 in A16).

Minimalni vodoravni razmik pri paralelnem polaganju elektroenergetskega kabla je za manjše kanalizacijske cevi ali hišne priključke 0,5 m, za magistralne kanalizacijske cevovode enakega ali večjega profila od ∅ 0,6/0,9 m pa 1,5 m. Razmik se meri med najbližjimi zunanjimi robovi inštalacij (priloga A22).

Na mestih križanja se kabel lahko položi samo nad kanalizacijskim cevovodom, in to v zaščitnih ceveh, katerih dolžina je 2 m na vsako stran mesta križanja in oddaljenost od temena kanalizacijskega profila je minimalno 0,3 m (priloga A23).

V primeru, ko je teme kanalizacijskega profila v globini minimalno 0,8 m, se izvede mehanska zaščita kabla s postavitvijo TPE cevi ustreznega premera v plasti suhega betona.

Kadar je teme kanalizacijskega profila na globini manjši kot 0,8 m, se izvede dodatna mehanska zaščita kabla z jeklenimi cevmi ustreznega premera v plasti suhega betona (priloga A23).

V primeru nedoseganja minimalnih razmikov pri paralelnem polaganju kabla z vodovodom ali kanalizacijo, je potrebno pridobiti soglasje upravljalca posamezne infrastrukture (vodovoda in kanalizacije), kable pa zaščititi s polaganjem v kabelsko kanalizacijo. Tudi v tem primeru odmiki ne smejo biti manjši kot jih določa standard SIST EN 805.v točki 9.3.1 in sicer najmanj 0,4 m, v izjemnih primerih, ko je gostota podzemnih napeljav velika, pa najmanj 0,2 m.

Polaganje kablov ni dovoljeno skozi vodovodne komore, hidrante, kanalizacijska okna in skozi odtoke, kakor tudi nad njimi in poleg njih.

6.12.2 Plinovod

Pri križanjih in približevanjih kablovoda s plinovodom je potrebno upoštevati veljavne predpise, zahteve upravljavca plinovodnega omrežja ter zahteve upravljavca elektroenergetskega omrežja.

Pogoji križanj in približevanj plinovoda in kablovoda so določeni v pravilnik o tehničnih pogojih za graditev, obratovanje in vzdrževanje plinovodov z največjim delovnim tlakom do vključno 16 barov ter o pogojih za posege v območjih njihovih varovalnih pasov (Uradni list RS št. 12/2010, 45/2011 in 17/14 – EZ-1).

Pri križanjih in vzporednem vodenju elektroenergetskih kablovodov s plinovodi je treba upoštevati osnovne zahteve glede kota križanja in varnostnih odmikov za zagotovitev obratovalne varnosti.

Pri plinovodih z največjim delovnim tlakom do vključno 5 barov mora biti:

- kot križanja: od 30° do 90°
- višinski odmik pri križanju: najmanj 0,3 m
- vzdolžni odmik: najmanj 0,5 m
- zaščitna cev pri križanju: 1 m

Pri plinovodih z največjim delovnim tlakom nad 5 barov do vključno 16 barov mora biti:

- kot križanja: od 45° do 90°
- višinski odmik pri križanju: najmanj 0,3 m
- vzdolžni odmik: najmanj 0,5 m
- zaščitna cev pri križanju: 3 m

Pri križanjih se izvede mehanska zaščita kablovoda z polaganjem kabla v plastično zaščitno cev.

Izvedba križanj in približevanj je razvidna iz prilog A17, A18 in A19.

V izjemnih primerih se s posebnimi varnostnimi ukrepi varnostni odmiki lahko tudi zmanjšajo.

Pri križanju in vzporednem polaganju jeklenih plinovodov z visoko in nizkonapetostnimi vodniki je za preprečitev medsebojnega vpliva in dodatno zaščito treba upoštevati slovenske standarde in pravilnike.

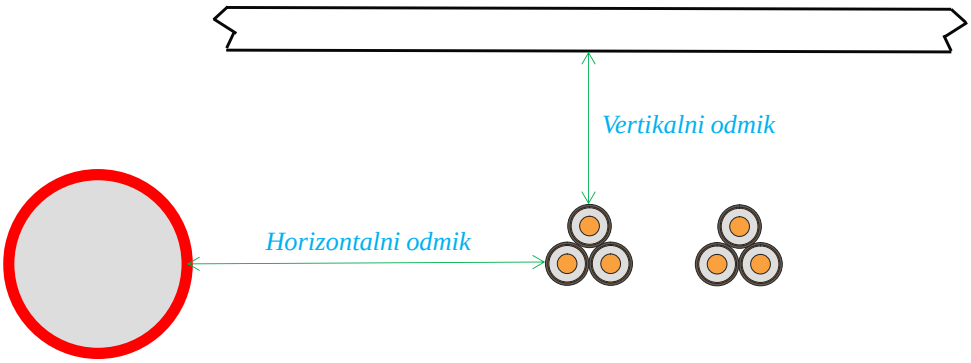
Vzdolžni odmik drugih infrastrukturnih vodov od plinovoda mora ustrezati varovalnemu pasu prenosnega sistema zemeljskega plina, ki znaša:

- za prenosni sistem zemeljskega plina na vsaki strani plinovoda prenosnega sistema merjeno od njegove osi velja zemljiški pas v širini 5 m na vsaki strani plinovoda prenosnega sistema, merjeno od njegove osi (469 člen EZ-1 NPB1).

V skladu z zahtevami pravilnika o tehničnih pogojih za graditev, obratovanje in vzdrževanje plinovodov z delovnim tlakom nad 16 barov ter o pogojih za posege v območjih njihovih varovalnih pasov (Uradni list RS, št. 12/10, 45/11 in 17/14 – EZ-1) se mora v primeru poteka plinovoda blizu elektroenergetskih postrojenj in vodov, razdalja določiti v skladu z merili, navedenimi v ustreznih normativih in standardih (SIST EN 50443:2012). Upoštevati je treba medsebojni vpliv kablovoda na plinovod ter izvesti ustrezne ukrepe za zaščito vseh delov plinovodnega omrežja in zaščito osebja. Če so podzemni EE objekti od plinovodne infrastrukture oddaljeni manj kot 50 m, je treba obvezno izvesti podrobne izračune medsebojnega motenja (induktivno in konduktivno). V nobenem primeru pa razdalja med ozemljitvenim sistemom EE objekta in deli plinovodne infrastrukture ne sme biti manjša od 2 m.

Pri približevanju ali vzporednemu poteku plinovoda z največjim delovnim tlakom nad 16 barov in elektroenergetskega kablovoda, lahko znaša razdalja od zunanjega roba plinovoda do zunanjega roba kablovoda najmanj 0,5 m.

Zgoraj navedeno velja za približevanje kablov plinovodom vendar ne obratno. Ne glede na zgoraj napisano pa je potrebno izdelati izračune in preveriti vpliv ozemljevanja na sistem in meritve opraviti po izvedeni umestitvi v prostor. Slika 26 prikazuje vertikalni in horizontalni potek komunalnega voda.



Slika 26: Prikaz vertikalnega in horizontalnega poteka komunalnega voda

Za križanja plinovoda nad 16 barov in elektroenergetskega voda velja med drugim tudi:

- križanja morajo biti omejena na najnujnejši obseg,
- načini in metode izvedbe križanj ter zaščitnih cevi plinovoda morajo ustrezati standardu SIST EN 1594:2013,
- pri izvedbi križanja je treba zagotoviti vse potrebne ukrepe, da se preprečijo dodatne obremenitve na plinovodno cev;
- zaščitne cevi plinovoda se za izvedbo križanj uporabljajo le izjemoma,
- zaščitne cevi plinovoda so lahko jeklene, betonske ali iz drugega primernega materiala, njihov izbor mora biti usklajen s sistemom katodne zaščite,
- skladno s standardom SIST EN ISO 18086:2017 je treba ugotoviti verjetnost nastanka izmenične korozije in izvesti ustrezne ukrepe.

6.12.3 Toplovod

Pri križanjih in približevanjih kablovoda s toplovodom je potrebno upoštevati veljavne predpise, zahteve upravljavca toplovodnega omrežja ter zahteve upravljavca elektroenergetskega omrežja.

Pri paralelnem polaganju kablov in toplovoda moramo doseči minimalni svetli razmik 2 m. Če tega razmika ni mogoče doseči na celotni dolžini poteka, so na relacijah, ki so krajše od 5 m, dopustni naslednji razmiki:

- za kable do 1 kV in TK kable 0,5 m
- za 10 kV kable 0,7 m
- za 20 kV kable 1,1 m
- za 35 kV kable 1,5 m

Razmik se meri od zunanjega roba toplovoda.

Prepovedano je polaganje kabla v isti kanal s toplovodom.

Polaganje elektroenergetskih kablov nad toplovodom ali pod njim ni dovoljeno, razen na mestih križanja.

Pri križanju se kabel praviloma namešča pod toplovodom. Če je obstoječi toplovod položen tako globoko, da bi globina polaganja kabla presegala 2,5 m, je potrebno kabel položiti nad toplovodom s primerno dodatno toplotno zaščito.

Deli postroja toplovoda in kablovoda (jaški toplovoda in kablovoda), ki jih je potrebno vzdrževati, morajo biti oddaljeni od mesta križanja najmanj 2 m.

Deli postroja toplovoda in kabla, ki jih je potrebno vzdrževati, morajo biti oddaljeni od mesta križanja najmanj 2 m.

Križanje toplovoda in kabla se izvaja z minimalnim svetlim razmikom:

- za kable do 1 kV in TK kable 0,5 m
- za 10 kV kable 0,6 m
- za 20 kV kable 0,6 m
- za kable nad 45 kV 1,0 m

Če toplovod v neposredni okolici povzroča povišanje temperature okoliške zemlje za več kot 10°C, oziroma če na vseh ali večjih razmikih obstoja dodatno segrevanje kabla, je potrebno povečati medsebojni razmik ali postaviti vmes toplotno izolacijo. Lahko se uporabi tudi ustrezni tip in presek kabla.

Če teh razdalj ne moremo doseči, je potrebna dodatna termična zaščita npr. siporex debeline 20 cm do razdalje 50 cm od voda toplovoda ali položiti kabel v cevi iz umetnih materialov, ki segajo na vsako stran 1,5 m čez zunanji rob toplovoda.

Toplotna izolacija pokriva toplovod 2 m na vsaki strani zaščitne cevi kabla. Kabel se polaga na takem mestu križanja v cev ustreznega premera, ki je za 1,5 m daljša od zunanjega roba toplovoda. Mesto križanja kabla s toplovodnim kanalom je prikazano v prilogi A21.

6.12.4 Ostali cevovodi in objekti

Najmanjša dopustna oddaljenost med elektroenergetskim kablom nazivne napetosti do 45 kV in kovinskega cevovoda pri križanju ali paralelnem poteku znaša 0,5 m.

Oddaljenost, ki je manjša od 0,5 m, je dopustna samo tedaj, če je onemogočen prenos obloka s kabla na cevovod.

6.12.5 Križanje oz. približevanje strelovodnemu ozemljilu

Križanje je potrebno izvesti pod pravim kotom. Oddaljenost pri približevanju med ozemljilom in kablom mora biti vsaj 3 m. Ker pri križanju tega pogoja ni mogoče izpolniti, je potrebno strelovodno ozemljilo namestiti v zaščitno cev iz neprevodnega in nehigroskopičnega materiala ali cevi iz umetnih materialov dolžine 6 m (3 m na vsako stran kabla).

6.12.6 TK vodi

Pri paralelnem poteku elektroenergetskega VN kablovoda in telekomunikacijskih vodov je potrebno izvesti vse potrebne ukrepe za zaslanjanje magnetnega polja, ki bi povzročilo nastanek potencialnih razlik med prevodnimi nepovezanimi deli oziroma nastanek induciranih tokov v bližnjih povezanih prevodnih delih (tokokrogih) v okolici kabla. Imenovane težave so posebno izrazite v primeru okvar.

Pri križanjih in približevanjih kablovoda s TK vodom je potrebno upoštevati veljavne predpise, zahteve upravljavca TK omrežja ter zahteve upravljavca elektroenergetskega omrežja.

Pri določanju vplivov elektroenergetskih kablov nad 1 kV na TK vode se upošteva predpise in standard SIST EN 62949:2017 - Posebne varnostne zahteve za opremo za priključitev na informacijska in komunikacijska omrežja (IEC 62949:2017).

Medsebojno induktivno in/ali konduktivno motenje, ki lahko nastane med VN kablovodi in TK vodi, se računa na razdaljah, ki jih predpisuje priporočilo [58] ITU-T K.68 (04/2008) Operator responsibilities in the management of electromagnetic interference by power systems on telecommunication systems.

Križanje elektroenergetskih kablov s podzemnimi TK kabli se izvede pod kotom°90°, nikakor pa ne manjšim od 30° z navpičnim razmikom 30 cm za elektroenergetske kable 1 kV in 50 cm za elektroenergetske kable med 1 kV in 35 kV (priloga A25.a).

Če navpičnega razmika (50 cm) ne moremo doseči, se kabli na mestu križanja ločijo z materiali, odpornimi na termične vplive in z uvlekom v zaščitne cevi pod pogojem, da čisti razmik ni manjši od 30 cm. Dolžina zaščitnih cevi, polcevi ali ščitnikov ne sme biti krajša od 1 m z obeh

strani mesta križanja. Zaščitne cevi za elektroenergetske kable morajo biti iz dobro prevodnega materiala (jeklene) in za TK kable iz neprevodnega materiala (betonske ali plastične) (priloga A25.b).

Ni dovoljen prehod elektroenergetskih kablov skozi jaške TK°kabelske kanalizacije kakor tudi ne prehod pod jaškom oziroma nad njim.

Oddaljenost najbližjega elektroenergetskega kabla napetosti do 20 kV do najbližjega TK kabla pri paralelnem poteku je najmanj 50 cm oziroma 1 m za elektroenergetske kable nad 20 kV.

V primeru, da ni mogoče doseči omenjenih oddaljenosti, se na teh mestih med elektroenergetskimi kabli in TK kabli namesti pregrada iz termično odpornega materiala.

Če elektroenergetski in TK kabli potekajo v skupnem kolektorju, se praviloma nameščajo na nasprotne strani kolektorja z upoštevanjem omenjenih oddaljenosti približevanja. Če se morajo izjemoma elektroenergetski in TK°kabli namestiti na isti strani tunela, je navpični razmik med najbližjim elektroenergetskim in TK°kablom najmanj 50 cm. TK°kabli morajo biti nameščeni pod elektroenergetskimi.

Če izračun vpliva elektromagnetnih polj na TK vode pokaže, da nevarna napetost ali napetost pri motnji preseže dopustne vrednosti, moramo na TK vodih uporabiti ustrezne zaščitne ukrepe.

Polaganje elektroenergetskega kabla v bližini droga TK°voda ali podpore se dovoljuje, če je razmik najmanj 0,5 m, s tem da je potrebno elektroenergetski kabel zaščititi pred mehanskimi poškodbami, oziroma položiti kabel na oddaljenosti najmanj 1 m.

TK kable elektrogospodarstva, ki se ne priključujejo na TK omrežje, je dopustno polagati nad elektroenergetskimi kabli na manjši oddaljenosti kot 30 cm z uporabo pregrad iz termično odpornega materiala.

V primeru, da je potrebno elektroenergetski kabel dodatno zaščititi, se priporoča vgradnja polcevi in njihovo medsebojno mehansko povezovanje (priloga A26).

Najučinkovitejše zaslanjanje se doseže z izvedba kablovoda, ki ima obojestransko ozemljene zaslone, v primeru enostranske ozemljitve zaslonov pa z namestitvijo dodatnega ozemljitvenega vodnika vzdolž kablovoda (kompenzacijski vodnik).

Pri optičnih TK kablih je pri vzporednem polaganju potrebno zagotoviti oddaljenost min 7 cm.

6.12.7 Paralelni potek in križanje kablovodov z drugimi električni kabli

Upoštevati je treba električne in termične vplive na druge električne kable, ki se nahajajo v vplivnem območju elektroenergetskega kablovoda. Pri paralelnem poteku in križanjih elektroenergetskega kablovoda z drugimi električnimi kabli in drugimi infrastrukturnimi vodi ter objekti, je potrebno predvideti močnejše povečanje toplotne upornosti, pri elektroenergetskih kablovodih pa tudi električne vplive zlasti ob defektih. Povečanje toplotne upornosti se pojavi zaradi različnih načinov izvedbe križanj, kjer se uporabijo PE cevi ali zaradi večjih globin polaganja in vpliva drugih instalacij, ki križajo kabelsko traso. Zaradi segrevanja

okoliške zemljine se zmanjša obremenljivost električnih povezav v vplivnem območju elektroenergetskega kablovoda, zato je priporočljivo izdelati podrobnejše analize v zvezi z vplivi nanje.

6.12.8 Približevanja ter križanja optičnih vodov v lasti EDP z ostalimi podzemnimi komunalnimi vodi

Pri približevanju in križanju optičnih vodov v lasti EDP z ostalimi podzemnimi komunalnimi vodi je potrebno upoštevati odmike, ki jih podajata Tabela 45 in priloga A11.

6.12.9 Križanje in približevanje SN kablovodov z železniško oziroma tramvajsko progo

Pri križanjih in približevanjih elektroenergetskih kablovodov z železniško progo je potrebno upoštevati veljavne predpise, zahteve upravljavca železniškega omrežja ter zahteve upravljavca elektroenergetskega omrežja.

V bližini železniške proge, še posebno blizu elektro napajalnih postaj (ENP), je potrebno posebno pozornost usmeriti na prisotnost blodečih tokov, ki lahko povzročijo korozijo kovinskega zaslona zaradi tokov, ki iz kovinskega zaslona tečejo preko galvansko povezanih ozemljil do enosmernega vira. Pri tem je pomembno, da zunanji plašč ni poškodovan. Možni ukrepi so sistematično galvansko ločevanje kovinskih zaslonov-ekranov od predmetnega ozemljitvenega sistema in/ali vgradnja DC razklopnih naprav. Učinkovita je tudi katodna zaščita, s katero se zagotovi, da je potencial kovinskega zaslona bolj negativen od okoliške zemljine in tako tok ne more teči v zemljo.

Pogoji križanj in približevanj železniške proge in kablovoda so določeni v Zakonu o varnosti v železniškem prometu (Uradni list RS, št. 85/2000).

Križanje kablovoda z železniško progo se lahko izvede s prevrtanjem na globini minimalno 1,5 m pod gornjim robom praga. Pri tem se vstavijo ustrezne plastične cevi, ki se po potrebi obdajo s plastjo bentonite mase.

Križanje elektroenergetskega kabla z železniško oziroma tramvajsko progo je potrebno praviloma izvesti pod kotom 90°.

Zaščitna cev kablovoda mora segati najmanj 5 m na vsako stran od osi skrajnih tirov oz. izven odvodnih jarkov ob tirih.

Vsi konci cevi s položenimi kabli, kakor tudi rezervne cevi se morajo zaščititi pred vdorom zemlje in blata z ustreznimi pokrovi.

Pri križanju kablovodov z elektrificirano železniško progo je potrebno kable polagati samo v cevi ali kanale iz električno neprevodnega materiala in sicer v termoplastičnih ceveh.

Po potrebi je potrebno izvesti ustrezno katodno zaščito kovinskih naprav pred uhajajočimi enosmernimi električnimi tokovi, pri čemer je potrebno upoštevati »Pravilnik o projektiranju,

gradnji in vzdrževanju stabilnih naprav električne vleke enosmernega sistema 3 kV (Uradni list RS, št. 56/2003)«.

S posegi se ne sme ogrožati ali poslabšati stabilnosti zemeljskega trupa železniške proge.

Če obstajajo železniški elektroenergetski ali signalni kabli, ki so paralelno položeni z železniško progo, je potrebno pri križanju med kabli zagotoviti takšne najmanjše razmike, kot veljajo za TK kable.

Pri križanju z železniško progo je potrebno položaj kablovoda vidno označiti z betonskimi, kamnitimi ali drugimi obstojnimi oznakami.

6.13 MONTAŽA, SPAJANJE IN ZAKLJUČEVANJE SN KABLOV

6.13.1 Splošna določila

Kabelski pribor za spajanje in zaključevanje kablov vsebuje:

- pribor za spajanje vodnikov kot so čevlji, tulci, razne sponke,
- kabelske končnike za notranjo montažo, zunanjo montažo, vtični pribor.

Kabelski pribor mora biti obratovalno zanesljiv tako kot sam kabel. Dimenzioniran mora biti ne samo na električne in mehanske obremenitve, ampak tudi na pričakovane vplive okolice, kot so vlaga, korozija, ozon, ultravijolično sevanje, razne nečistoče.

Vsak kabelski pribor mora imeti ustrezni certifikat o tipskih preskusih.

Montažna dela pri vgradnji kabelskega pribora lahko izvajajo samo kvalificirane osebe, ki poznajo posamezne funkcije elementov kabla in kabelskega pribora.

Enožilnih kablov z jekleno armaturo ne smemo uporabljati pri izmeničnem toku.

Za pritrditev enožilnih kablov na izmenični tok ne smemo uporabljati objemk iz magnetnega materiala. Te se lahko uporablja, če so kabli pritrjeni na izolacijsko podlago tako, da z njo ne tvorijo zaprtega galvanskega kroga.

Pri spajanju in zaključevanju kablov se moramo izogniti večkratnemu krivljenju in ravnanju kabla ter toplotnemu pregrevanju kabla.

Spajanje in zaključevanje vodnikov kabla se izvaja po eni od naslednjih metod:

- s stiskanjem (šestkotno stiskanje),
- z vijačenjem.

Pribor za spajanje vodnikov s stiskanjem kakor tudi pribor za izdelavo vijačnih spojev mora imeti tipski atest.

Kabelski čevlji morajo biti izdelani tako, da skupaj s kabelskimi končniki tvorijo vzdolžno neprepustnost kabla za vodo. Za zaključevanje kablov za notranjo montažo se lahko uporabljajo tudi cevni čevlji v izvedbi vzdolžne neprepustnosti za vodo. Čevlji in tulci za spajanje vodnika morajo biti izdelani v tehniki stiskanja ali vijačenja.

Spojni tulci, čevlji in sponke oziroma celotni kabelski pribor za spajanje vodnikov mora vsebovati naslednje oznake:

- ime proizvajalca,
- kataloško številko.

Oznake morajo biti nanešene trajno, brez možnosti brisanja ali odstranjevanja.

Za spojne tulce in čevlje, ki so predvideni za vgradnjo s stiskanjem, mora biti določeno številka orodja za stiskanje, oznaka mesta stiskanja in število stiskanj.

Pri izdelavi prehodnih spojev med kablom z izolacijo iz umetnih mas in kablom z izolacijo iz impregniranega papirja je potrebno obvezno uporabiti spojne tulce s pregradno steno.

Vsi prehodi aluminijevih vodnikov na bakrene kakor tudi priključevanje aluminijevih vodnikov na električne postroje ali aparate morajo biti izvedeni z ustreznimi Al-Cu veznimi tulci in čevlji ali bi pokositreni.

Za priključitev kabelskih vodnikov na vodnike nadzemnega omrežja se uporabljajo sponke, ki zagotavljajo kvalitetne spoje in nepropustnost kabla za vodo (ali vodonepropustnost). Vsi takšni spoji morajo biti razstavljivi zaradi kasnejših intervencij v omrežju.

Spajanje in zaključevanje vodnikov s postopkom vijačenja se izvaja z vijaki z momentno glavo, s postopkom stiskanja pa se izvaja s specialnimi hidravličnimi stiskalnicami z uporabo ustreznega orodja, ki ga je predpisal proizvajalec kabelskega pribora za spajanje vodnikov. Prikaz izvedbe kabelskih čevljev in tulcev je podan v prilogi.

Prostor za kabelske spojke

Na mestih, kjer se predvidevajo kabelske spojke, se pusti kabel daljši za cca. 1 m (naddolžina) s čemer se dobi rezerva v obliki kabelske pentlje za slučaj preboja spojke. Na mestu kjer bo spojka je treba razkriti kabel in sicer za kable do 10 kV na širino 1,2 m in dolžino cca 2 m, za kable napetosti od 10 do 35 kV pa na širino 2 m in dolžino cca. 3,5 m (Elektro-montažni priročnik). Paralelno polaganje kabelskih spojk ni dovoljeno. Oddaljenost med njimi naj bo vsaj 2 m.

Tehnologija izdelave opreme za spajanja in zaključevanja

Pribor za SN kable je v toplokrčni tehniki iz polyolefina (polimer etilena, propilena copolimerov itd), v hladnokrčni tehnologiji (angl. Cold shrink technology) in natični izvedbi (angl. Slip-on technology) in sicer z materiali iz silikona ali EPDM gume (angl. Ethylene-Propylene Diene Monomer).

Glavna izolacija se pretežno izdeluje iz omreženega polietilena (XLPE) in v nekoliko manjšem obsegu iz EPR (angl. Ethylene Propylene Rubber).

Zunanji polprevodni sloj je lahko v izvedbi čvrstega spoja izdelana s postopkom trojne extrudacije (angl. Fully bonded), ki se lahko odstrani samo s posebnimi orodjem (šilčkom) ali pa v izvedbi nanosa, ki omogoča poenostavljeno odstranjevanje zunanjega polprevodnega sloja

v obliki trakov (angl. strippable). Zadnja izvedba prevladuje pri kablih s sektorskimi vodniki in pri kablih z EPR izolacijo.

Zunanji plašč je lahko izdelan iz PE ali PVC v različnih barvah.

6.13.2 Zaključevanje SN kablov

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 omogočati montažo pri temperaturi najmanj°+5°C. V primeru nižjih temperatur je potrebno upoštevati posebna navodila proizvajalca.

Kovinski zaslon kabla kakor tudi vse kovinske dele kabelskega končnika, ki v normalnem obratovanju niso pod napetostjo, je potrebno ozemljiti.

Pri izdelavi kabelskega končnika je potrebno kovinski zaslon kabla povezati z ozemljitvijo brez prekinitve z ustreznim kabelskim čevljem. Spojno mesto mora biti razstavljivo in dostopno za

napetostne preskuse kabelskega plašča. Posebno pozornost je potrebno posvetiti induciranim tokovom v kovinskih zaslonih.

Za zaključevanje SN kablov s XLPE izolacijo se uporabljajo naslednji kabelski končniki za notranjo in zunanjo uporabo (montažo):

- toploskrčni kabelski končniki,
- hladnoskrčni kabelski končniki,
- končniki v tehniki natikanja.

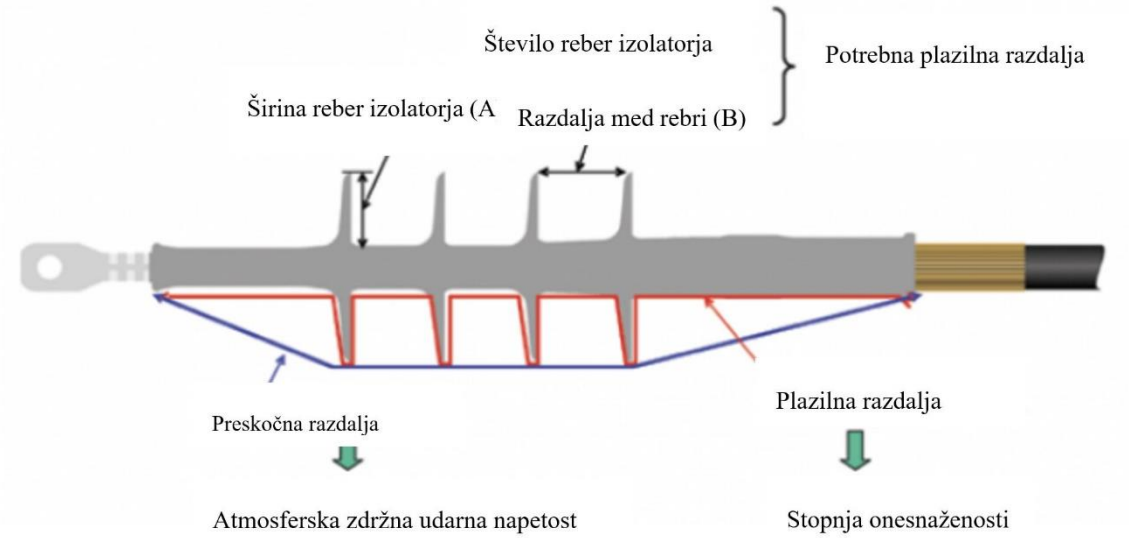
Izolacijski elementi so lahko izdelani iz silikona ali EPDM gume. Za zmanjšanje polja na robu (koncu) zunanjega polprevodnega sloja kabla se lahko uporabi izolacijski tulec (angl. Refractive field control), ki se namesti med zunanji polprevodni sloj kabla in notranji polprevodni sloj kabelskega zaključka ali pa konus za oblikovanje polja (angl. Stress-cone). Slednji je primernejši za kable z višjimi napetostmi.

Kabelski zaključki za zunanjo montažo morajo poleg dobrih električnih in izolacijskih lastnosti izpolniti še naslednje zahteve:

- prilagojenost večjemu številu presekov,
- visoka preskočna napetost,
- dolga plazilna razdalja,
- odpornost proti pokanju in UV sevanju,
- odpornost proti onesnaženju, dežju in megli,
- enostavnost montaže.

Za izpolnitev zgornjih zahtev so bistvene naslednje lastnosti:

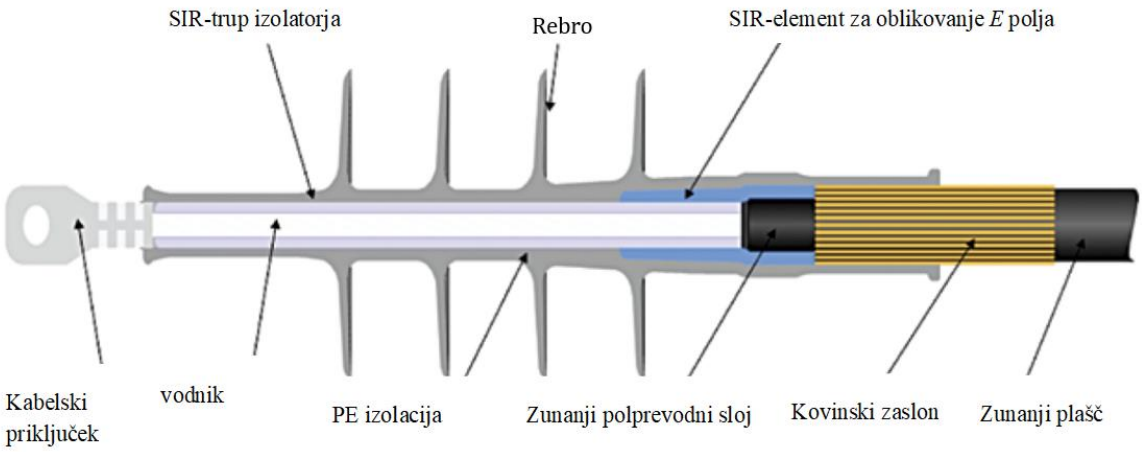
- dimenzija jedra,
- število in geometrija krožnikov,
- razdalja med krožniki.



Slika 27: Parametri za oblikovanje zunanjega SN kabelskega zaključka

Prerez SN kabelskega končnika za zunanjo montažo z izolacijskim tulcem za oblikovanje električnega polja prikazuje

Slika 28.



Slika 28: Prerez izdelanega končnika za zunanjo montažo z nameščenim izolacijskim tulcem

Zaradi zunanjih vplivov okolja kot npr. onesnaževanje ali dolgotrajno sončno obsevanje morajo biti kabelski zaključki za zunanjo montažo odporni tudi proti pokanju in UV sevanju. Veliko težavo predstavlja nastanek prevodnih poti iz ogljika, ki nastane zaradi delnih razelektritev na površini. Če je površina kabelskega zaključka izdelana iz silikonske gume do formiranja prostega ogljika ne prihaja, pač pa se ta v plinastem stanju izloči. Pri uporabi EPDM pa se lahko tvori prosti ogljik, zaradi česar je potrebna veliko daljša plazila pot in dobre hidrofobične lastnosti materiala.

Montaža kabelskega končnika

Kabelski končnik SN kabla se montira tako, da je pod končnikom zagotovljena mehanska pritrditev kabla s plastičnimi ali nemagnetnimi objemkami najmanj na dveh mestih. V primeru uporabe ene same objemke, mora njena dolžina znašati najmanj trikrat toliko kot je premer kabla. Vtični pribor mora ustrezati določbam SIST EN 50181:2010 za konusne skoznike tipa A (250 A) in C (630 A).

Navodila za izvedbo spoja

- Kontaktne površine morajo biti ravne in kovinsko čiste, da je zagotovljen prehod toka z najmanjšim uporom, padcem napetosti ter segrevanjem.
- Za obdelavo bakra in aluminija je potrebno uporabljati različna orodja.
- Kontaktne površine se očistijo z jekleno ščetko. Smirkov papir je prepovedan.
- Očiščene površine morajo biti večje od površine spoja. Po čiščenju se površine ne smejo prijemati z rokami.
- Kontaktne površine na aluminijskih vodnikih se močno očistijo z jekleno ščetko, vzdolžno in prečno, dokler ne postanejo hrapave. Čisti se lahko tudi s pilo za aluminij.

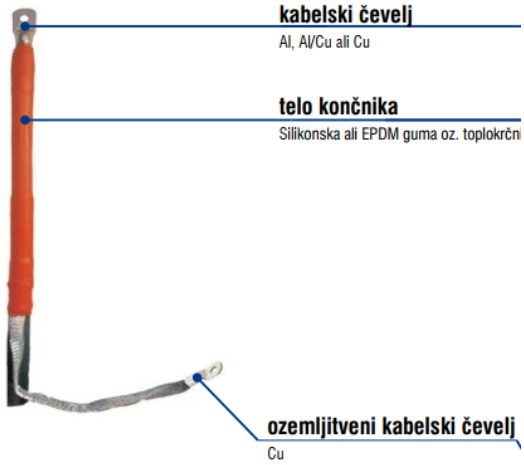
Očiščene površine se premažejo z brez kislinsko nevtralno kontaktno mastjo.

- Kontaktne površine na bakrenih vodnikih brez kovinske prevleke je potrebno ščetkati s kovinsko ščetko do kovinskega sijaja ter jo takoj premazati z brezkislinsko nevtralno mastjo. Na površinah spojev bakrenih vodnikov, ki so prevlečeni s srebrom, kositrom ali nikljem je potrebno odstraniti samo umazanijo.
- Vijaki, matice in podložke morajo biti pokositreni.
- Elastično podložko je potrebno namestiti pod glavo vijaka oziroma pod matico, pod njima pa običajno podložko.
- Vijake je potrebno zategniti, tako da bo kontaktni pritisk večji od 50 N/cm^2. Obvezno uporabiti momentni ključ in moment, ki je določen od proizvajalca, oziroma v tabeli. Pri spoju Al zbiralnic je potrebno vijak večkrat zategniti.

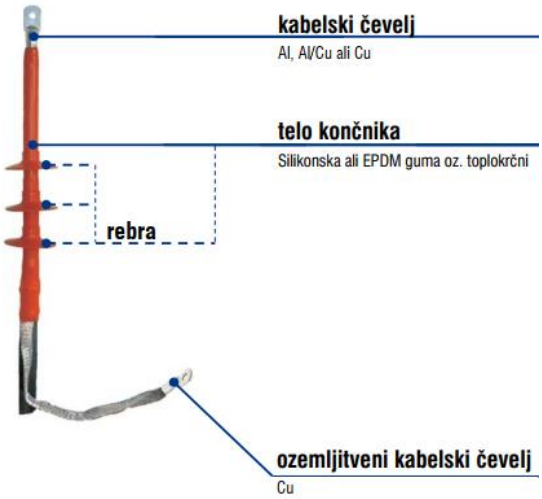
Tehnologija izdelave SN kabelskega pribora

Kabelski pribor se izdeluje za veliko različnih tipov in konstrukcij kablov. Kabelski pribor se uporablja za naslednje namene:

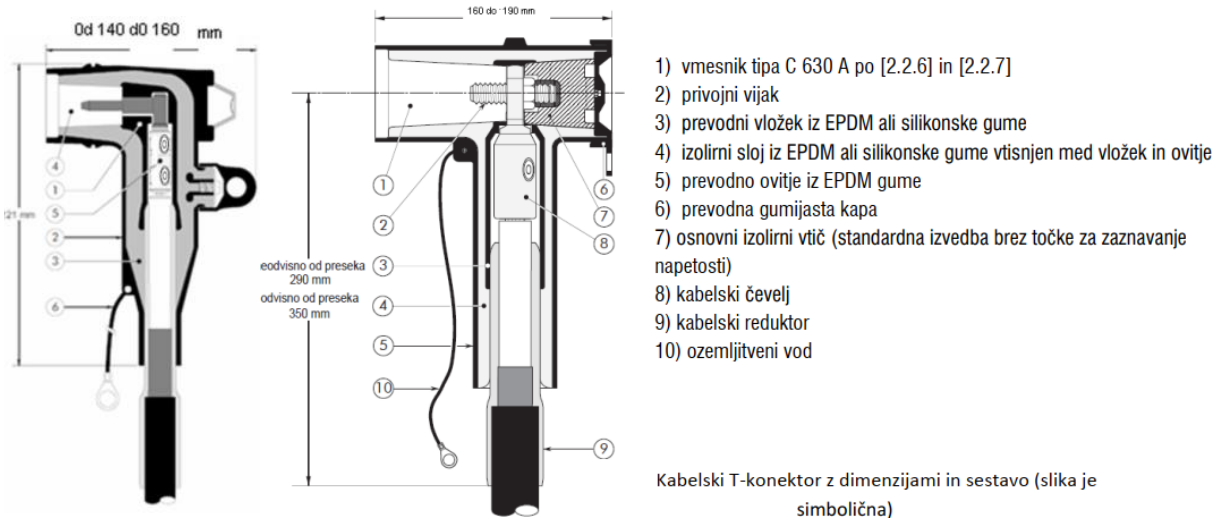
- končniki za notranjo montažo za povezavo kabla z zračno izoliranim stikalom,
- končniki za zunanjo montažo za povezavo kabla z DV,
- spojke za povezavo dveh enakih tipov kablov,
- prehodne spojke za povezavo dveh različnih tipov kablov,
- konektorji za povezavo kabla z GIS postrojem.



Slika 29: Prikaz izdelanega kabelskega SN končnika za notranjo montažo



Slika 30: Prikaz izdelanega kabelskega SN končnika za zunanjo montažo



Slika 31: Prikaz izdelanega kabelskega T konektorja

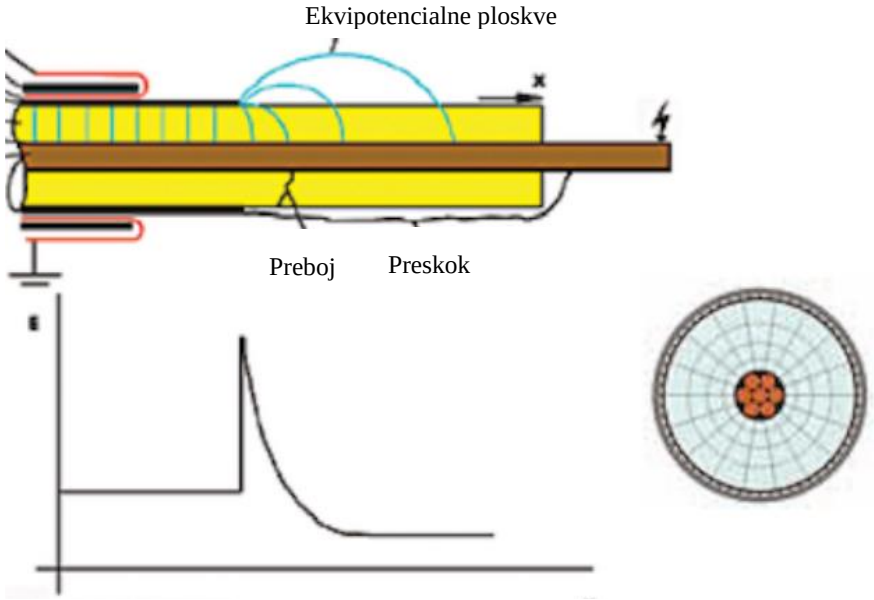
Posebnosti pri izdelavi končnikov in spojk

Pri odstranjevanju posameznih plasti kabla se je potrebno obvezno ravnati po navodilih proizvajalcev kablov, kabelskega pribora in pri tem uporabljati ustrezno orodje.

Konus za oblikovanje polja

Pri nazivnih napetostih večjih od 10 kV se električna poljska jakost na mestu, kjer se zaključi zunanja polprevodna plast kabla, močno poveča, zato je za izdelava pribora za kable višjih napetosti potrebna bolj izpopolnjena izvedba oblikovanja električnega polja na tem mestu.

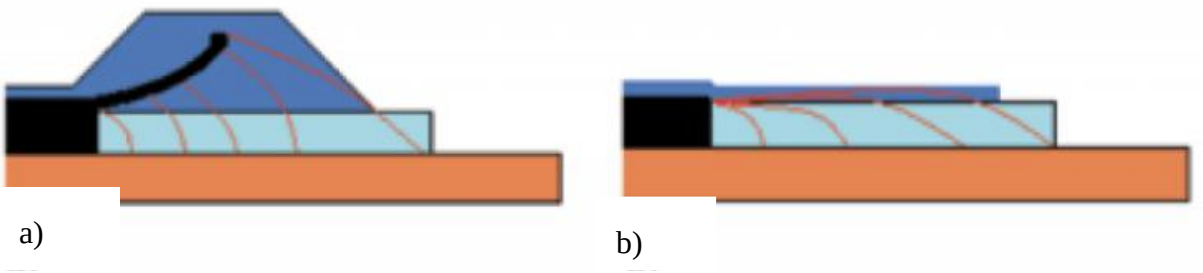
Silnice električnega polja na mestu zaključka zunanje polprevodne plasti prikazuje Slika 32.



Slika 32: Povečanje električne poljske jakosti (E) na mestu zaključka zunanje polprevodne plasti kabla

Odstranjevanje zunanjega polprevodni sloja

Pri namestitvi končnika ali spojke je potrebno v določeni razdalji od konca kabla odstraniti zunanji polprevodni sloj. Na njegovem koncu se pojavi močno povečanje električne poljske jakosti, zato je potrebno spremeniti geometrijo na prehodu med zunanjim polprevodnim slojem in izolacijo. To se izvede bodisi z namestitvijo konusa za oblikovanje polja (angl. Stress-Cone), ki jo prikazuje Slika 33 a, bodisi z namestitvijo izolacijskega tulca z relativno dielektrično konstanto, ki je med vrednostima 10 in 20. (angl. Refractive field control), ki jo prikazuje Slika 33.



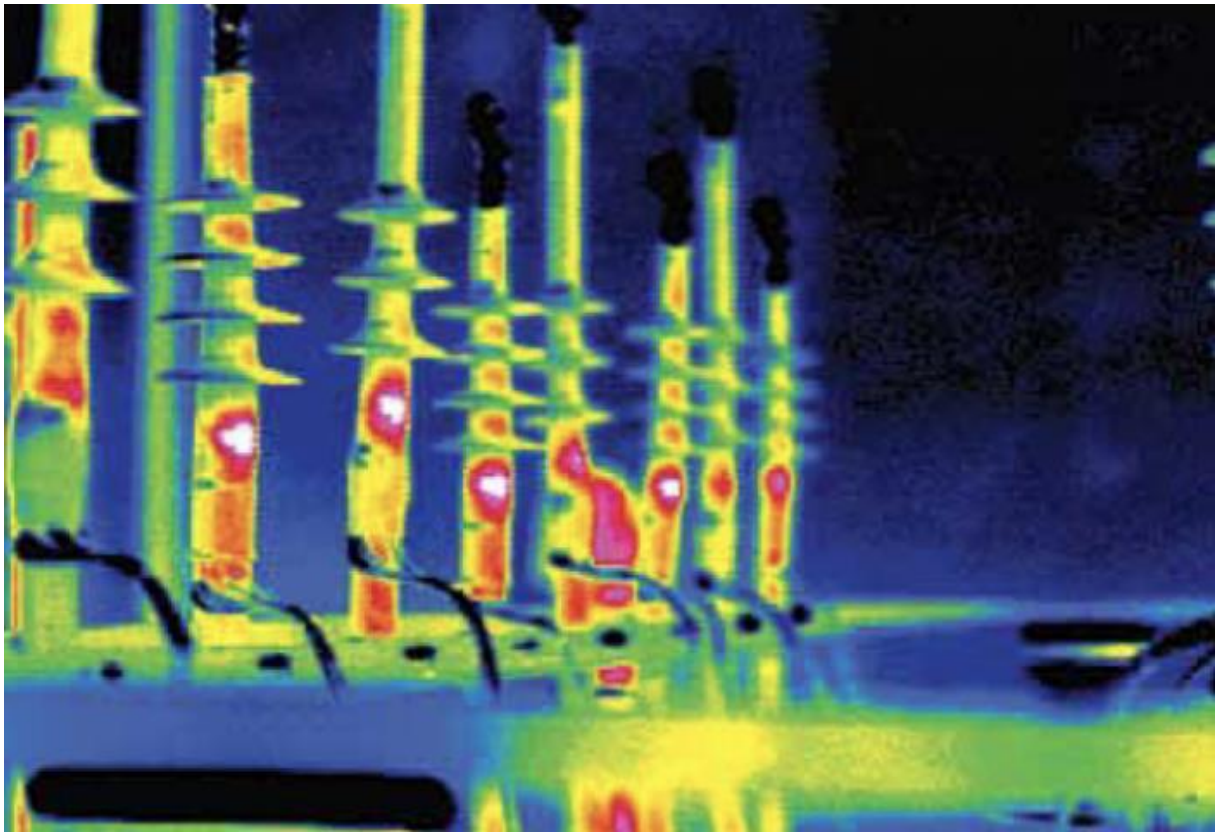
Slika 33: Način zmanjšanja električnega polja na zaključku zunanjega polprevodnega sloja v kabelskem končniku a) s spremembo geometrije v obliki konusa za oblikovanje polja in b) z namestitvijo izolacijskega tulca (angl. Refractive field fontrol).

Prednost uporabe konusa za oblikovanje polja je, da ne povzroča dodatnih izgub, zato je primeren tudi za uporabo pri VN kablih, pomanjkljivost pa je, da je za vsak tip in presek kabelskega pribora potrebna drugačna različica.

Na drugi strani je prednost izolacijskega tulca v tem, da je mogoče uporabiti enako različico za kable različnih premerov. Hkrati tudi odpravi pomanjkljivosti pri napakah zaradi nenatančne odstranitve zunanjega polprevodnega sloja kot prikazuje Slika 34.

Slika 34: Pri površno odstranjenem polprevodnem sloju se pri namestitvi izolacijskega tulca napaka kompenzira

Pomanjkljivost izolacijskega tulca se kaže v povečanih izgubah na mestu zaključka zunanjega polprevodnega sloja. Slika 35 prikazuje termične izgube na koncu zunanjega polprevodnega sloja v primeru oblikovanja polja z izolacijskim tulcem, posnete s IR kamero. Dvig temperature na mestu prehoda se pri napetosti 1.5 U_0 giblje med 1°K in 2°K, kar pri večini SN°kablov ne predstavlja težave, medtem ko se z naraščajočo napetostjo temperatura močno poveča, zato izvedba ni primerna za kable višjih napetostnih nivojev.



Slika 35: Dvig temperature na koncu zunanjega polprevodnega sloja v primeru oblikovanja polja z izolacijskim tulcem

Pri kabelskih končnikih zlasti za zunanjo montažo v natični in hladno-krčni tehniki prevladuje uporaba materialov iz silikona. Pri SN kabelskih spojkah je razmerje med uporabo silikona in EPDM približno 1:1 tako v natični kot tudi v hladno-krčni tehniki. Karakteristike obeh materialov nimajo odločilne vloge na izbiro, tako da je odločujoči faktor cena. Seveda pa to ne velja za spojke VN kablov, kjer se silikon izkaže kot boljša izbira.

Pri razstavljivih konektorjih (angl. separable connectors) je situacija drugačna. Za zunanji tulec (angl. Outer cone) je na razpolago le malo izvedb iz silikona in sicer večinoma v kombinaciji s kovinskim zunanjim ohišjem, medtem ko prevladujejo izvedbe iz EPDM predvsem zaradi zahteve po popolni oklopljenosti (angl. Fully screened and touchable), saj ne smejo predstavljati nevarnosti v primeru dotika. To je najučinkoviteje mogoče zagotoviti z uporabo zunanjega polprevodnega nanosa iz EPDM, katerega izvedba je enostavnejša in izkazuje višjo stopnjo zanesljivosti pa tudi cenovno je ugodnejši v primerjavi s silikonom.

6.13.3 Spajanje SN kablov

Spajanje kablov se izvaja z ustreznimi kabelskimi spojkami odvisno od konstrukcije in izolacije kablov.

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 dobavljajo spojke, 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, kateri tvorijo en komplet.

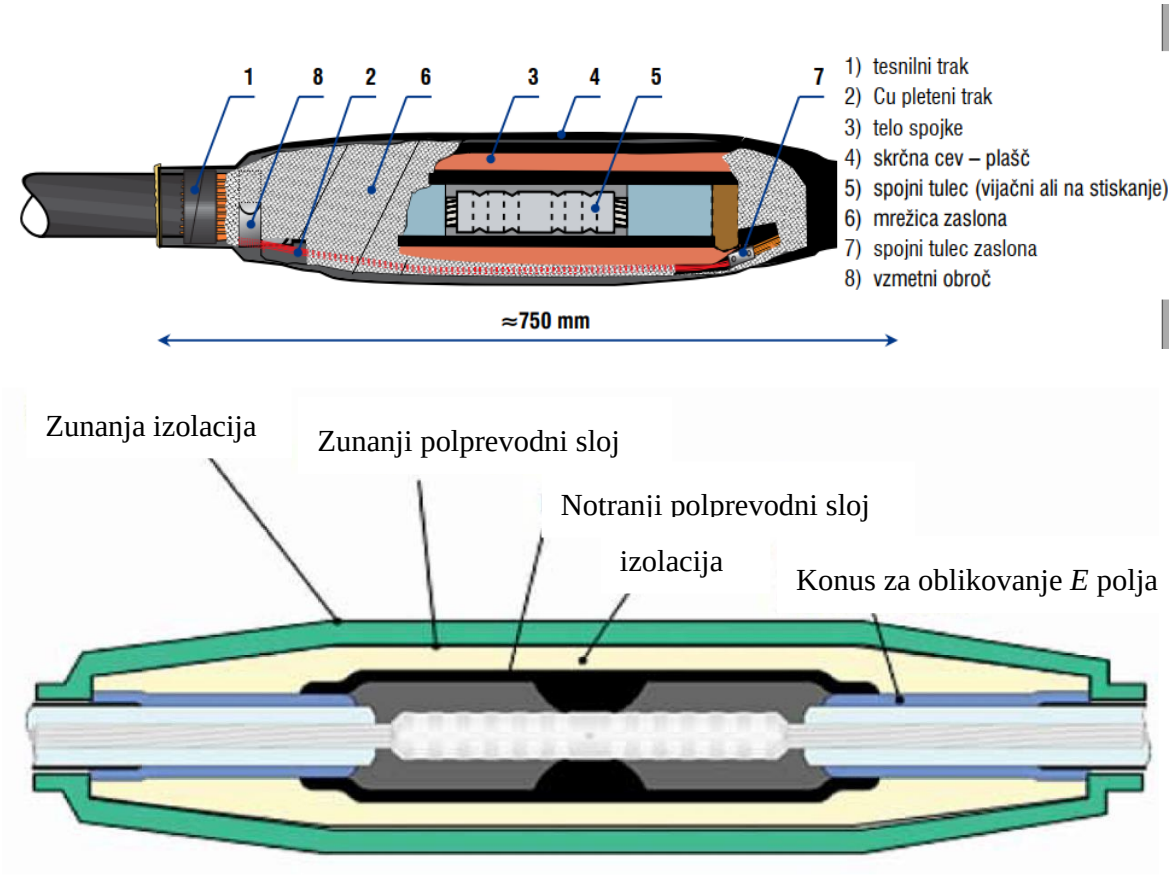
Konstrukcija kabelske spojke mora omogočati montažo pri temperaturi najmanj°+5°C. V primeru nižjih temperatur je potrebno upoštevati posebna navodila proizvajalca kabelskih spojk.

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.

Pri izdelavi kabelskih spojk je potrebno poskrbeti za neprekinjenost kovinskih plaščev in kovinskega zaslona (električne zaščite) kabla z ustreznim priborom za spajanje.

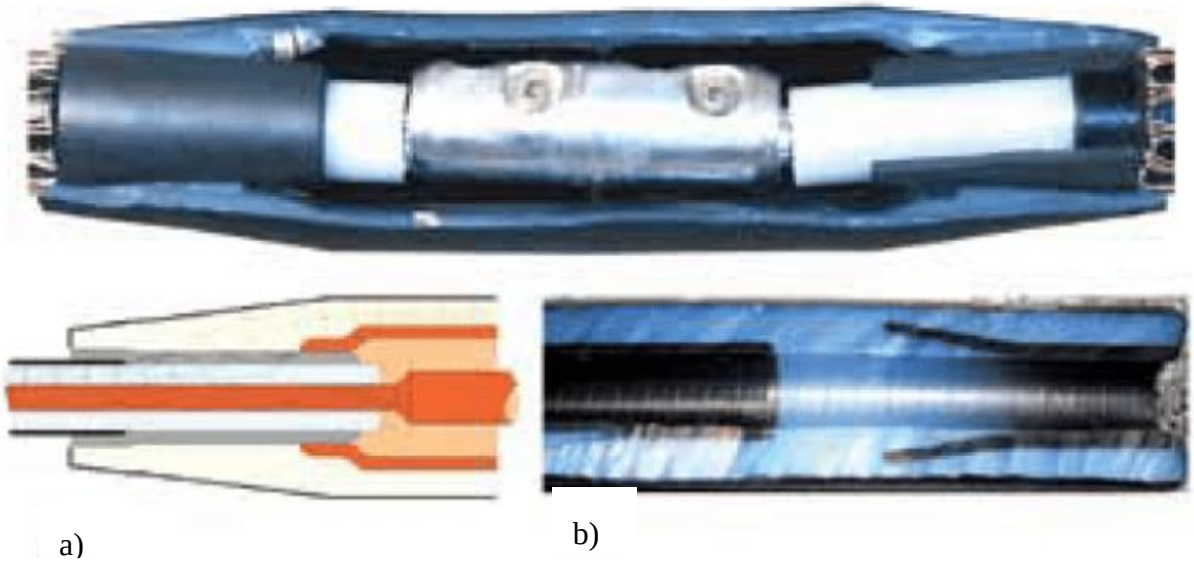
Pri spojkah ločimo izvedbo zmanjšanja polja z namestitvijo konusa za oblikovanje polja (angl. Stress-cone) ali izolacijskega tulca v silikonski ali EPDM izvedbi izolacije notranjega in zunanjega polprevodnega sloja.



Slika 36: Glavni sestavni elementi spojke

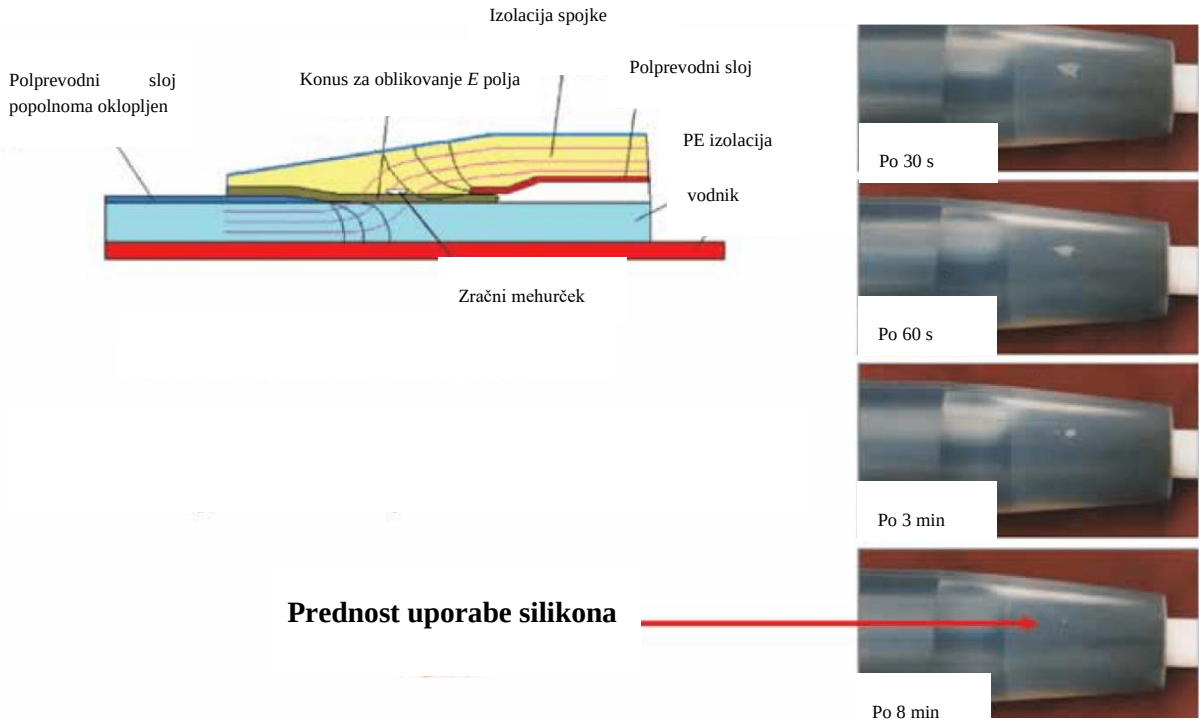
Slika 37 prikazuje prerez dveh različnih tehnologij za izdelavo spojk. Prva z namestitvijo izolacijskega tulca, ki se namesti med zunanjim polprevodnim slojem kabla in notranjim polprevodnim slojem spojke. Druga z namestitvijo konusa za oblikovanje polja (angl. Stress-cone). Tu se stikata zunanji polprevodni sloj kabla in notranji polprevodni sloj spojke.

Pomembna prednost silikona pri uporabi v spojkah je njegova sposobnost absorpcije plina. To 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 38 prikazuje, kako se v manj kot 10 min sled za zračnim mehurčkom izgubi. To je zagotovilo, da v kratkem času po izdelavi kabelske spojke v njej niso prisotni zračni mehurčki, kar je mogoče potrditi z meritvijo delnih razelektrenj, ki izkazujejo visok prag vžigne napetost. Prav 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.



Slika 37: Načina zmanjšanja električne poljske jakosti na robu (zaključku) zunanjega polprevodnega sloja kabla a) z izolacijskim tulcem v natični izvedbi b) s konusom za oblikovanje potenciala v spojki z hladno krčno tehniko

.



Slika 38: Zračni mehurček pri spojki iz silikona je po preteku 8 minut komaj opazen.

6.14 ZAŠČITA SN KABLOV PRED KOROZIJO IN BLODEČIMI TOKOVI

6.14.1 Splošne določbe

Izbrati je potrebno kable takih konstrukcij, ki zmanjšujejo vpliv korozije in blodečih tokov. Za zaščito obstoječih kablov v območjih, kjer obstaja delovanje korozije in blodečih tokov, pa kabli po svoji konstrukciji niso bili predvideni za polaganje v takšna območja, je potrebno izvesti ustrezne zaščitne ukrepe.

6.14.2 Zaščita SN kablov pred blodečimi tokovi

Za zagotavljanje zaščite kablov pred blodečimi tokovi je potrebno upoštevati določila standarda SIST EN 50162 : 2005 (Železniške naprave–Zaščita proti koroziji zaradi učinkovanja blodečih tokov pri enosmernih tokovnih sistemih), ter [2] (Študija EIMV, št. 1882, Analiza vplivov načrtovanega povečanja nazivne moči enosmernih lokomotiv in frekvenca porasta prometa na SN in NN omrežje). Blodeče tokove proizvajajo postroji enosmernega toka, ki za obratovanje izkoriščajo obratovalni vodnik, ki je na več mestih ozemljen. Ti so:

- električna železnica, električni tramvaj, industrijska električna vozila na enosmerni pogon, ki uporabljajo tračnice za povratni vodnik,
- naprave za napajanje trolejbusnih vodov, pri katerih je en vodnik ozemljen na več mestih,
- enosmerna električna omrežja in industrijska omrežja,
- aparati za varjenje z enosmernim tokom posebno v ladjedelnicah,
- enosmerna TK omrežja,
- naprave za zaščito pred korozijo, ki same povzročajo blodeče tokove,
- neozemljeni postroji enosmernega toka pri istočasnih zemeljskih stikih na več mestih.

Projektiranje železniških naprav stabilne naprave električne vleke se izvede v skladu s [25] standardom SIST EN 50122-1:2011/A2:2017: Železniške naprave - Stabilne naprave električne vleke - Električna varnost, ozemljitev in povratni tokokrog - 1. del: Zaščitni ukrepi proti električnemu udaru - Dopolnilo A2 in oSIST prEN 50122-1:2021.

Pri zaščiti proti koroziji je potrebno upoštevati določila standarda [26] SIST EN 50162:2005 (EN 50162:2004) Protection against corrosion by stray current from direct current systems (Železniške naprave – Zaščita proti koroziji zaradi učinkovanja blodečih tokov pri enosmernih tokovnih sistemih).

Zmanjševanje vpliva blodečih tokov se priporoča na samem izvoru po eni od naslednjih metod:

- z dobrim galvanskim povezovanjem tračnic,
- z dobrim vzdolžnim povezovanjem odcepov in križanj.

Ukrepi za zmanjševanje škodljivega delovanja blodečih tokov so:

- izbira primerne lokacije kabla,
- vgradnja katodne zaščite,

- vgradnja ISP naprave za zaščito pred vdorom blodečih tokov.

6.15 POLAGANJE SN KABLOV GLEDE NA ZAŠČITO

Zagotovitev zaščite kablov s polaganjem v cevi in kanale

Zahteve za polaganje kablov v cevi in kanale za zagotovitev zaščite kabla:

- Kable je mogoče zaščititi s polaganjem v kabelske kanale, ki morajo biti popolnoma suhi. Spoje kanalov, ki so izdelani iz kanalskih blokov, je potrebno zatesniti pred vlago.
- V kabelskih kanalih, v katerih so položeni kabli in od katerih eden izmed njih povzroča blodeče toke, je potrebno ostale kable medsebojno izolirati ter njihove plašče kratko stakniti, v primeru da se uporabi katodna zaščita.
- Kovinske zaščitne cevi kablov morajo biti v vzdolžni smeri električno dobro povezane.

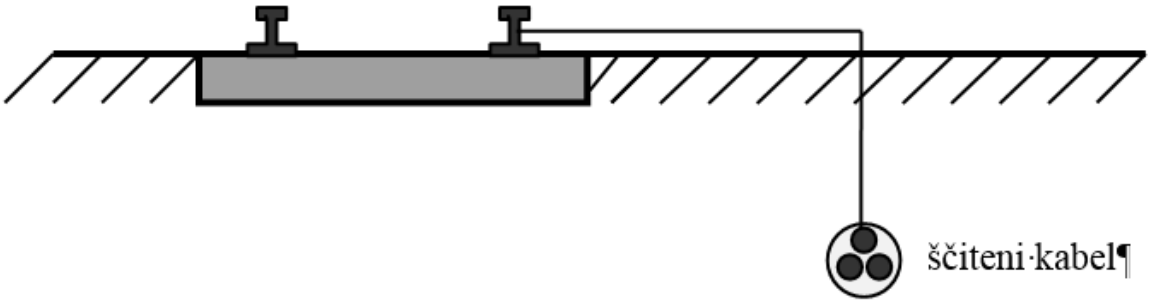
Zaščitna izolacija kabla

Zaščitno izolacijo kabla je potrebno uporabiti na celotnem območju, kjer ga ogrožajo blodeči tokovi. Poleg kablov je potrebno izolirati tudi kabelske spojke.

Katodna zaščita

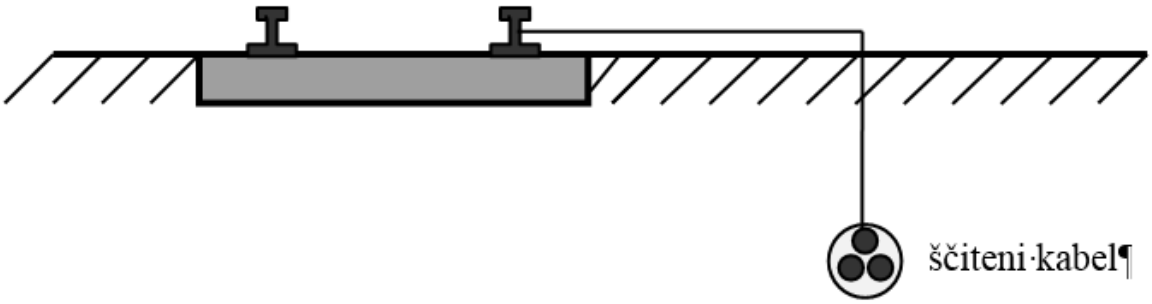
Najpogostejši so naslednji načini priključitve katodne zaščite.

1. Neposredno odvajanje blodečih tokov iz ščitenega kabla je možno, če je mesto priključitve na tračnice vedno bolj negativno od okoliške zemlje in se polariteta ne spreminja. (Slika 39).



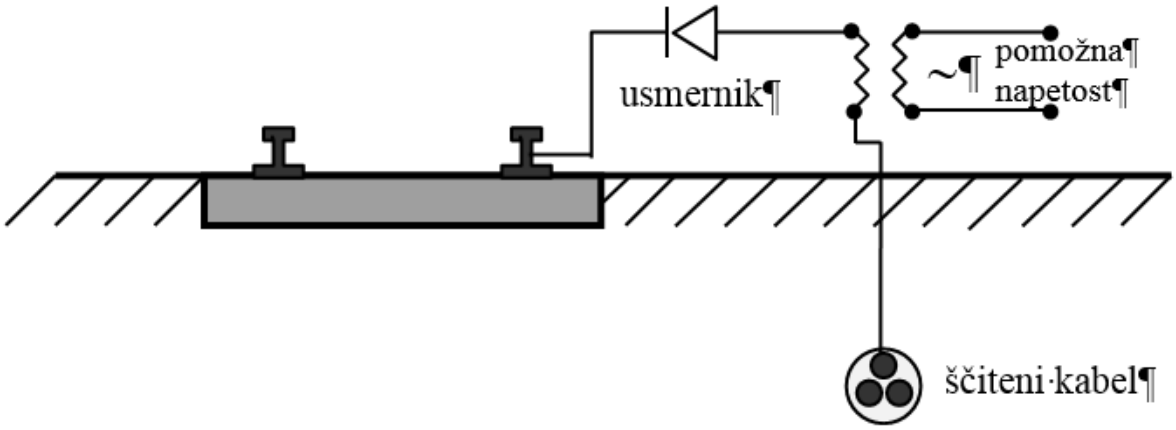
Slika 39: Neposredno odvajanje blodečih tokov iz ščitenega kabla

2. Pri usmerjenem odvodu blodečih tokov je dovoljen večji izbor priključnih mest na tračnice brez nevarnosti spremembe polaritete (Slika 40).



Slika 40: Katodna zaščita z usmerjenim odvodom blodečih tokov

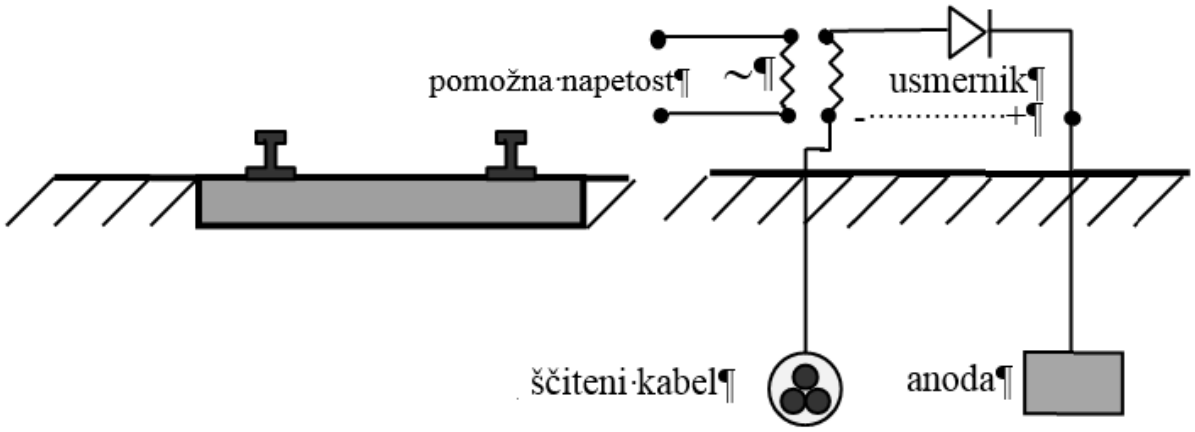
3. Če zaščita ne zadovoljuje prve točke tega poglavja, se priporoča uporaba enosmernega izvora, ki vsesava blodeče tokove. Izvor mora biti prilagojen okoliškim razmeram in opremljen z napravo za merjenje (Slika 41).



Slika 41: Katodna zaščita z izvorom enosmernega toka, ki vsesava blodeče tokove

4. Katodna zaščita z vkopano anodo se priporoča tam, kjer je ščiteni vod zelo dolg. Enosmerni izvor je priključen z negativnim polom na ščiteni kabel, pozitivni pol pa je povezan z vkopano anodo. Vodi, ki povezujejo posamezne elemente, morajo biti dobro

izolirani od okoliške zemlje. Oddaljenost med anodo in ščitenimi kabli je potrebno določiti za vsak primer posebej (Slika 42).



Slika 42: Katodna zaščita z vkopano anodo

Zaščita pred vdorom blodečih tokov z ISP napravo

ISP naprava deluje na principu prevajanja AC toka ter blokadi DC toka, ki povzroča pojav korozije na kovinskih delih elementov postroja. Naprava se vgradi na obeh straneh kompenzacijskega vodnika. Zagotavlja nizko impedanco do zemlje za inducirane AC toke in s tem preprečitev nevarnih napetosti, ki bi se lahko pojavile na napravi, ki jo ščiti. V primeru udara strele zagotavlja prenapetostno zaščito do želene meje, določene v specifikacijah.

Delovanje ISP naprave je obdelano v poglavju 7.13, v sklopu katerega je obravnavana zaščita VN kablov pred blodečimi tokovi.

6.16 PRENAPETOSTNA ZAŠČITA SN KABLOV

Prenapetosti v električnih omrežjih so posledica udarov strel ali stikalnih operacij, katerim se v večini primerov ne moremo izogniti. Tematika je obravnavana v sklopu poglavja o VN kablih.

Pri polaganju kabla v zemljo je priporočljivo nad njim položiti valjanec ali goli vodnik ustreznega prereza, ki prepreči nastanek napetostnega lijaka, zaradi katerega bi se vzdolž kabla lahko pojavil tako velik padec potenciala, ki bi presegel vrednost dielektrične trdnosti zunanjega plašča kabla in utegnil povzročiti njegov preboj.

6.17 ELEKTRIČNA IN MAGNETNA POLJA V OKOLICI ENERGETSKIH KABLOV

Opredelitev področja sevanja in pregled dovoljenih vrednosti magnetnega polja v njem

Srednje in visokonapetostni energetski kabli s stališča vplivov na okolje predstavljajo nizkofrekvenčne vire elektromagnetnega sevanja. Ko govorimo o elektromagnetnih vplivih energetskih kablov na okolje imamo v mislih električno in magnetno polje v prostoru, v katerem poteka kablovod in je razdeljen na dve območji z različnima stopnjama varnosti. Opredelitev prostora glede na območje in določitev stopnje varstva pred elektromagnetnim sevanjem je

osnova za izbiro mejnih vrednosti, s katerim se vrednoti vpliv kablovoda na okolje. Mejne vrednosti jakosti elektromagnetnih polj nizkofrekvenčnih virov sevanja in področje sevanja so določene v Zakonu o varstvu okolja (Uradni list RS št. 32 1993) in Uredbi o elektromagnetnem sevanju v naravnem življenjskem okolju (Uradni list RS št. 70 1996), v nadaljevanju Uredba. Določila Uredbe veljajo za naravni in življenjski prostor zunaj nadzorovanih območij. Z vidika zahtevane stopnje varstva pred sevanjem se območje naravnega in življenjskega prostora po določilih 3. člena Uredbe deli na I. območje in II. območje. V I. območju se zahteva povečana stopnja varstva pred sevanjem (I. stopnja varstva pred sevanjem) in v II. območju II. stopnja varstva pred sevanjem. Kot I. območje so opredeljena tista področja, ki so na kakršen koli način povezana z bivanjem oziroma dolgotrajnejšem zadrževanjem ljudi in so v Uredbi tudi posebej imenovana. Predmetna Uredba predpisuje mejne vrednosti jakosti elektromagnetnih polj nizkofrekvenčnih virov sevanja in sicer:

- za obstoječe vire sevanja velja ne glede na vrsto območja, mejna vrednost 100 µT,
- za nove in rekonstruirane vire sevanja na I. območjih velja mejna vrednost 10 µT,
- za nove in rekonstruirane vire sevanja na II. območjih velja mejna vrednost 100 µT.

Novi oziroma rekonstruirani vir je tisti, ki za katerega se gradbeno dovoljenje pridobi po 21. decembru 1996. Za nadzemne ali podzemne energetske vode z nazivno napetostjo 110 kV je potrebno pridobiti okoljevarstveno soglasje in je zanje potrebno izdelati poročilo o vplivih na okolje, medtem ko za kable nižjih nazivnih napetosti zadostuje strokovna ocena obremenitve okolja.

6.17.1 Električno polje v okolici energetskih kablov

Pri energetskih kablih, ki obratujejo v trifaznem sistemu, razlikujemo med kabelskim sistemom, ki ga tvorijo trije enožilni kabli ali en trižilni kabel. Ker vse konstrukcije energetskih kablov tako enožilnih kot trižilnih vsebujejo zaslon, ki je običajno ozemljen bodisi na eni ali na obeh straneh, je električno polje omejeno na prostor med vodnikom in zaslonom tako, da ne prodre v prostor izven kabla. Tako je v okolici kabla prisotno samo magnetno polje, ki pa je pri neki vrednosti obratovalnega toka odvisno od formacije kablov posameznih faz, njihove medsebojne oddaljenosti in načina ozemljitve zaslonov.

6.17.2 Magnetno polje v okolici energetskih kablov

Magnetno polje v okolici energetskih kablov trifaznega sistema je odvisno predvsem od tega, ali je v sistemu uporabljen trižilni kabel ali trije enožilni kabli. V primeru uporabe trižilnega kabla je magnetno polje zaradi majhnih medsebojnih razdalj posameznih faz in boljšega kompenzacijskega učinka zaslona pri obojestranski ozemljitvi bistveno šibkejše kot če sistem tvorijo trije enožilni kabli. Ker dovoljene vrednosti magnetnih polj pri trižilnem kablu niso presežene, se izračuni in meritve opravljajo le za enožilne kable. Magnetno polje v okolici trifaznega kablovoda, ki ga sestavljajo trije enožilni kabli, je odvisno od višine toka v vodnikih, formacije kablov globine polaganja in načina ozemljitve kabelskih zaslonov oziroma kovinskih

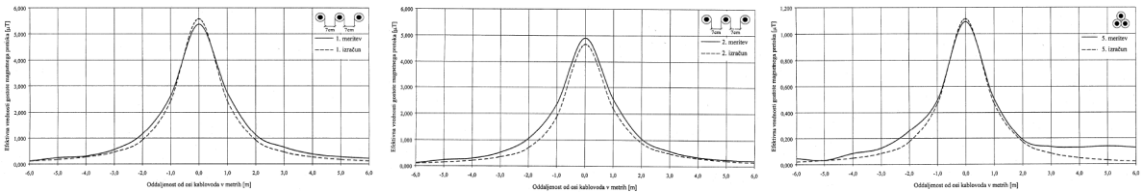
plaščev. Ti so lahko ozemljeni na eni strani ali na obeh straneh. V primeru enostranske ozemljitve zaslonov po njih ne tečejo izenačevalni tokovi. V tem primeru je vrednost gostote magnetnega pretoka proporcionalne vrednosti obratovalnega toka. V primeru obojestranske ozemljitve zaslonov po njih tečejo izenačevalni tokovi, zato so vrednosti gostote magnetnega pretoka manjše kot pri kablih, ki imajo zaslone ozemljene na eni strani in sicer za toliko, kolikor znaša višina izenačevalnih tokov v primerjavi s toki v vodniku.

Kriteriji za izbiro velikosti tokov pri katerih se podajajo vrednosti magnetnega polja

Vrednosti magnetnega polja v okolici SN kablov se lahko podaja pri maksimalnih tokovnih obremenitvah, ki jih podaja proizvajalec zmanjšanih za faktor, ki ga določa način polaganja, ali pri maksimalnih vrednostih primarnih tokov uporabljenih merilnih tokovnih transformatorjev, to je v splošnem 150 A oziroma 300 A, ali pa pri nazivni moči transformatorjev SN/NN in sicer v višini 1 m nad tlemi. Na podlagi izračunov in meritev magnetnih polj za različne formacije enožilnih kablov, ki obratujejo v trifaznem sistemu so ugotovili, da dovoljene vrednosti magnetnih polj v razdalji 1m nad tlemi niso presežene niti pri največjih obremenitvah (300 A).

Vrednosti magnetnega polja SN kablov nazivne napetosti U_o/U = 12/20 kV

Največje vrednosti magnetnih polj se pojavijo pri kablih, ki so položeni v ravnini in imajo zaslone ozemljene na eni strani. Pri obremenitvi s tokom 100 A so vrednosti magnetnih polj okrog 5 µT. Vrednost magnetnega polja je nekoliko nižja, če so zasloni ozemljeni na obeh straneh in nekoliko višja, če so ozemljeni samo na eni strani. Razmerje med vrednostjo magnetnega polja pri obojestransko in enostransko ozemljenih zaslonih je približno 0.9, kar ustreza razmerju med tokovi v vodniku in zaslonih. Če se obremenitev poveča na dvakratno vrednost (iz 100 A na 200 A) so vrednosti magnetnih polj dvakrat višje. Med spreminjanjem vrednosti magnetnega polja v odvisnosti od formacije enožilnih kablov in števila sistemov pa ni tako enostavne korelacije. Razlika med jakostjo magnetnega polja pri najpogosteje uporabljenih formacijah pri obratovalnem toku 100 A je prikazana na Slika 43, ki prikazuje, da je pri trifaznih enožilnih kablih, položenih v trikot, vrednost magnetnega polja za približno 5 krat nižja kot pri kablih, položenih v ravnini z razdaljo med fazami 7 cm. Tudi znižanje vrednosti gostote magnetnega pretoka v primeru obojestransko ozemljenih zaslonov, pri kablih položenih v trikot, je manjše kot pri kablih položenih v ravnino zaradi tokov, ki tečejo po zaslonih, ki so pri trikotni formaciji približno 2 krat nižji kot pri ravninski formaciji.



Slika 43: Magnetno polje 20 kV kabla pri ravninski formaciji in razdalji med fazami 7 cm z enostransko in obojestransko ozemljenimi zasloni ter trikotni formaciji z enostransko ozemljenimi zasloni

7 NN KABLI

7.1 OZNAČEVANJE NN KABLOV

Oznaka NN kablov v skladu s VDE 276- 603:2010/03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2010 Parts 0, 1, 3G, 5G) je sestavljena iz skupina črk in številk, ki po vrsti označujejo konstrukcijo kabla od sredine kabla (vodnik) navzven (plašč).

Oznako kabla sestavlja skupina črk in številk, ki po vrsti označujejo konstrukcijo kabla od sredine kabla (vodnik) navzven (plašč).

Ne označuje se: vodnik iz bakra, izolacija iz papirja, notranji in zunanji prevodni plašči, skupni koncentrični kovinski zaslon-ekran.

N	A	Y	Y	-	J	4	x	35	SM	+	2,5 RE	0,6/1 kV
1	2	3	4		5	6		7	8		9	10

Glavne oznake:

1- N kabel, označen v skladu s VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G)

2- A vodnik iz aluminija

- vodnik iz bakra (brez označbe)

Y izolacija iz polivinilklorida (PVC) – Part 3-G

2X izolacija iz XLPE – Part 5-G

C koncentrični kovinski zaslon-ekran iz bakrenih žic

CW koncentrični kovinski zaslon-ekran iz bakrenih žic in z ovitimi bakrenimi trakovi

Y plašč iz PVC

2Y plašč iz polietilena (PE)

J kabel z rumeno-zeleno žilo

O kabel brez rumeno-zelene žile

Oznake za obliko vodnika:

Rokrogel vodnik

S sektorski vodnik

M večžični vodnik

E polni vodnik

Dodatna oznake za armaturo:

AWA Aluminium wire armoured

SWA Steel wire armoured

7.2 PRIMERI OZNAČEVANJA NN KABLOV

a) Štirižilni kabel z izolacijo iz omreženega polietilena (XLPE) in plaščem iz polietilena (PE), konstrukcija brez posebne mehanske zaščite, z enožičnimi (polnimi) aluminijevimi faznimi vodniki sektorskega prereza 35 mm² in nevtralnim vodnikom enakega prereza za nazivno napetost 0,6/1 kV se označuje:

NA2X2Y 4 x 35 SE 0,6/1 kV

b) Štirižilni kabel z izolacijo iz PVC in plaščem iz PVC, z aluminijskimi enožičnimi faznimi vodniki sektorskega prereza 70 mm² in nevtralnim vodnikom enakega prereza in zeleno-rumenim nevtralnim vodnikom za nazivno napetost 0,6/1 kV se označuje:

NAYY-J 4 x 70 SE 0,6/1 kV

c) Štirižilni kabel z izolacijo iz PVC in plaščem iz PE, z aluminijskimi enožičnimi faznimi vodniki sektorskega prereza 70 mm² in nevtralnim vodnikom enakega prereza in zeleno-rumenim nevtralnim vodnikom za nazivno napetost 0,6/1 kV se označuje:

NAY2Y-J 4 x 70 SE 0,6/1 kV

7.3 PRESKUŠANJE NN KABLOV

Preskušanje NN kablov se opravi po določbah VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G) in drugih standardov, na katere se predmetni standard sklicuje.

7.4 IZBIRA NN KABLOV

7.4.1 Splošne določbe izbire NN kablov

Kabli nazivne napetosti U_o/U = 0,6/1 kV se uporabljajo v omrežjih izmenične napetosti, v katerih največja napetost pri normalnih obratovalnih pogojih ne preseže nazivne napetosti kabla, povišane za 20 %, U_m = 1,2 x U (kV).

Konstrukcija izbranih tipov kablov za napetosti 0,6/1 kV mora ustrezati zahtevam VDE 276- 603:2010-03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G).

Vrednost največje napetosti kabla U_m je odvisna od nazivne napetosti omrežja in jo podaja Tabela 3.

Najvišjo dopustno trajna delovna temperaturo vodnika in najvišjo dopustno temperaturo vodnika v kratkem stiku prikazuje Tabela 4.

Nazivni prerez faznega vodnika za NN enožilne in trižilne kable, v odvisnosti od nazivne napetosti prikazuje tabela iz VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G)

Izolacija vodnika pri NN kablih mora ustrezati zahtevam VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G)

7.4.2 Splošno o nazivni tokovni obremenitvi NN kablovodov

Pri projektiranju kablovodov je potrebno zagotoviti čim bolj enakomerno termično obremenitev (ustrezen termični profil) vzdolž kablovoda, zato je potrebno zagotoviti kvalitetno odvajanje toplote z vseh elementov in odsekov kablovoda, še posebej z mest s povečanimi izgubami in večjimi termičnimi upornostmi kot so spojke in križanja ter paralelni poteki z drugimi infrastrukturnimi vodi in objekti.

Pri projektiranju kablovodov je potrebno upoštevati, da je odvod toplote odvisen od konstrukcije in dimenzij kabla, vrste toka in napetosti, od temperature medija, v katerem je kabel položen, in od toplotne upornosti tega medija.

V normalnem obratovanju kablovodov se toplota razvija v vodniku, izolaciji, prevodnih plasteh, kovinskem plašču in armaturi.

Geometrijske karakteristike kablov se le neznatno spreminjajo v odvisnosti od temperature, pa jih zaradi tega lahko smatramo kot konstante.

Tokovna obremenitev kablovodov je najbolj odvisna od vplivov okolice, to je od temperature medija, v katerem je kabel položen in njegove toplotne upornosti.

Če je tokovna obremenitev kablovodov presežena za daljši čas, lahko pride do izsušitve okoliške zemljine. To je mogoče preprečiti ali vsaj zmanjšati z ustrezno izbiro termično stabilnih zasipnih materialov in izvedbo ustreznega kompaktiranja posameznih slojev ter izvajanjem monitoringa temperature površine kabla ali okoliške zemljine.

Tokovno obremenitev kablovoda določa izraz:

$$I_z = I_n \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot \prod f \tag{7.1}$$

I_n	nazivna tokovna obremenitev, ki je določena v VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G) oz. SIST HD 603 S1/A3	[A]
f_1	korekcijski faktor tokovne obremenitve v odvisnosti od temperature zemlje za različne specifične toplotne upornosti zemlje in faktorje obremenitve »m«	[-]
f_2	korekcijski faktor tokovne obremenitve v odvisnosti od števila kablov v istem jarku pri posamezni formaciji, za različne specifične toplotne upornosti zemlje in faktorje obremenitve »m«	[-]
I_z	tokovna obremenljivost (efektivna vrednost)	[A]
Πf	produkt korekcijskih faktorjev obremenitve razen f_1 in f_2, iz Tabela 15 do Tabela 23	[-]

Faktorja f_1 in f_2 se vedno uporabljata v povezavi drug z drugim (vedno se uporabita oba faktorja).

Dodatni faktorji, razen faktorjev f_1 in f_2,se nanašajo na odstopanja zaradi posebnih načinov polaganja: polaganje v cevi, kanale itd.

Pri podatku o nazivni tokovni obremenitvi mora proizvajalec obvezno navesti vse pogoje, na katere se ta nanaša, in sicer:

- konstrukcijske podatke kabla,
- razporeditev oziroma formacijo (trikot ali linija),
- razdaljo med kabli posameznih faz,
- način ozemljitve kovinskih zaslonov (obojestransko ali enostransko),
- temperaturo vodnika (večinoma se navaja nazivna obremenitev pri 70°C)
- število sistemov (privzeta vrednost je en sistem) in njihovo medsebojno razdaljo,
- toplotno upornost zemlje (privzeta vrednost je 1 K.m/W),
- stopnjo obremenitve »m« (privzeta vrednost je 0,7),
- medij, v katerega se kabel polaga in način izvedbe kabelske posteljice.

Za polaganje kablov v zemljo so podane tokovne obremenitve za normalno obratovanje ob izpolnjenih referenčnih pogojih za polaganje v zemljo. Med njimi je posebno pomembna referenčna temperatura, ki je pogojena s klimatskim pasom države proizvajalca oz. uporabnika kabla, zato se vrednosti referenčnih temperatur v posameznih sekcijah med seboj razlikujejo, česar se ne sme spregledati. Če želimo podatke o tokovni obremenljivosti kablov, ki so izdelani v skladu z različnimi sekcijami standarda, med seboj primerjati, je potrebno njihove vrednosti preračunati na referenčno temperaturo zemlje, v kateri bo kablovod obratoval.

Pri nadzemnem polaganju kablov velja ustrezna nazivna tokovna obremenitev za normalno obratovanje ob izpolnjenih referenčnih pogojih za nadzemno polaganje. Pri tem se razume, da je omogočeno ohlajanje kablov s konvekcijo in sevanjem, da ni porasta temperature okolice in prav tako ne tujih toplotnih izvorov.

Nazivno tokovno obremenitev določa dopustni trajni obremenilni tok za posamično položene kable oziroma kabelske sisteme (tri posamične kable) po tako imenovanem dnevnem diagramu obremenitve.

Dnevna obremenitev kablov je obratovalno stanje, pri katerem se v dnevnem obdobju obremenitev spreminja od polne ali maksimalne obremenitve do najmanjše minimalne obremenitve. Razmerje med obremenitvijo in maksimalno polno dnevno obremenitvijo se imenuje stopnja dnevne obremenitve.

Stopnja dnevne obremenitve se v skladu s VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G) izračuna kot količnik površine pod diagramom dnevne obremenitve in skupne površine pravokotnika, ki ga določa maksimum obremenitve skozi 24 ur (glej prilogo A2).

Za tako določen koeficient dnevne obremenitve ne sme nazivna obremenitev za izbrani tip in presek kabla pri polaganju v zemljo ali nadzemno (iz tabel nazivnih tokovnih obremenitev z upoštevanjem vseh korekcijskih faktorjev) presegati maksimalne obremenitve.

7.4.3 Dopustna delovna temperatura vodnika NN kablov

Dopustna delovna temperatura vodnika in specifične toplotne upornosti kabla so v skladu s VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1:1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G).

7.4.4 Obratovalni pogoji pri polaganju NN kablov v zemljo

Pogoje pri polaganju NN kablov v zemljo podaja Tabela 7.

Vrednosti korekcijskih faktorjev pri polaganju v zemljo f_1 in f_2 so podane v VDE 276- 603:2010-03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G). Z njimi so zajeti vplivi že prej omenjenih vplivnih veličin kot so temperatura okolice, specifična toplotna upornost zemlje, razmik, cevi in število kablov.

Referenčna temperatura zemlje v globini 0,7 m (referenčna globina) je 20°C (v skladu z nemško sekcijo standarda HD 620 S2 Part 5 G-17). Pri določitvi globine se upošteva os kabla, pri polaganju kablov v snop pa globina osi snopa. S povečevanjem globine se obremenljivost kabla zmanjšuje. V območju med 0,7 m in 1,2 m je zmanjšanje obremenljivosti minimalno in se zaradi manjše specifične upornosti tal v večjih globinah kompenzira, zaradi tega do globine 1,2 m ni potrebno upoštevati zmanjšanja obremenljivosti.

Privzeta je vrednost specifične toplotne upornosti vlažnega terena 1,0 K. m/W. Ob upoštevanju zgornjih pogojev se smatra, da ni prisotnih tujih virov toplote. V primeru izsušenega terena je potrebno upoštevati specifično toplotno upornost suhega terena 2,5 K. m/W.

Polaganje NN kablov v cevi v zemlji (Polaganje v kabelsko kanalizacijo)

Pri polaganju v cevi se obremenljivost kablovoda zmanjša zaradi zmanjšane sposobnosti oddajanja toplote v okolico. V primeru, da je izračun obremenljivosti prezahteven, se faktor obremenitve pri polaganju v cevi lahko oceni na 0,85 v skladu z DIN VDE 0276- 1000 točka 5.3.1.2.4.

Pri izdelavi cevne kabelske kanalizacije je potrebno izvesti odvodnjavanje. Cevi morajo biti položene z blagim padcem v smeri podzemnih jaškov, namenjenih spajanju.

Pri polaganju NN kablov se opiramo na določila pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za gradnjo, obratovanje in vzdrževanje elektroenergetskih nizkonapetostnih vodov.

7.4.5 Obratovalni pogoji pri nadzemnem polaganju NN kablov

Pogoje pri nadzemnem polaganju NN kablov (v zraku) v skladu s VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G) podaja Tabela 8.

Pri nadzemnem polaganju se za preračun tokovne obremenljivosti na referenčno temperaturo to predvidi v skladu s VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1:1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G) Tabela 9.

Tokovna obremenljivost pri nadzemnem polaganju je odvisna od konfiguracije in števila sistemov. Če je kabel postavljen v bližini tal ali stene, je cirkulacija zraka otežena. Oddajanje toplote s sevanjem je odvisno od temperature bližnje površine in absorpcijskega koeficienta njenega materiala. Če se kabli dotikajo teh površin, se lahko del toplote odda tudi s prevajanjem. V tem primeru je oddana toplota odvisna tudi od toplotne upornosti površine, ki je v stiku s kablom. Vrednosti korekcijskega faktorja v odvisnosti od števila sistemov pri različnih konfiguracijah so podane v VDE 276- 603:2010-03 (German version HD 603 S:1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G).

V primerih, kjer je kabel izpostavljen močnemu sončnemu obsevanju, je potrebno upoštevati povečanje temperature zaradi sončnega obsevanja, ki se izračuna iz enačbe:

$$\Delta\vartheta_s = \alpha_o \cdot d \cdot E_s \cdot T'_{zr} \tag{7.2}$$

kjer je:

E_s	moč sončnega obsevanja	[kW/m^2]
T'_{zr}	toplotna upornost zraka okrog kabla pri sončnemu obsevanju	[K.m/W]
d	zunanji premer kabla	[m]
α_o	absorpcijski faktor zunanjega plašča kabla	[-]

Vrednost absorpcijskega faktorja α_o PVC plašča znaša 0,6 ter PE plašča 0,4. Moč sončnega obsevanja se v povprečju giblje okrog 1 kW/m^2, v posebnih primerih pa največ 1,35 kW/m^2. Povečanje toplotne upornosti zraka okrog kabla 1 x 150 mm^2, 12/20 kV, pri moči sončnega obsevanja 1 kW/m^2 , je približno 1,04 K.m/W. Pri teh pogojih se obremenljivost kablovoda zmanjša približno za faktor 0,8.

7.4.6 Tokovna obremenitev NN kablov

Tokovne obremenitve in obratovalni pogoji so podani v naslednjih tabelah.

Tokovno obremenitev NN kablov U_o/U = 0,6/1 kV z vodniki iz bakra in aluminija za polaganje v zemljo v skladu s VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1:1994/A3:2007, 3G) 3G- 28 tabela 14 prikazuje Tabela 9.

Tokovno obremenitev NN kablov U_o/U = 0,6/1 kV z vodniki iz bakra in aluminija za polaganje v zraku v skladu s VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1:1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G) oz. SIST HD 603 S1/A3, str. 3G- 28 tabela 15 prikazuje Tabela 10.

Korekcijski faktor se uporabi, kadar pogoji uporabe odstopajo od referenčnih pogojev kot določa standard IEC 60364-5-52.

Referenčni pogoji so določeni posebej v vsaki sekciji standarda VDE 276- 603:2010-03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G).

Tabele korekcijskih faktorjev za preračunavanje tokovne obremenitve pri odstopanju od referenčnih pogojev v standardu VDE 276- 603:2010-03°(German

version HD 603 S1:1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G) niso podane, so pa podane v sekciji standarda HD 603 S1/A3, Part 5-F-18 in 5- F- 19. Veljajo za odstopanje od referenčnih pogojev, podanih na strani Part 5-F-16 in 5- F- 17. Sekcija Part 5-F standarda HD 603 S1/A3(Part 5-F-18) je ena izmed redkih sekcij, kjer so korekcijski faktorji podani tabelarično.

V standardu VDE 276- 603:2010-03 oz. German version HD 603 S1/A3, Part 5-G-18 so podani zgolj referenčni pogoji in način upoštevanja korekcijskih faktorjev za preračunavanje tokovne obremenitve v primeru odstopanja od referenčnih pogojev.

7.4.7 Dopustni tokovi kratkih stikov NN kablov

Vrednost kratkostičnih tokovnih gostot je odvisna od začetne temperature vodnika oziroma kovinskega zaslona v trenutku neposredno pred nastopom kratkega stika. Najvišje dovoljene vrednosti temperatur vodnika in izolacije v odvisnosti od vrste ter debeline glavne izolacije in drugih izolacijskih slojev ter konstrukcije kabla so določene v standardih VDE 276-603:2010-03 oz. German version HD 603 S1/A3, Part 5- G- 31 Table 17.

7.5 POLAGANJE NN KABLOV

7.5.1 Splošne določbe o polaganju NN kablov

S kabli je potrebno pri polaganju ravnati tako, da se njegove nazivne lastnosti bistveno ne spremenijo. Posebno je potrebno paziti na:

- dimenzioniranje prereza vodnika glede na pričakovani tok obremenitve,
- vpliv grupiranja kablov ali drugih izvorov toplote, specifično toplotno prevodnost medija, v katerem je kabel položen, in zaščito pred sončnimi žarki,
- vplivu urbanizacije na preusmeritev toplotnih tokov in izsušitev zemljine,
- največji kratkostični tok,
- zaščito pred blodečimi toki in korozijo,
- stabilnost terena in vibracije,
- zaščito pred mehanskimi poškodbami kabla,
- zaščito pred kemijskimi vplivi in če je potrebno na izbor posebne konstrukcije kabla,
- gladkost in trdnost podlage, na katero se kabel polaga,
- previjanje kablov: sme se uporabiti samo ustrezne bobne (ostankov se ne sme previjati na manjše bobne).

Kriteriji, vezani na način polaganja so:

- najmanjši upogibni radij,
- največja natezna sila,
- masa,
- zunanji premer, posebej pri uvleki kabla v cevno kanalizacijo,

- notranji premer cevne kanalizacije,
- fizikalne in kemijske lastnosti v primeru izpostavljenosti poostrenim pogojem,
- ognjevarnost kabelskih vodov v elektrarnah, RTP in prostorih dostopnih širši javnosti.

Dodatni kriteriji, ki se nanašajo predvsem na sam način polaganja (podzemno ali nadzemno polaganje, prečkanja in prehodi) so vezani predvsem na zaščito pred mehanskimi poškodbami pri uvleki v cevno kanalizacijo, zaščito pred previsoko termično upornostjo v kanalizacijskih ceveh itd.

Kabli namenjeni preskrbi potrošnikov z električno energijo, kakor tudi za gradnjo mestnih kabelskih omrežij, se lahko polagajo (odvisno od njihove konstrukcije) v suhih in vlažnih prostorih, v zemlji, pod javnimi prometnimi površinami in na odprtem prostoru.

Kabli, ki jih obravnava VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G) niso namenjeni polaganju v vodo.

Pod javnimi prometnimi površinami se na splošno smatrajo: javne prometne poti, križišča, trgi, vodotoki, mostovi, prehodi, nadvozi, podvozi in podobno.

Način izdelave in vsebino projektne dokumentacije za polaganje kablov predpisujejo interni predpisi oziroma trenutno veljavni zakon o izgradnji objektov in pravilnik o podrobnejši vsebini dokumentacije (Uradni list RS št. 36/18) in obrazcih povezanih z gradnjo. Bistvena sprememba, ki jo prinaša Pravilnik, je, da se dokazovanje bistvenih zahtev prestavlja v fazo izdelave projekta za izvedbo. Projekt za izvedbo je odslej tudi obvezna priloga ob prijavi gradbišča za vse zahtevne in manj zahtevne objekte.

Novost je tudi digitalizacija postopka dovoljevanja, ki bo dokončana v letu 2021, s pričetkom delovanja prostorskega informacijskega sistema (PIS) v državnem računalniškem oblaku (DRO). V pripravi so tudi tehnična navodila za izdelavo načrtov, vzorci projektne dokumentacije po novem in vzorci pogodb za projektiranje.

Trasa kabla je določena s položajem končnih točk, ki jih povezuje kabel in mora izpolnjevati pogoj najbolj ekonomičnega in najbolj smotrnega poteka kabla.

Trasa kabla mora biti usklajena z obstoječim stanjem podzemnih komunikacij, z upoštevanjem predpisov ter pogojev različnih pristojnih organov in zainteresiranih podjetij.

Pri planiranju in gradnji javnih prometnih poti in vgradnji raznih inštalacij se priporoča razpored elektroenergetskih kablov glede na druge komunikacije v skladu s prilogo A3 in A4. Možen je tudi drugačen razpored z upoštevanjem medsebojnega razmika inštalacij.

V skladu s predhodno točko se priporočajo še naslednja načela za namestitev podzemnih inštalacij na urbaniziranih območjih.

Komunikacije za preskrbo morajo biti praviloma izven cestišča, kanalizacija in visokotlačni plinovod pa pod cestiščem.

Če prostor izven cestišča ne zadošča za namestitev večjega števila inštalacij, je potrebno pod cestišče namestiti toplovod in ostale magistralne vode.

Pri razdelitvi je potrebno upoštevati medsebojni vpliv različnih komunikacij, potrebni prostor za delo, izgradnjo in obratovanje komunikacij.

Za namestitev komunikacij izven cestišča je potrebno razpoložljivi prostor v pločniku in stezi za kolesarje, zelenici in živi meji, razdeliti v cone.

Omenjene cone je potrebno v načelu predvideti na obeh straneh ceste.

Od predvidenih širin con se lahko v primeru potrebe tudi odstopi.

Pločnik za pešce se deli na cone v smeri od zunaj proti sredini prometnice z upoštevanjem globine polaganja (priloga A5) na:

- E cona (elektrovodi),
- PV cona (plinovodi),
- V cona (vodovodi),
- TK vodi cona (TK vodi).

Vodi se ne smejo polagati paralelno pod tirnicami, križanje pa se izvede pod kotom 90°. (Tabela križanj in približevanj iz pravilnika o tehničnih pogojih za graditev podzemnih elektroenergetskih VN vodov Uradni list RS št. 42 2021)

Vodi, ki niso namenjeni javni preskrbi, se lahko polagajo pod javne površine le tedaj, če ne ovirajo javnih komunikacij.

Običajni način polaganja posameznih vrst vodov

a) TK vodi:

- Običajna širina cone 0,7 m
- Globina polaganja v zemljo pri uporabi cevi najmanj 0,5 m
- Globina polaganja direktno v zemljo najmanj 0,6 m

b) Elektroenergetski vodi (E-cona):

Sem štejemo SN in NN kable, signalne kable, kable za preskrbo javnih prometnih sredstev, kable za cestno razsvetljavo.

- Običajna širina cone 0,7 m
- Globina polaganja najmanj 0,6 m

Znotraj cone morajo biti kabli razvrščeni v navpični smeri glede na namen uporabe in višino napetosti.

Pri prehodih je potrebno predvideti rezervne cevi za kasnejšo uporabo.

c) Plinovod (PV-cona) ∅ 100 do ∅ 500 mm

- Običajna širina cone 0,7 m - 1,2 m
- Srednja globina polaganja 1,1 m

Visokotlačni plinovod se polaga v cestišče, če ni prostora v PV-coni.

d) Vodovod (V-cona) ∅ 100 do ∅ 1200 mm

- Običajna širina cone 0,7 m - 2,5 m
- Globina polaganja najmanj 1,0 m do 1,8 m

e) Kanalizacija (K-cona)

Širina cone je odvisna od premera kanalizacijske cevi in globine polaganja. Sem štejemo hišno kanalizacijo, ulično kanalizacijo in kanalski kolektor. Kanalizacijski jaški morajo biti razporejeni le na enem prometnem pasu. Pri cestah z zelenim pasom v sredini ali ločenima prometnima pasovoma mora imeti vsaka stran ceste svojo kanalizacijo.

f) Toplovod (T-cona)

- Običajna širina cone 2,0 m
- Srednja globina polaganja 1,2 m

Pri polaganju toplovoda v cestišče se ne priporoča njegove namestitve v sredino cestišča. Jaške toplovoda je potrebno razporediti tako, da je pri popravilu promet omejen največ na en prometni pas. Pri približevanju ali križanju toplovoda z elektroenergetskim kabelskim vodom je potrebno

zagotoviti take razmike, da ne more priti do nedopustnih toplotnih vplivov. Če takšnega razmika normalno ne moremo doseči, je potrebno uporabiti dodatne izolacijske ukrepe.

V primeru pomanjkanja točnih podatkov o položaju podzemnih inštalacij je potrebno vzdolž projektirane trase izkopati na določenih mestih preskusne jame. Neposredno po polaganju kabla pred zasutjem je potrebno opraviti geodetski posnetek trase in po potrebi namestiti pasivne markerje.

Pri prenosu trase z načrta na zemljišče je potrebno upoštevati stalne orientacijske točke (npr. zgradbe). Na nenaseljenih območjih pa se trasa določi z geodetskim instrumentom.

Pred pričetkom del na trasi si mora investitor priskrbeti kopijo katastrskega načrta podzemnih inštalacij tega območja ter pisno mnenje in pogoje podjetij, katerih podzemne inštalacije se nahajajo na tem območju. Brez takšne predhodne dokumentacije se ulice lahko prekopljejo samo v primeru okvar, pri čemer pa morajo biti izvedeni predpisani varnostni ukrepi za zaščito obstoječih podzemnih inštalacij.

7.5.2 Polaganje NN kablov v zemljo

Zemeljska dela je potrebno izvajati v skladu s splošnimi zahtevami gradbenih norm in drugih obstoječih predpisov, ki obravnavajo tovrstna dela.

Širina in globina kabelskega jarka se praviloma določa po nazivni napetosti in številu paralelno položenih kablov.

Praviloma znaša normalna globina jarka v zemlji za NN kable z nazivno napetostjo U_o/U = 0,6/1 kV, kjer ni ostalih inštalacij 0,7 m.

Možne so tudi manjše globine, če so izvedeni posebni zaščitni ukrepi oziroma posebni pogoji polaganja. Pri prehodih cest in ulic z gostim prometom naj bo globina zgornjega roba cevi najmanj 0,5 m.

Odstopanje od normalne globine polaganja kablov je dovoljeno pri križanjih z drugimi podzemnimi inštalacijami ter pri paralelnem polaganju kablov različnih napetostnih nivojev v skupni jarek.

Za zmanjšanje medsebojnega vpliva paralelno položenih kablov (TK- TK, TK- EK, EK- EK) je treba upoštevati najmanjše dopustne medsebojne oddaljenosti - Tabela 33.

Če razdalje, ki jih podaja Tabela 33 ni mogoče zagotoviti, so dopustne tudi manjše razdalje ob izdelavi posebnega izračuna z upoštevanjem medsebojnih vplivov.

Jarek, v katerega se polagajo podzemni kabli, se koplje kot odprti jarek.

Pri prehodih trase kablov pod železniško in tramvajsko progo ali cestiščem pomembnejših prometnic, na katerih se promet ne sme ovirati, se izvaja z podvrtavanjem ali prebijanjem odprtine in naknadno uvleko kabla skozi cev.

Stene jarka so lahko navpične ali poševne. Jarki z navpičnimi stenami se kopljejo v zemljišču, ki se ne zasipava.

V sipkem zemljišču je potrebno stranice jarka kopati poševno in jih ustrezno pričvrstiti. Velikost nagiba je odvisna od vrste zemljišča, vlažnosti in vrste obremenitve, ki deluje na robovih jarka.

Izkop jarka se izvede ročno ali z ustrezno mehanizacijo.

Pri izkopu jarka ob cestišču se zemlja ne sme odlagati v odvodne kanale.

Odtočne jaške, ventile za plin in vodo, hidrante, jaške za TK vode in elektroenergetske vode se ne sme zasipavati z zemljo.

Za varnost pešcev in vozil je potrebno izkopani jarek kakor tudi vse druge gradbene jame predpisno označiti in zavarovati. Če ni cestne razsvetljave, je potrebno ponoči izkopani jarek označiti s svetlobno opozorilno signalizacijo.

Vhod v hiše in poslovne prostore se izvede z mostovi za ustrezno obremenitev in z ustrezno varnostno ograjo.

Ovire v kabelskih jarkih (zidovi, druge podzemne inštalacije, arheološke najdbe) moramo pazljivo obiti in zaščititi. Če je potrebno začasno odstraniti mejne kamne in merilne točke, je potrebno zagotoviti njihovo ponovno namestitev s strani pooblaščene organizacije.

Obstoječe postroje in objekte kot so: cestna razsvetljava, stebri, razdelilne omarice in podobno, katerih stabilnost bi bila pri izkopu ogrožena, je potrebno strokovno zavarovati v skladu z veljavnimi predpisi.

Stavbe in zidove, kjer se v neposredni bližini kopljejo jarki, je potrebno dobro podpreti. Kabel se polaga v oddaljenosti najmanj 0,6 m od temeljev in zidov zgradb, če se ne ogroža stabilnosti objekta.

Pri izkopu kabelskega jarka vzdolž drevoreda se priporoča oddaljenost najbližje stene jarka do debla 2,5 m (izsuševanje in vpliv korenin na kabel) - cevi

Vse podzemne inštalacije, ki so položene vzdolž jarka ali ga križajo, je potrebno pri večji širini jarka zaščititi.

V primeru, da vendarle pride pri delih do poškodb podzemnih inštalacij, je potrebno takoj obvestiti lastnika oziroma upravljalca.

Vse objekte in postroje je investitor dolžan vzpostaviti v prvotno stanje.

Lomljenje trase oziroma jarka ali spremembo globine jarka zaradi umika pred drugimi podzemnimi objekti je potrebno izvesti postopno in upoštevati polmer krivljenja kabla.

Dno jarka je potrebno zravnati in očistiti kamenja in drugih ostrih predmetov, ki bi lahko povzročili okvaro kabelskega plašča.

Dno jarka je potrebno prekriti s plastjo presejane zemlje, mivke ali drugega ustreznega materiala v debelini 10 cm, vanjo položiti kabel in ga prekriti z enako plastjo v debelini 10 cm (posteljica za kabel).

7.5.3 Polaganje NN kablov v prostorih

Pri vpeljavi kablov v zgradbe se mora jarek enakomerno dvigovati proti mestu uvoda. Izogibati se je potrebno strmim uvodom kablov v zgradbe.

Odprtino za uvod kabla v zgradbo je potrebno izdelati nad nivojem podzemnih kablov. V odprtino se namestijo zaščitne cevi (plastične, betonske, jeklene) ustreznega premera, ki se zatesnijo z za vodo neprepustnim materialom. Pri nameščanju cevi je potrebno zagotoviti blag naklon cevi proti zunanjemu zidu. Vidne dele jeklenih cevi je potrebno zaščititi pred korozijo.

Uvod kablov v zgradbo se pazljivo zapre z ustreznimi tesnili, ki preprečuje vstop plina ali vode. Pri kablih s plaščem gorljivih materialov je potrebno v prostoru odstraniti gorljivi sloj ali oplet in armaturo premazati z zaščitno barvo pred korozijo.

V prostorih se kabli polagajo glede na okoliščine s posebnimi zaščitnimi ukrepi. Na zidove se lahko kabli pritrdijo na jekleno konstrukcijo z ustreznimi objemkami. Kabel se ne sme poškodovati zaradi prevelikega pritiska objemk.

Pri pritrjevanju enožilnih kablov trifaznega sistema ne smemo uporabljati zaprtih jeklenih objemk, ampak objemke iz nemagnetnega materiala.

Vsi kovinski deli, ki se uporabljajo pri polaganju in pritrjevanju kablov, morajo biti kvalitetno zaščiteni pred korozijo. Kovinske nosilce in palice moramo ozemljiti. Armature kabelskih jaškov je potrebno variti (vsaj 30 %) ter z valjancem povezati z ozemljitvijo. Litoželezne pokrove, katerih površina presega 1 m^2, je prav tako potrebno povezati z ozemljitvijo.

V zgradbi se lahko kabli polagajo tudi v kabelski kanal.

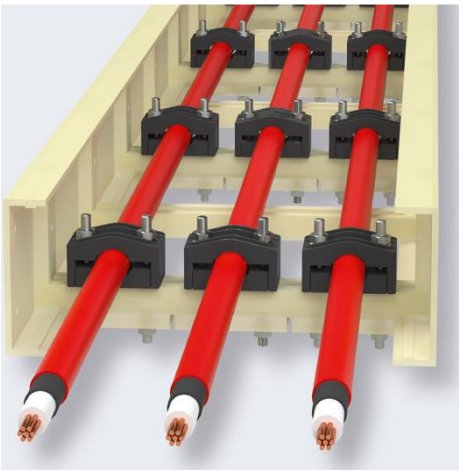
Dimenzije kanala se določijo po številu položenih kablov. Pri tem je potrebno paziti, da se z energetsko izgubo v kablu ne prekorači dopustne temperature zraka v kanalu in s tem tudi dopustne temperature kabla. Če je potrebno, se lahko uporabi tudi umetna ventilacija. Kabelski kanali so pokriti z montažnimi ploščami.

Ni dovoljeno obzidovati kablov v zidove ali konstrukcijske dele objekta.

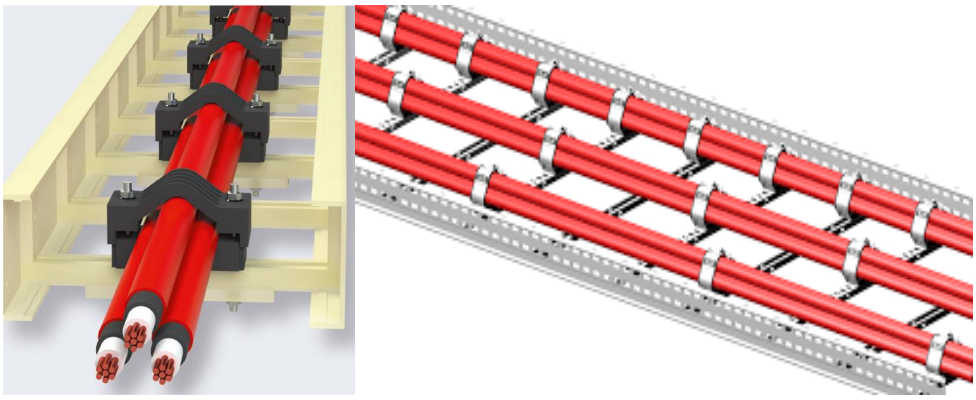
Kabli se lahko polagajo na perforirane kabelske police, ki so pritrjene na zid ali na samostoječe podstavke. Pri tem moramo omogočiti dobro odvajanje toplote. Razdalja med kabelskim policami mora biti pri elektroenergetskih kablih najmanj 20 cm oziroma je odvisna od konstrukcije kablov.

Razdalja med kabli posameznih faz pri polaganju v horizontalni ravnini ne sme biti manjša od premera posameznega kabla.

Pritrjevanje NN kablov z objemkami prikazujeta Slika 44 in Slika 45.



Slika 44: Pritrjevanje NN kablov z objemkami pri ravninski formaciji



Slika 45: Pritrjevanje NN kablov z objemkami pri trikotni formaciji

Slika 46: Polaganje NN kablov na krivinah

Načini polaganja kablov v cevi

Pri polaganju kablov v prostore je nujno upoštevati ustrezne protipožarne ukrepe za primer nastanka požara in njegovega širjenja. Pri polaganju v prostorih s povečano požarno ogroženostjo je potrebno uporabiti ustrezne kable, ki zagotavljajo dolgotrajno protipožarno odpornost v skladu s ustreznimi standardi.

7.5.4 Polaganje NN kablov za izmenični tok

Kablov z jekleno armaturo ne smemo uporabljati pri izmeničnem toku.

Za pritrditev kablov na izmenični tok ne smemo uporabljati objemk iz magnetnega materiala. Te se lahko uporablja, če so kabli pritrjeni na izolacijsko podlago tako, da z njo ne tvorijo zaprtega galvanskega kroga.

Če se kabli polagajo v jeklene cevi, tedaj nikakor ni dopustno polaganje enega kabla v eno cev, ampak veljajo za razne sisteme naslednji načini polaganja:

Pri enofaznem izmeničnem sistemu se polagata v cev oba kabla skupaj.

Pri trifaznem sistemu ali trifaznem sistemu z nevtralnim vodnikom se polaga vse tri oziroma štiri kable v isto cev.

Razporeditev oz. formacija kablov v trifaznem sistemu je lahko v obliki trikota ali v ravnini.

V primeru polaganja kabelskega sistema, ki ga sestavlja večje število kablov, je potrebno zagotoviti, da je induktivnost paralelno potekajočih kablov, ki pripadajo isti fazi, čim bolj enaka da ne bi prišlo do razlik med tokovi v kablih, ki pripadajo isti fazi. To se najlažje zagotovi, če se kable različnih faz med seboj poveže v posamezne sisteme in je razmik med kabli enega sistema manjši od razmika med kabli različnih sistemov. Razdalja med posameznima sistemoma mora biti približno dvakrat večja od razdalje med kabli, ki pripadajo istemu sistemu.

7.6 TRANSPORT IN SKLADIŠČENJE NN KABLOV

Kabli se transportirajo na kabelskih bobnih s predpisanimi polmeri krivljenja. Tudi pri previjanju krajših dolžin je potrebno uporabiti bobne enakih premerov. Krajše dolžine kablov se lahko prevažajo v zvitih kolutih z upoštevanjem minimalnega dopustnega premera krivljenja kabla. Konci kablov morajo biti vodo nepropustno zaščiteni z ustreznimi kapami.

Za transport in polaganje kabelskih bobnov se priporoča uporaba ustrezne kabelske prikolice in ustrezna tovorna vozila.

Kabelske bobne premeščamo previdno, da preprečimo poškodbe stranic bobna in kabla.

Bobni s premerom stranic 100 cm in več se prevažajo v delovnem položaju, medtem ko se bobni manjšega premera lahko položijo tudi na stranico.

Kabli smejo biti naviti na bobnu tako, da med zadnjim slojem kabla in vrhom stranice bobna ostane razmik najmanj 5 cm.

Transport kabla s kotaljenjem je dopusten samo na krajših razdaljah. Teren mora biti raven in brez kamenja. Kotaljenje bobna je dopustno le v smeri puščice na stranici bobna in le, ko je kabel na bobnu čvrsto navit, konci kabla pa pritrjeni na stranico bobna ali če je boben blindiran.

Če je teren vlažen ali mehak je potrebno pod boben položiti debele (5 cm) deske.

Kabelske bobne ne smemo kotaliti oziroma nositi na drogu.

Na gradbišču je potrebno bobne zavarovati pred nehotenim kotaljenjem (priloga A30).

Kable je potrebno skladiščiti skladno z navodili proizvajalca na pokritem mestu in zavarovati pred direktnimi sončnimi žarki, atmosferskimi vplivi, gnilobo ter možnostjo poškodb. Vsak kabelski boben mora imeti napisno ploščico z vtisnjenimi podatki o kablu: tip kabla, število in presek žil, nazivno napetost, težo in dolžino kabla, leto izdelave in številko kabelskega bobna.

7.7 SEGREVANJE NN KABLOV

Najnižja priporočljiva temperatura pri polaganju kablov je do + 5°C ali pa se upošteva navodila proizvajalca. Standard HD 603 S1/A3 Part 5 G dopušča najnižjo temperaturo za polaganje kablov s PVC plašče -5°C in kablov s PE plašče -20°C. Pri nižjih temperaturah je potrebno kabel predhodno segreti. Enako velja tudi za montažo spojk in končnikov.

V primeru polaganja pri nižjih temperaturah je potrebno kabel predhodno segreti.

a Segrevanje kablov v toplih prostorih. Kabelski boben se pusti v toplem prostoru.

Če je temperatura prostora:

- med +5°C do +10°C pustimo kabel v tem prostoru 2 ur
- med +10°C do 20°C pustimo kabel v tem prostoru 48 do 40 ur
- med +20°C do +25°C pustimo kabel v tem prostoru 36 do 24 ur

b Segrevanje z električnim tokom se izvaja tako, da se vse žile kabla povežejo paralelno, razen četrte nevtralne žile, če je ta manjšega prereza in se ga priključi na varilni aparat ali posebni transformator napetosti 400/230/7 V.

- Tok segrevanja lahko znaša okrog 1 A/mm².
- Temperaturo segrevanja je potrebno kontrolirati s termometrom na površini kabla in lahko za kable do 1 kV znaša maksimalno 40°C.
- Čas segrevanja je odvisen od jakosti toka in se giblje okrog 50 minut. Pri tem načinu segrevanja morata biti dostopna oba konca kabla.

7.8 ODVIJANJE IN POLAGANJE NN KABLOV

Pred odvijanjem in polaganjem kablov je potrebno preveriti:

- pravilnost zaščitnih kap na koncih kabla,
- stanje plašča kabla na zunanji plasti,
- ali obstaja možnost morebitne poškodbe zunanjega plašča pri odvijanju,
- splošno stanje kabelskega bobna.

Prav tako je potrebno preveriti napisno ploščico na bobnu, oznake na zunanjem plašču kabla in ugotoviti skladnost tipa kabla, obratovalne napetosti, prereza in tipa vodnika ter dolžine kabla s projektiranimi podatki za določeno kabelsko traso.

Za odvijanje kabla je potrebno dvigniti boben s tal na kabelski podstavek ali prikolico, ki omogoča prosto vrtenje bobna brez poškodb zunanje plasti kabla. Kabel se odvija s počasnim in enakomernim vlečenjem z gornje strani bobna tako, da je smer odvijanja nasprotna smeri puščice na bobnu (priloga A31). Pri odvijanju je potrebno zagotoviti možnost zaviranja bobna. Postopek odvijanja kabla z bobna in njegovo polaganje v izkopani jarek je odvisen od delovnega mesta, preprek v jarku in zraven njega ter od razpoložljive mehanizacije.

Mesto postavitve kabelskega bobna odnosno podstavka se prilagodi okoliščinam terena in predvidenemu načinu polaganja v neposredni bližini jarka.

Polaganje kabla v jarek se lahko izvede na več načinov:

Ročno polaganje kablov (primerno za krajše dolžine do 300 m in pri ostrih lomih trase).

Kabel se odvija s kabelskega bobna in položi direktno v kabelski jarek ali na tla poleg njega v kolikor to ni mogoče.

Odviti kabel nosijo delavci na rokah. Število delavcev se določi tako, da znaša obremenitev na enega delavca do 20 kg. Pri tem je potrebno paziti na minimalne dopustne polmere krivljenja kabla in da se kabel ne sme vleči po tleh. Na težjih mestih je potrebno večje število delavcev.

Pri ročnem polaganju kabla je možna tudi uporaba valjev. Razpored valjev določa sama trasa. Pogoj je, da se kabel ne vleče po tleh in da se ne prekorači dopustnega polmera krivljenja.

Kabel se ne sme vleči preko trdih in ostrih predmetov in robov.

Polaganje kabla z vitlom (strojno polaganje kabla) se dopušča na trasi, kjer ni ovir in krivin. Kabel se vleče preko vrtljivih valjev, ki so nameščeni na dnu jarka v razmiku od 4 do 6 m odvisno od tipa in teže kabla na meter. Vlečna vrv je z vlečno nogavico povezana s koncem kabla. Velikost vlečne nogavice je odvisna od premera kabla. Po polaganju se mora dolžina kabla, ki jo je objela vlečna nogavica, odstraniti in ponovno zatesniti konec kabla, če se takoj ne izdela kabelski končnik.

Pri polaganju kabla z vitlom na daljših in težjih trasah, kjer so potrebne večje vlečne sile, se kabel pričvrsti na same vodnike z zatezno sponko.

V primeru polaganja kabla na lomljeni trasi je potrebno uporabiti kotne valjčke oz. valjčno progo. Na mestih, kjer ni mogoče postaviti valjev, nosijo kabel delavci na prej opisani način.

Pred strojnim polaganjem kablov je potrebno določiti silo vlečenja kabla glede na dolžino kabla, koeficient trenja, lomljenja in nagib trase.

Velikost obremenitve kabla glede na raztezek in natezanje, ki ga povzroča vlečna sila, sta odvisna od:

- tipa in konstrukcije kabla,
- teže kabla na enoto dolžine ali dolžine kabla za določeno traso,
- od koeficienta trenja med kablom in vrtečimi se valji, steno jarka ali cevi,
- od smeri vlečne sile in poti kabla pri spremembah trase,
- od profila in načrta trase odnosno polmerov zakrivljenosti trase v vodoravni in navpični ravnini.

Snemanje kabla z valjev po polaganju je potrebno pričeti od bobna v smeri vlečenega konca kabla.

Pri odvijanju in transportu kabla je potrebno upoštevati minimalni dopustni polmer krivljenja kablov, ki ga prikazuje Tabela 36. Polmeri krivljenja, ki jih prikazuje Tabela 36, so lahko izjemoma manjši za 30 %, če se krivljenje izvaja preko šablon ali če se krivi kabel pred kabelskimi končniki.

Kabel se polaga v jarek valovito, še posebej v razgibanem terenu. Tako je dolžina položenega kabla za približno 3-5 % daljša od dolžine trase.

Pri paralelnem polaganju več kabelskih sistemov je potrebno zadržati paralelnost poteka z določenim razmikom vzdolž skupne trase brez medsebojnega križanja.

Po delnem in pred popolnim zasutjem kabla je potrebno izvesti:

- napetostni preskus zunanjega plašča,
- napetostni preskus glavne izolacije kabla po namestitvi spojk,
- ponovni napetostni preskus plašča,
- posneti natančen potek trase kablovoda, označiti križanja z ostalimi objekti, mesta spojk in točno dolžino kabla.

Na koncih položenega kabla je potrebno obvezno namestiti ploščice za oznako kabla. Enožilni kabli se ne smejo označevati z objemkami iz feromagnetnega materiala.

Ploščice in pritrdilni material za označevanje kablov so izdelane iz obstojnega materiala in morajo vsebovati naslednje podatke o kablovodu.

- presek,
- naziv kablovoda,
- napetostni nivo,
- dolžina,
- smer,
- označbo faz.

7.9 POLAGANJE NN KABLOV V KABELSKO KANALIZACIJO

Kabel se polaga na podlago debeline 10 cm iz drobnega peska ali mivke ali mletega peska granulacije od 0 do 4 mm ter zasipava s slojem zemlje ali drobnega peska debeline najmanj 10 cm. Pri zasipavanju je potrebno zasipni material nabijati v slojih.

Nad kablom je na primerni višini potrebno položiti mehansko opozorilno zaščito kabla (plastične ščitnike, mrežo ali opeko). Mehanska zaščita se polaga na prvi prekrivni sloj.

Odvisno od globine polaganja kabla se 40 do 60 cm nad njim položi po celotni dolžini trase plastični opozorilni trak.

Opozorilni trak je izdelan iz folije mehkega polivinilklorida ali polietilena rdeče barve oziroma podobnega obstojnega materiala. Na eni strani po sredini je vtisnjeno opozorilo z velikimi črkami v črni barvi.

POZOR ENERGETSKI KABEL

Napis se ponavlja z razmikom 10 cm in je potiskan v obratni smeri na isti strani traku. Za trak, ki je izdelan iz dveh folij, mora biti napis vtisnjen na površini med folijama, ki sta med seboj termično zvarjeni, tako da je napis viden z zunanje strani.

Material za trak in barva za napis morata biti odporna proti vodi in kemikalijam v zemlji, obstojna in mehansko zdržljiva in ne smeta pokati na mrazu. Življenjska doba traku mora biti enaka življenjski dobi kabla.

Jarek se zasipava z odkopanim materialom po prvem sloju zdrobljene zemlje ali peska tako, da se najprej uporabi rahlo zemljo brez kosov kamenja, betona, opeke ali podobno. Zasipavati je potrebno v slojih po 20 cm s pazljivim nabijanjem neposredno nad kablom. Nabijanje materiala se izvaja z motorno napravo s pogojem globinskega delovanja do 30°cm.

Kabel zaščitimo z uvlekom v cev v naslednjih primerih:

- pri križanju trase kabla s prometnimi potmi, železniškimi ali tramvajskimi progami,
- pri prekoračitvi dopustne minimalne oddaljenosti kabla od ostale infrastrukture,
- pri možni mehanski okvari kabla,
- pri približevanju elektroenergetskih vodov in postrojev,

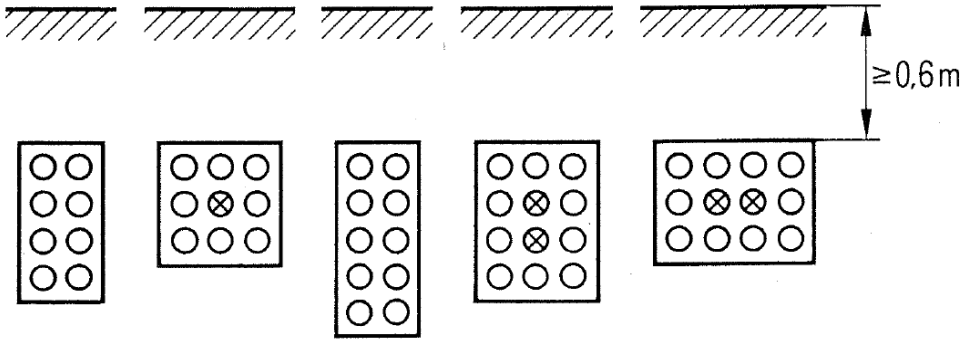
- za zaščito kablov pred blodečimi tokovi.

Kovinske cevi se uporabljajo za zaščito kablov pri križanju z visokotlačnim cevovodom, mostnih konstrukcijah, telefonskih vodih ali pri možnih pogostih mehanskih okvarah kabla.

Pri polaganju kablov v kabelsko kanalizacijo mora biti minimalni nazivni notranji premer cevi najmanj 1,5 krat večji od premera kabla. Priporočajo se premeri cevi:

- 110 do 160 mm — za kable nazivne napetosti U_0/U = 0,6/1 kV
- 2 x 50 mm — za optični kabel

Dovoljene so naslednje razmestitve kablov v kabelski kanalizaciji:



Slika 47: Dovoljene razmestitve kablov v kabelski kanalizaciji

Za cevno kabelsko kanalizacijo se izdela najprej podlaga iz suhega betona C 12/15 debeline 10 cm, na katero se polagajo cevi. Cevi je potrebno zatesniti in izvesti brez mehanskih robov ter spoje zaliti s cementnim mlekom. Če se cevi polaga v več vrst, morajo biti spoji cevi razmaknjeni. Neuporabljene cevi se lahko uporabijo za optične kable. Po spojitvi je potrebno cevi prekriti s suhim betonom debeline 10 cm (priloga A12).

Če se izvaja prehod na že položenih kablih, tedaj se mehanska zaščita izdela z ustreznimi polcevmi iz enakega materiala, kot so cevi. Prehod je možno izvesti tudi s prerezanimi PVC cevmi. Postopek za vgradnjo polcevi je enak kakor za vgradnjo cevi.

Pri vgradnji cevi za prehode je potrebno upoštevati bodočo razširitev omrežja z vgradnjo rezervnih cevi.

Če se v kabelsko kanalizacijo polagajo kabli različnih napetostnih nivojev, se kabli nižjih napetosti polagajo v manjši globini, to je v višjih slojih kanalizacije.

Kabli, ki se polagajo prvi, zavzamejo najnižje odprtine v kanalizaciji. Cevne odprtine je potrebno zapreti, da ne pride do zasipavanja.

Vgradnja cevi za prehode pod cesto (ali pod cestami ali pod prometnicami) praviloma ne sme motiti prometa.

Na mestih prehoda kabla s čvrste podlage na mehkejšo in obratno je potrebno zavarovati kabel pred morebitno poškodbo z izdelavo blazinic steptane zemlje pod kablom (priloga A13).

Če se kabelska kanalizacija postavlja na daljšem sektorju, je potrebno po določenih razmikih zgraditi kabelske jaške. Ti se izdelujejo tudi:

- na kotih lomljenja kabelske kanalizacije,
- na koncih kabelske kanalizacije pri križanjih z magistralnimi mestnimi prometnicami.

Razmik med kabelskimi jaški na daljšem ravnem sektorju kabelske kanalizacije določa izraz:

$$L = \frac{F_V}{f \times g} [m] \tag{7.1}$$

kjer je:

F_v	potrebna vlečna sila kabla	[da N]
f	koeficient trenja pri postavitvi valjčkov s krogličnimi ležaji v razmiku 3-4 m	[-]
L	razmik med kabelskimi jaški	[m]
g	specifična teža kabla (teža kabla na enoto dolžine)	[kg/m]

V primeru ročnega polaganja kablov, je razdalja med jaški pogojena z vlečno silo delavcev, ki vlečejo kabel in v praksi ne presega 70 m.

Kabelski jaški se izdelujejo v različnih velikostih, kar je odvisno od števila in prereza kablov, napetostnega nivoja, minimalnih delovnih pogojev in dopustnega polmera krivljenja. Globina jaška je odvisna od situacije na terenu, vendar ne sme biti globlja od 4 m.

Kabelske jaške je potrebno konstruirati po statičnem izračunu. Minimalna odprtina litoželeznega pokrova je 65 x 65 cm. Na dnu jaška mora biti drenažna odprtina, na bočni steni se pritrdijo stopnice iz jeklenih palic ali drugega materiala. Bočne stene so iz betona ali primernega obstojnega materiala (npr. trda plastika).

Za prehod kablov pod pomembnimi prometnicami, križanji in podobno, oziroma pri polaganju večjega števila kablov se lahko uporabljajo povozni kanali (kinete), izvedeni po statičnem izračunu.

Če se kabel vleče skozi ravne cevi ali bloke, položene v vodoravni ravnini, določa vlečno silo izraz:

$$F_v = f \times g \times L \, [daN] \tag{7.2}$$

kjer je:

F_v	vlečna sila kabla	[da N]
f	koeficient trenja	[-]
g	teža kabla na enoto dolžine	[kg/m]
L	dolžina kabla	[m]

V primeru, da je bil kabel do vhoda v cev že obremenjen s silo F_1, potem je potrebna vlečna sila za uvlek kabla sledeča:

$$F_v = F_1 + f \times g \times L \; [daN] \tag{7.3}$$

kjer je:

F_1 predhodna obremenitev kabla [kg/m]

Pred uvleko kabla moramo poskrbeti za normalne pogoje dela:

- dvig pokrovov s kabelskih jaškov,
- kontrola vsebnosti škodljivih plinov,
- ventilacija,
- razsvetljava,
- čiščenje jaška in odstranjevanje vode,
- kontrola prehodnosti cevi.

Pri uvleki kablov v cevi je potrebno upoštevati tudi vrednosti koeficientov trenja med različnimi materiali in povečanje vlečnih sil zaradi preloma trase.

Da bi se izognili križanju kablov v kabelskih jaških je potrebno polagati kable po navpičnih vrstah od spodaj navzgor. Kable moramo razporediti tako, da je odprtina za vhod v jašek prosta. Kabli nižjega napetostnega nivoja zasedejo praviloma zgornje cevi.

7.10 PRIBLIŽEVANJE IN KRIŽANJE NN KABLOV Z OBJEKTI, PROMETNIMI POTMI IN INŠTALACIJAMI

Pri križanjih in približevanjih kablovoda s prometnimi potmi je potrebno upoštevati veljavne predpise, zahteve upravljavca prometnih poti ter zahteve upravljavca elektroenergetskega omrežja.

Na prehodih preko prometnic kakor tudi na vseh tistih mestih, kjer se pričakuje večja mehanska obremenitev tal, oziroma možnost mehanske okvare, se kabli polagajo v kabelsko kanalizacijo, če niso posebne konstrukcije. Kabelska kanalizacija se izdeluje iz betonskih ali plastičnih cevi ali se sestavlja iz že izdelanih plastičnih ali betonskih elementov. Prehodnost cevi je izvajalec dolžan preveriti in izdati izjavo o prehodnosti cevi.

Na mestih križanj je kabelsko kanalizacijo potrebno praviloma postaviti pravokotno na os prometnice v smeri podaljška trase kabla in samo izjemoma je dovoljeno odstopanje 30°.

Kabelska kanalizacija je na vsaki strani cestišča daljša minimalno 0,5 m od roba cestišča. Če kabelska trasa preseka tudi pločnik in se nadaljuje v zelenem pasu, je potrebno kabelsko kanalizacijo zaključiti v zelenem pasu.

Širina in globina jarka za kabelsko kanalizacijo sta odvisni od števila položenih kablov oziroma cevi, ki so lahko položene v eni ali več ravninah.

Razmik med gornjim robom najvišje cevi in kote pločnika oziroma cestišča sme biti najmanj 0,8 m.

Polaganje cevi pod prometnicami se izvaja z neposrednim kopanjem jarka v prometnici, vrtanjem ali z izdelavo tunela pod prometnico. Pri prvem načinu polaganja se dela izvajajo v več etapah, večinoma v dveh, tako da se promet odvija po prosti polovici ceste.

Križanje infrastrukturnega voda z asfaltiranimi kategoriziranimi lokalnimi cestami se v primeru naknadne gradnje posameznega voda načeloma izvede s podvrtavanjem, če se upravljavec cestnega omrežja in investitor ne dogovorita drugače, križanja z nekategoriziranimi lokalnimi cestami in potmi pa se izvedejo s prekopom.

V primerih, v katerih ni dopustno niti delno oviranje prometa, kot so železniške in tramvajske proge, avtoceste in podobno, kjer bi kopanje in vzpostavljanje prvotnega stanja površine povzročalo zaradi njene visoke kvalitete velike stroške, je potrebno cevi za prehod vgraditi s podvrtavanjem.

Strojna vgradnja se lahko izvaja s hidravličnimi stiskalnicami, jeklenim trnom, svedrom za zemljo in podobno (postopek horizontalnega podvrtavanja).

7.11 SPAJANJE IN ZAKLJUČEVANJE NN KABLOV

7.11.1 Splošna določila

Kabelski pribor za spajanje in zaključevanje kablov vsebuje:

- pribor za spajanje vodnikov, čevljev, tulcev, razne sponke,
- kabelske spojke: ravne, prehodne, ali odcepne,
- kabelske končnike: za notranjo montažo, zunanjo montažo.

Kabelski pribor mora biti obratovalno zanesljiv tako kot sam kabel. Dimenzioniran mora biti ne samo na električne in mehanske obremenitve, ampak tudi na pričakovane vplive okolice, kot so vlaga, korozija, ozon, ultravijolično sevanje, razne nečistoče.

Vsak kabelski pribor mora imeti ustrezni atest o tipskih preskusih.

Montažna dela pri vgradnji kabelskega pribora lahko izvajajo samo kvalificirane osebe, ki poznajo posamezne funkcije elementov kabla in kabelskega pribora.

Pri spajanju in zaključevanju kablov se moramo izogniti večkratnemu krivljenju in ravnanju kabla ter toplotnemu pregrevanju kabla.

Pri odstranjevanju posameznih plasti kabla se je potrebno obvezno ravnati po navodilih proizvajalcev kablov, kabelskega pribora in pri tem uporabljati ustrezno orodje.

7.11.2 Spajanje in zaključevanje vodnikov pri NN kablih

Spajanje in zaključevanje vodnikov kabla se izvaja po eni od naslednjih metod:

- s stiskanjem (šest kotno stiskanje ali stiskanje z globokim vtiskovanjem),
- z vijačenjem.

Pribor za spajanje vodnikov s stiskanjem kakor tudi pribor za izdelavo vijačnih spojev mora imeti tipski atest.

Kabelski čevlji morajo biti izdelani tako, da skupaj s kabelskimi končniki tvorijo vzdolžno neprepustnost kabla za vodo. Za zaključevanje nizkonapetostnih kablov za notranjo montažo se lahko uporabljajo tudi cevni čevlji v izvedbi vzdolžne neprepustnosti za vodo. Čevlji in tulci za spajanje vodnika morajo biti izdelani v tehniki, stiskanja ali vijačenja.

Spojni tulci, čevlji in sponke oziroma celotni kabelski pribor za spajanje vodnikov mora vsebovati naslednje oznake:

- ime proizvajalca,
- kataloško številko.

Oznake morajo biti nanešene trajno brez možnosti brisanja ali odstranjevanja.

Za spojne tulce in čevlje, ki so predvideni za vgradnjo s stiskanjem, mora biti določeno številka orodja za stiskanje, oznaka mesta stiskanja in število stiskanj.

Pri izdelavi prehodnih spojev med kablom z izolacijo iz umetnih mas in kablom z izolacijo iz impregniranega papirja je potrebno obvezno uporabiti spojne tulce s pregradno steno.

Vsi prehodi aluminijevih vodnikov na bakrene kakor tudi priključevanje aluminijevih vodnikov na električne postroje ali aparate, morajo biti izvedeni z ustreznimi Al-Cu veznimi tulci in čevlji ali pokositreni.

Za priključitev kabelskih vodnikov na vodnike nadzemnega omrežja se uporabljajo sponke, ki zagotavljajo kvalitetne spoje in nepropustnost kabla za vodo (ali vodonepropustnost). Vsi takšni spoji morajo biti razstavljivi zaradi kasnejših intervencij v omrežju.

Spajanje in zaključevanje vodnikov s postopkom vijačenja se izvaja z vijaki z momentno glavo, s postopkom stiskanja pa se izvaja s specialnimi hidravličnimi stiskalnicami z uporabo ustreznega orodja, ki ga je predpisal proizvajalec kabelskega pribora za spajanje vodnikov.

Spajanje kablov se izvaja z ustreznimi kabelskimi spojkami odvisno od konstrukcije in izolacije kablov.

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 dobavljajo spojke, 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, kateri tvorijo en komplet.

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

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

- toploskrčne kabelske spojke,
- hladnoskrčne kabelske spojke.

7.11.3 Zaključevanje NN kablov

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.

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, kateri tvorijo en komplet.

Konstrukcija kabelskega končnika mora omogočati montažo pri temperaturi najmanj°+5°C. V primeru nižjih temperatur je potrebno upoštevati posebna navodila proizvajalca.

Za zaključevanje NN kablov se uporabljajo naslednji kabelski končniki:

- toploskrčni kabelski končniki,
- hladnoskrčni kabelski končniki.

7.12 ZAŠČITA NN KABLOV PRED BLODEČIMI TOKOVI

Vsebina je obravnavana v poglavju 6.14.

7.13 PRENAPETOSTNA ZAŠČITA NN KABLOV

Prenapetosti v električnih omrežjih so posledica udarov strel ali stikalnih operacij, katerim se v večini primerov ne moremo izogniti. Tematika je obravnavana v SODO T 10: Omrežni NN odvodniki.

8 VN KABLI

8.1 OZNAČEVANJE VN KABLOV V SKLADU S SIST HD 632 S3 PART 4 D

Oznako kabla sestavlja skupina črk in številk, ki po vrsti označujejo konstrukcijo kabla od sredine kabla (vodnik) navzven (plašč).

Ne označuje se: vodnik iz bakra, izolacija iz papirja, notranji in zunanji prevodni plašči, skupni koncentrični kovinski zaslon-ekran.

	-A	2X	S	(FL)2Y	1	x	1000/55	RM	64/110 kV
1	2	3	4	5	6		7	8	9

Mesta po številkah uskladiti iz tipizacije

1-	N	kabel označen v skladu s sekcijo standarda SIST HD 632 S3 Part 4 D
2-	A	vodnik iz aluminija
	-	vodnik iz bakra (brez označbe)
3-	2X	izolacija iz termostabilnega (omreženega) polietilena (XLPE)
4-	S	kovinski zaslon-ekran iz bakra
	SE	oklop iz bakra za vsako žilo posebej pri trižilnem kablu
5-	Y	PVC plašč
	2Y	PE plašč
	(F)2Y	vzdolžna vodna zapora s PE plaščem
	(FL)2Y	vzdolžna in prečna vodna zapora s Al/PE plaščem
	(FB)2Y	vzdolžna in prečna vodna zapora s Cu/PE plaščem

Oznake za obliko vodnika:

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

Primer: Oznaka NA2XS2Y 1 x 240 RM/25 18/30 kV pomeni:

N	kabel označen v skladu s sekcijo standarda SIST HD 632 S3 Part 4 D
A	vodnik iz aluminija (pri vodniku iz bakra ni oznake)
2X	izolacija iz XLPE
S	kovinski zaslon-ekran iz bakra
2Y	plašč iz PE

1 x 240	kabel je enožilen, prerez vodnika je 240 mm^2
RM	večžičen okrogel vodnik
25	prerez kovinskega zaslona-ekrana je 25 mm^2
18/30	(dozemna/medfazna) napetost v kV

Dodatna oznake za armaturo:

AWA	Aluminium wire armoured
SWA	Steel wire armoured

Označevanje VN kablov v skladu s standardom SIST HD 632 S3 ni enotno (common marking: under consideration) pač pa je način označevanja podan ločeno v posameznih sekcijah, ki pripadajo posameznim državam članicam CENELEC. V sekciji 4 D, ki pripada Nemčiji, je označevanje skladno z opisom iz točke 3.5.

Enoten je le princip in tehnološki postopek izvedbe označitve (indication of origin). Označitev mora biti kontinuirana vzdolž kabla. Predpisana je razdalja med posameznimi označitvami vzdolž kabla. Presledek med koncem predhodne oznake in začetkom naslednje ne sme presegati 550 mm, razen če je v posameznih sekcijah določeno drugače. Dodatne označbe so predpisane v posameznih sekcijah.

8.2 PRIMERI OZNAČEVANJA VN KABLOV

Kabel z izolacijo iz omreženega polietilena (XLPE), s polprevodnima plastema okrog vodnika in izolacije, s plaščem iz polietilena (PE), vzdolžno vodno zaporo in z električnim kovinskim zaslonom v obliki ovoja ali opleta iz bakrenih žic prereza 95 mm^2, z enim vodnikom iz aluminija prereza 1000 mm^2, za nazivno napetost 64/110 kV se označuje:

NA2XS(F)2Y 1 x 1000 RM/95 64/110 kV

Kabel z izolacijo iz omreženega polietilena (XLPE), s polprevodnima plastema okrog vodnika in izolacije, s plaščem iz polietilena (PE), vzdolžno in prečno vodno zaporo in z (kovinskim zaslonom) električno zaščito v obliki ovoja ali opleta iz bakrenih žic prereza 150 mm^2, z enim vodnikom iz bakra prereza 2500 mm^2, za nazivno napetost 64/110 kV se označuje:

N2XS(FL)2Y 1 x 2500 RM/150 64/110 kV

V posebnih primerih, ko se kabel polaga v izrazito nevihtnih območjih, se priporoča uporaba kabla za nazivno napetost 64/110 kV z zunanjim plaščem iz polprevodnega polietilena, preko katerega je nameščen dodatni kovinski zaslon ustreznega preseka.

8.3 PRESKUŠANJE VN KABLOV

Preskušanje VN kablov se opravi po določbah IEC 60840:2020 točka 16.3 in tabela 4 in drugih standardov, na katere se predmetni standard sklicuje. Preskušanje se opravi z izmenično napetostjo iz tujega vira s frekvenco med 20 Hz in 300 Hz. Pri dolgih kablovodih se lahko frekvenca po dogovoru z naročnikom zniža na 10 Hz. Prav tako se lahko po dogovoru med izvajalcem in naročnikom uporabi nižja preskusna napetost in krajši čas preskusa.

8.4 IZBIRA VN KABLOV

Konstrukcija izbranih tipov kablov za napetosti 64/110 kV mora ustrezati zahtevam IEC 60840:2020, oz. v kolikor ni v prvem določeno se uporabi standard SIST HD 632 S3 :2016.

Obremenljivost daljših kablovodov je možno povečati z izvedbo navzkrižnega prepleta kovinskih zaslonov (angl. Cross-bonding). S tem se znižajo zančni tokovi po kovinskih zaslonih, ki se inducirajo v njih zaradi toka, ki teče po vodniku tega kabla, in vpliva sosednjih vodnikov.

8.4.1 Splošne določbe izbire VN kablov

V omrežju nazivne napetosti $U = 110$ kV se uporabljajo enožilni kabli nazivne napetosti $U_0/U = 64/110$ kV.

Najvišjo dopustno trajno delovno temperaturo vodnika in najvišjo dopustno temperaturo vodnika v kratkem stiku prikazuje Tabela 4.

Nazivni prerez faznega vodnika pri VN kablu niso določeni v standardih, tipično pa se uporabljajo naslednji nazivni prerezi : 240, 300, 500, 630, 800, 1000, 1200, 1500, 2000 in 2500°mm^2, izjemoma nekateri proizvajalci izdelujejo tudi 3000 mm^2.

Izolacija vodnika pri VN kablih mora ustrezati zahtevam standarda IEC 60840:2020 in enako tudi za konstrukcijo izbranih tipov kablov za napetost $U_0/U = 64/110$ kV.

8.5 DOPUSTNE OBREMENITVE VN KABLOVODOV

8.5.1 Splošno o nazivni tokovni obremenitvi VN kablovodov

Tokovna obremenitev kablovoda je pogojena z njegovo tokovno obremenljivostjo. Ta je omejena z velikostjo izgub oziroma s sposobnostjo odvajanja izgubne toplote v okolico. S tokovno obremenljivostjo se označuje največji dovoljeni tok pri nazivnih obratovalnih pogojih. Ta je pri določenem kablu odvisen od načina polaganja in obratovanja. Bistvene vplivne veličine so potek obremenitve, temperatura okolice, toplotna upornost medija, v katerega je kabel položen (tla, zrak ali cevi), način hlajenja (naravno ali prisilno) in način polaganja (razdalje med fazami, njihova razporeditev in število sistemov).

Pri projektiranju VN kablovodov z visokimi prenosnimi močmi je zelo pomembno zagotoviti enakomerno termično obremenitev (ustrezen termični profil) vzdolž kablovoda, ki ohranja kontinuirano odvajanje toplote z vseh elementov in odsekov kablovoda, še posebej z mest s povečanimi izgubami in večjimi termičnimi upornostmi kot so spojke in križanja ter paralelni poteki z drugimi infrastrukturnimi vodi in objekti.

Pri projektiranju kablovodov je potrebno upoštevati, da je odvod toplote odvisen od konstrukcije in dimenzij kabla, vrste toka in napetosti, od temperature medija, v katerem je kabel položen, in od toplotne upornosti tega medija.

V normalnem obratovanju kablovodov se toplota razvija v vodniku, izolaciji, prevodnih plasteh, kovinskem plašču in armaturi.

Potrebno je upoštevati tudi vpliv urbanizacije in umetno ustvarjenih preplastitev površin z za vodo nepropustnimi materiali (asfaltne in betonske preplastitve itd.) ter meteorne kanalizacije, ki lahko bistveno spremenijo naravne toplotne tokove in odtekanje padavinskih vod, kar predstavlja povečano nevarnost izsušitve zemljine. V navedenih primerih je potrebno uporabiti posebne termično stabilne zasipne materiale z majno specifično toplotno prevodnostjo tudi v suhem stanju.

Kablovode, ki so pomembni za zagotavljanje obratovalne zanesljivosti omrežja, se pogosto opremi s sistemom za spremljanje (merjenje) termične obremenitve kablovodov, ki deluje na principu merjenja temperature vzdolž kablovoda s pomočjo optičnih vlaken.

Uporabljajo se enorodna ali večrodna optična vlakna. Enorodna optična vlakna se odlikujejo po majhnem slabljenju, zato so primerni za uporabo pri kablovodih večjih dolžin do 30°km. Njihova natančnost pri merjenju temperature je 2°C, pri določitvi lokacije pa 10 m. Natančnejše meritve omogočajo večrodna optična vlakna, in sicer merjenje temperature z natančnostjo 1°C, lokacijo pa je mogoče določiti z natančnostjo 1 m. Zaradi večjega slabljena je njihova uporaba omejena na dolžine do 10 km.

Zadostuje, da je z optičnimi vlakni opremljen le kabel ene faze. Pri trikotni formaciji se z optičnimi vlakni opremi kabel, ki je najvišje, pri ravninski formaciji pa kabel v sredini. Sistem je mogoče namestiti izven kabla ali pa izbrati konstrukcijo kabla, ki že vsebuje vgrajeno cevko, v kateri je nameščen optični kabel. Pri namestitvi zunaj kabla je najboljša rešitev namestitev optičnega kabla direktno na površino kabla. Optični kabel je potrebno pritrditi na površino kabla z ustreznimi trakovi. Taka namestitev je mogoča pri polaganju v odprt kabelski jarek predno se kabel zasuje. Optični kabel se lahko namesti tudi v dodatno cev, vendar se s tem zmanjša natančnost meritve.

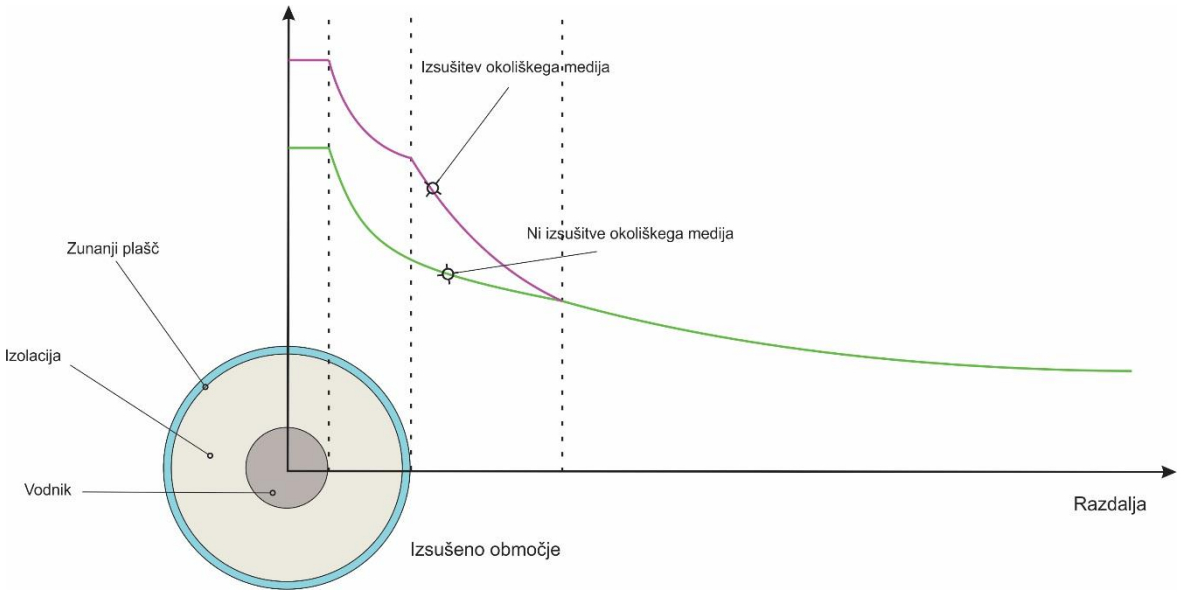
8.5.2 Določitev termičnega profila pri delnem izsuševanju

Če je tokovna obremenitev kablovodov presežena za daljši čas, se lahko pojavi izsušitev okoliške zemljine. To je mogoče preprečiti ali vsaj močno zmanjšati z ustrezno izbiro termično

stabilnih zasipnih materialov in izvedbo ustreznega kompaktiranja posameznih slojev ter izvajanjem monitoringa temperature površine kabla ali okoliške zemljine.

Za izračun tokovne obremenljivosti v primeru, ko nastopi izsuševanje, je potrebno poznati temperaturo površine kabla ter temperaturo mejne izoterme, ki omejuje izsušeno področje.

Obremenljivost kablovoda pri delnem izsuševanju se razlikuje glede na tip obremenitve. **Pri spremenljivi obremenitvi je obremenljivost večja kot pri konstantni obremenitvi**. Pri konstantni obremenitvi se po določenem času obratovanja oblikuje konstanten termični profil, ki ga prikazuje Slika 48, s katere je razvidno, da je upadanje temperature od površine kabla proti temperaturi okolice približno logaritmično.



Slika 48: Porazdelitev temperature v okolici enožilnega kabla v primeru izsušenega in ne izsušenega zemljišča

Zgoraj opisan proces izsuševanja ni trenuten ampak traja nekaj tednov ali celo mesecev do vzpostavitve stacionarnega stanja. Njegova časovna konstanta je odvisna od sestave tal, pogostosti padavin in velikosti izgub oziroma obremenitve kablovoda. Teoretično se lahko zgodijo spodaj opisani trije scenariji.

- Stopnja vsebnosti vlage in s tem toplotna upornost v bližini kabla ostane nespremenjena, zato ne pride do izsušitve zemljišča.
- V primeru močnejšega izparevanja se ne izsuši le neposredna okolica kabla, ampak tudi zemljina v večji oddaljenosti od kabla. Posledica je trajno povečanje toplotne upornosti zasipnega materiala. Zaradi tega se zmanjša sposobnost oddajanja toplote in poviša temperatura kabla, kar povzroči še intenzivnejše izsuševanje in s tem razširitev izsušenega področja. Če se proces nenehno ponavlja, pride do termične nestabilnosti in pospešenega staranja kabla, ki lahko pripelje do “termičnega preboja kabla”.
- Izparevanje povzroči izsušitev zemljine v zelo ozkem pasu okoli kabla (nekaj cm), kar povzroči majhno povišanje temperature kabla, tako da ne pride do porušitve termičnega ravnovesja.

Prvi primer se pričakuje povsod, kjer je visoka pogostost padavin, v ilovnatih tleh ali pri kablih z nizko stopnjo obremenitve.

Drugi primer se pričakuje povsod, kjer je majhna pogostost padavin, suha tla in visoka obremenitev kabla. Z raziskavami je bilo ugotovljeno, da je mejna vrednost temperature na površini zunanjega plašča kabla, pri kateri se začne proces trajnega izsuševanja zasipnega materiala in trajnega povečevanja njegove toplotne upornosti, nekje med 50°C in 60°C, odvisno od toplotne upornosti in debeline sloja zasipnega materiala.

Tretji primer je mejni primer, h kateremu težijo obratovalci elektroenergetskega omrežja zaradi maksimalnega izkoristka oziroma možnosti dviga prenosne moči na vrednost, pri kateri temperatura vodnika kabla z izolacijo iz XLPE doseže 90°C. Zaradi obratovanja kabla pri najvišji dovoljeni temperaturi se cona izsušitve včasih močno razširi, tako da se v nekem pasu okoli kabla oblikuje izoterma, ki ima za 15 K nižjo temperaturo od površine kabla. Znotraj območja, ki ga omejuje ta izoterma, je potrebno računati s specifično toplotno upornostjo za skoraj popolno izsušena peščena tla (2.5 K m/W). Pri spojkah je potrebno računati z lokalnim povišanjem temperature spojke, ki je tem večje čim daljša je spojka, čim debelejša je njena izolacija in čim manjši je njen prerez aktivnega dela.

Zaradi poenostavitve izračuna termičnega profila se znotraj karakterističnega premera $d_y$se upoštevajo največje izgube, ki nastopijo pri največji obremenitvi, zunaj karakterističnega premera d_y pa se upošteva povprečne izgube (izgube, ki nastopijo pri povprečni obremenitvi). Znotraj karakterističnega premera d_y se upošteva, da se temperatura spreminja glede na spremenljivo trenutno obremenitev po dnevnem diagramu obremenitve, zunaj karakterističnega premera d_y pa se upošteva, da je temperatura konstantna, kar pomeni, da je konstantna tudi toplotna upornost. Povprečne toplotne izgube se določijo z izgubnim faktorjem μ, ki se izračuna iz enačbe:

$$\mu = 0{,}3m + 0{,}7m^2 \tag{8.1}$$

m faktor obremenitve [-]

Premer karakteristične izoterme d_y pri ciklično spreminjajoči se sinusni obremenitvi s faktorjem obremenitve ($0{,}5 \leq m \leq 1{,}0$) pa iz enačbe:

$$d_y = \frac{0{,}103 + 0{,}246\sqrt{\mu}}{\sqrt{w}\left(\frac{\rho_{Ze}}{Km/W}\right)^{0{,}4}} \tag{8.2}$$

w frekvenca ciklov v 1 dnevu

Geometrijska konstanta k_y za področje znotraj karakterističnega premera d_y se izračuna iz enačbe:

$$k_y = \frac{2h}{d_y} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d_y}\right)^2 - 1} = pribl\,\frac{4h}{d_y} \tag{8.3}$$

d_y premer karakteristične izoterme pri ciklični obremenitvi s faktorjem obremenitve ($0{,}5 \leq m \leq 1{,}0$) [m]

h globina kabla [m]

Največja obremenljivost, ki izhaja iz najvišje dovoljene temperature vodnika, različno vpliva na segrevanje površine kabla. Ta pri kablih z XLPE izolacijo doseže 75°C ob upoštevanju, da je temperatura zemlje 20°C in stopnja obremenitve m = 1 ter ob pogoju, da zemljina ni izsušena. Najvišja nadtemperatura mejne izoterme nad okolico ob pogoju (0,5< m < 1) se izračuna iz enačbe:

$$\Delta\vartheta_x = 15 + \frac{(1-m)\cdot 100}{3} \tag{8.4}$$

Vrednosti nadtemperatur mejne izoterme nad okolico so odvisne od stopnje obremenitve in sicer:

$\Delta\vartheta_x$=15 K za m= 1,0 $\vartheta_x = \vartheta_{ze} + \Delta\vartheta_x$ = 20°C + 15 K = 35°C za m= 1,0

$\Delta\vartheta_x$=25 K za m= 0,7 $\vartheta_x = \vartheta_{ze} + \Delta\vartheta_x$ = 20°C + 25 K = 45°C za m= 0,7

$\Delta\vartheta_x$=32 K za m= 0,5 $\vartheta_x = \vartheta_{ze} + \Delta\vartheta_x$= 20°C + 32 K = 52°Cza m = 0,5

Znotraj mejne izoterme se računa s specifično toplotno upornostjo zemlje $\rho_{xe} = \rho_x$ = 2,5 K m/W.

Zunaj mejne izoterme se računa s specifično toplotno upornostjo normalno navlažene zemlje ρ_{ze} = 1 K m/W.

Spreminjanje tokovne obremenitve v odvisnosti od obremenitve (dnevni diagram obremenitve) in upoštevanje izsuševanja se ponazori z fiktivnima toplotnima upornostma zemlje T'_{xy} in T'_x., ki se razlikujeta glede na formacijo polaganja in glede na razmerje med d_y, d_x in $2a$.

Fiktivna toplotna upornost zemlje T'_{xy} zaradi nihanja obremenitve in fiktivna toplotna upornost zemlje T'_x zaradi izsuševanja pri polaganju v trikot ali v linijo se izračunata iz enačb:

Za tri enožilne kable položene v trikot in tri enožilne kable položene v liniji, kjer velja $d_y \geq 2a$ (d_y se oblikuje približno okrog vseh kablov skupaj – radiji d_y posameznih kablov se prekrivajo)

$$T'_{xy} = \frac{\rho_x}{2\cdot\pi}\left[\ln k + 3(\mu-1)\ln k_y + 2\ln k_a\right] \tag{8.5}$$

$$T'_x = \frac{\rho_x}{2\cdot\pi}(\ln k + 2\ln k_a) \tag{8.6}$$

Za tri enožilne kable položene v liniji, kjer velja $d_y \leq 2a$

(d_y se oblikuje približno okrog vsakega kabla posebej – radiji d_y posameznih kablov se ne prekrivajo)

$$T'_{xy} = \frac{\rho_x}{2\cdot\pi}\left[\ln k + (\mu-1)\ln k_y + \mu\cdot 2\ln k_a\right] \tag{8.7}$$

$$T'_x = \frac{\rho_x}{2\cdot\pi}(\ln k + 2\ln k_a) \tag{8.8}$$

Premer mejne izoterme, ki omejuje izsušeno območje d_x in velja za primer obremenitve pri m = 1, se izračuna iz enačbe:

$$d_x = 4h_o \frac{k_x}{k_x^2 - 1} \tag{8.9}$$

Globina mejne izoterme, ki omejuje izsušeno območje h_x, se izračuna iz enačbe:

$$h_x = h_o \frac{k_x^2 + 1}{k_x^2 - 1} \tag{8.10}$$

Za kable, položene v trikot in linijo pri pogoju $d_x > d_y$ se vrednost k_x izračuna iz enačbe :

$$k_x = \exp\left[\frac{2\pi \cdot \Delta\vartheta_x}{3\rho_{Ze}\left(\mu \cdot W_i' + W_d'\right)}\right] \tag{8.11}$$

h_o	globina nadomestnega linijskega toplotnega izvora	[m]
h_x	globina mejne izoterme, ki omejuje izsušeno območje	[m]
k	geometrijska konstanta kabla	[-]
k_a	geometrijska konstanta vzajemnega segrevanja kablov	[-]
k_y	geometrijska konstanta območja znotraj premera d_y, ki ga omejuje karakteristična izoterma	[-]
k_x	geometrijska konstanta območja znotraj premera izoterme d_x, ki omejuje izsušeno območje	[-]
m	faktor obremenitve	[-]
W'_d	izgube v izolaciji na enoto dolžine (izgube odvisne od napetosti)	[W/m]
W'_i	izgube odvisne od toka na enoto dolžine	[W/m]
ρ_{Ze}	specifična toplotna upornost vlažne zemlje	[K m/W]

Kjer je $\Delta T'_x$ dodatna fiktivna toplotna upornost zemlje pri konstantni obremenitvi zaradi večjega števila paralelnih sistemov. Poleg $\Delta T'_x$ je pri polaganju večjega števila paralelnih sistemov potrebno določiti tudi $\Delta T'_{xy}$. To je dodatna fiktivna toplotna upornost zemlje pri spremenljivi obremenitvi zaradi večjega števila paralelnih sistemov.

Pri polaganju v liniji razlikujemo med dvema možnostma:

1. d_y>2a (znotraj d_y so vsi trije kabli)
2. d_y< 2a (znotraj d_y je samo sredinski kabel)

Primere, kjer velja d_x<d_y, ne bomo obravnavali. (Vir: Kabel & Leitungen str. 206.v tabeli na sliki 18.24).

Temperatura mejne izoterme se izračuna iz enačbe:

$$\vartheta_x = \vartheta_{Ze} + \Delta\vartheta_x \tag{8.12}$$

ϑ_{Ze}	temperatura zemlje pri neobremenjenem kablovodu	[°C]

$\Delta\vartheta_x$ nadtemperatura mejne izoterme (kritični porast temperature zemljine [K]

Za temperaturo zemlje 20°C in nadtemperaturo mejne izoterme 25 K(ki velja pri m = 0,7) je temperatura mejne izoterme:

$$\vartheta_x = 20°C + 25K = 45°C \tag{8.13}$$

Temperatura površine kabla je:

$$\vartheta_{PK} = \vartheta_c - W_i^{'} \cdot T_{Ki}^{'} - W_d^{'} \cdot T_{Kd}^{'} = \vartheta_c - n \cdot I^2 \cdot R_{AC}^{'} \cdot T_{Ki}^{'} - W_d^{'} \cdot T_{Kd}^{'} \tag{8.14}$$

R'_{AC} ohmska upornost vodnika pri izmeničnem toku in najvišji dovoljeni obratovalni temperaturi [Ω/m]

T'_{Kd} navidezna toplotna upornost kabla zaradi dielektričnih izgub [K m/W]

ϑ_c temperatura vodnika [°C]

Določitev toplotne upornosti zemljine

Nadtemperaturo površine kabla se dobi tako, da se za oddaljenost od kabla a vzame radij kabla r (a = r). Nadtemperatura površine kabla izhaja iz enačbe:

$$\Delta\vartheta_E = P^{'} \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi} \ln k \tag{8.15}$$

kjer je:

ϱ_E specifična toplotna upornost vlažne zemljine [K m/W]

k geometrijska konstanta kabla, ki se izračuna iz enačbe :

$$k = \frac{2h}{D} + \sqrt{\left(\frac{2h}{D}\right)^2 - 1} \tag{8.16}$$

k geometrijska konstanta kabla[-]

h globina kabla [m]

h_o globina nadomestnega linijskega toplotnega izvora [m]

h_p globina radija izoterme [m]

S tem je določena tudi toplotna upornost zemljine T'_{Ze} v okolici kabla tj. upornost zemljine med površino kabla in površino tal in se izračuna iz enačbe:

$$T_{Ze}^{'} = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi} \ln k = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi} \ln\left(\frac{2h}{D} + \sqrt{\left(\frac{2h}{D}\right)^2 - 1}\right) \tag{8.17}$$

D zunanji premer kabla [m]

Sledi izračun toplotne upornosti zemljine med površino tal in izotermo, ki poteka skozi točko “P”

$$T_{ZeP}^{'} = \frac{\rho_E}{2 \cdot \pi} \ln k_P \tag{8.18}$$

T'_{ze}	toplotna upornost zemljine med površino kabla in tlemi	[K m/W]
T'_{zeP}	toplotna upornost zemljine med površino tal in izotermo skozi točko "P"	[K m/W]

8.5.3 Vpliv temperature in toplotne upornosti zemlje na obremenljivost kablovoda

Pomemben dejavnik, ki vpliva na obremenljivost kablovoda, je tudi temperatura medija, v katerega je kabel položen, in njegova toplotna upornost. Tabela 20 prikazuje odvisnost faktorja obremenitve zaradi odstopanja od nazivne temperature zemlje f_{Tze}, Tabela 21 pa odvisnost faktorja obremenitve zaradi odstopanja od nazivne toplotne upornosti zemlje $f_{R\vartheta}$.

Pri polaganju večjega števila sistemov paralelno je potrebno upoštevati izsuševanje, kar pomeni, da pride do povečanja toplotnih upornosti T'_x in T'_{xy} in sicer za dodatni toplotni upornosti zaradi kopičenja $\Delta T'_x$ in $\Delta T'_{xy}$.

Za večžilni kabel se dodatni navidezni toplotni upornosti zaradi kopičenja pri spremenljivi obremenitvi $\Delta T'_{xy}$ in in pri trajni obremenitvi $\Delta T'_x$ izračunata iz enačbe:

$$\Delta T'_{xy} = \frac{\rho_x}{2\pi}\left[\sum_{2}^{Ny}\delta_i + \mu\sum_{Ny+1}^{N}\delta_i + (N_y - 1)(\mu - 1)\ln k_y\right] \tag{8.19}$$

Pri konstantni obremenitvi z m = 1 in μ =1 velja:

$$\Delta T'_x = \frac{\rho_x}{2\pi}\sum_{2}^{N}\delta_i \tag{8.20}$$

Za tri enožilne kable v trifaznem omrežju velja:

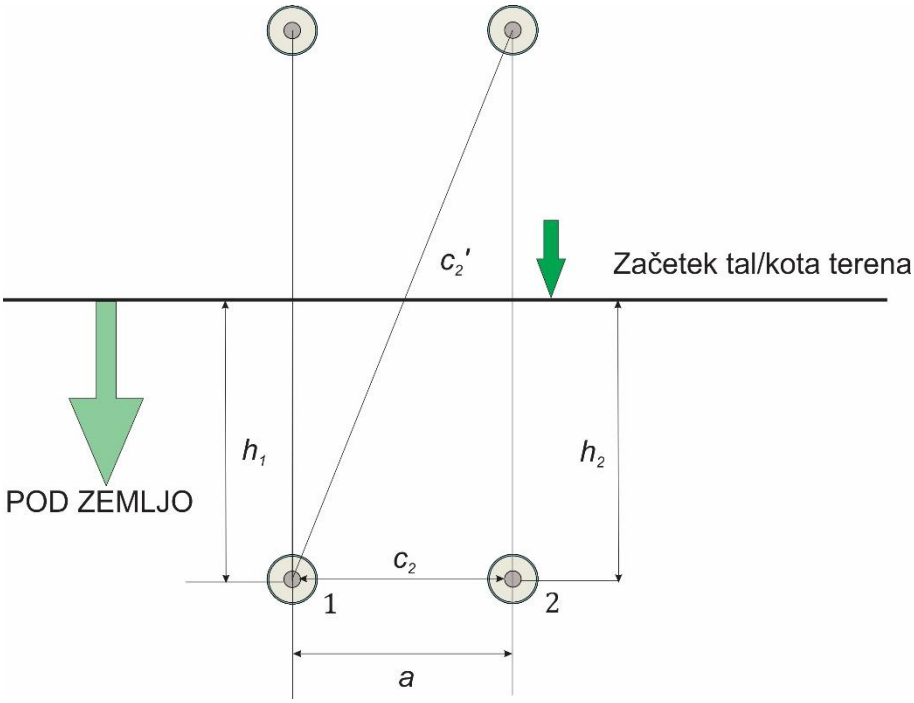
$$\Delta T'_{xy} = \frac{\rho_x}{2\pi}\left[\sum_{4}^{Ny}\delta_i + \mu\sum_{Ny+1}^{N}\delta_i + (N_y - 3)(\mu - 1)\ln k_y\right] \tag{8.21}$$

$$\Delta T'_x = \frac{\rho_x}{2\pi}\sum_{4}^{N}\delta_i \tag{8.22}$$

$$\sum_i \delta_i = \sum_i \delta_i \ln\frac{c'_i}{c_i} \tag{8.23}$$

Za večino primerov se ekscentričnost zanemari. V tem primeru se enačba poenostavi.

V kolikor imamo dva kabla, se mora izvesti vpliv drugega vodnika na podlagi preslikave:



Slika 49: Kablovod tvorita dva kabla v isti ravnini

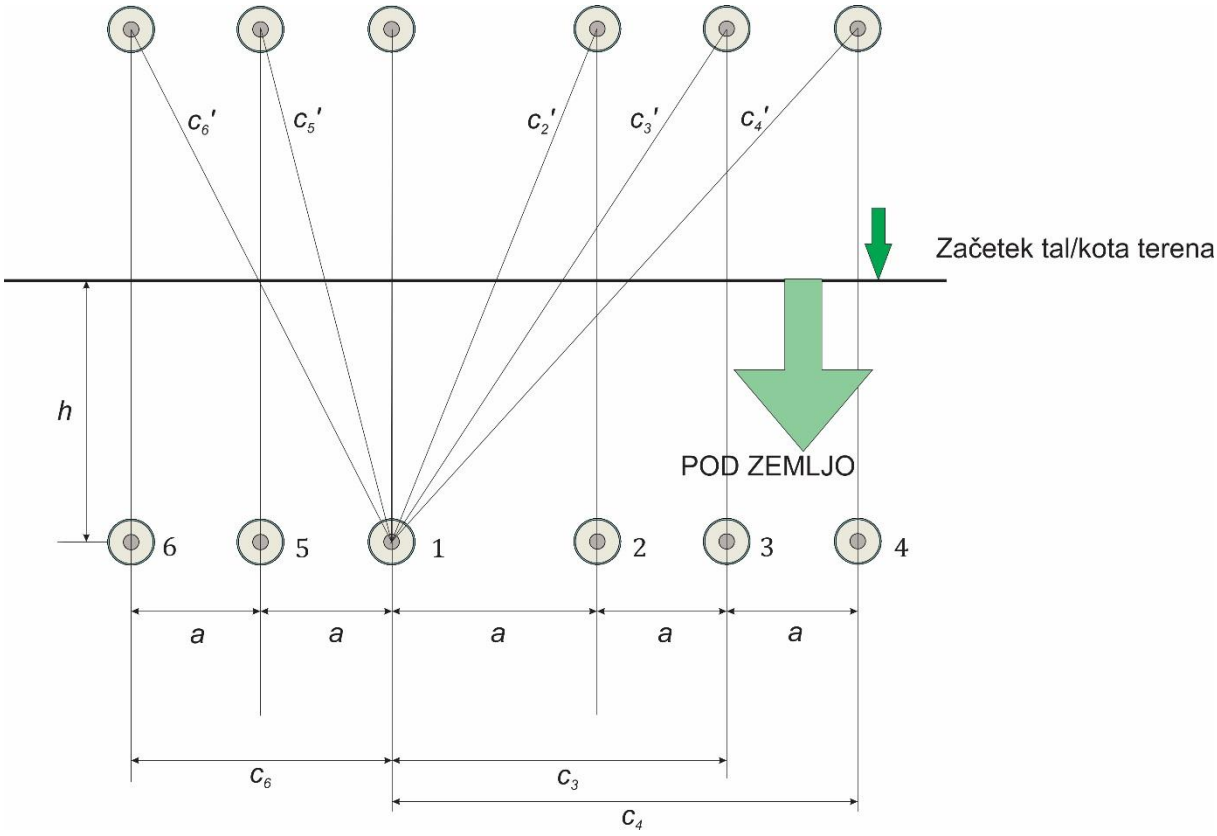
Za večino primerov se sme ekscentričnost zanemariti. V tem primeru se enačba poenostavi tako, da se pri dveh kablih vpliv enega kabla na drugega izračuna neodvisno od tega, kateri kabel ogreva drugega (faktor δ iz spodnje enačbe).

$$\sum \delta = \ln \frac{\sqrt{(h_2 + h_1)^2 + a^2}}{\sqrt{(h_2 - h_1)^2 + a^2}} \tag{8.24}$$

Za dva kabla v isti ravnini se faktor δ izračuna iz enačbe:

$$\sum \delta = \ln \sqrt{\left(\frac{2h}{a}\right)^2 + 1} \approx \ln k_a \tag{8.25}$$

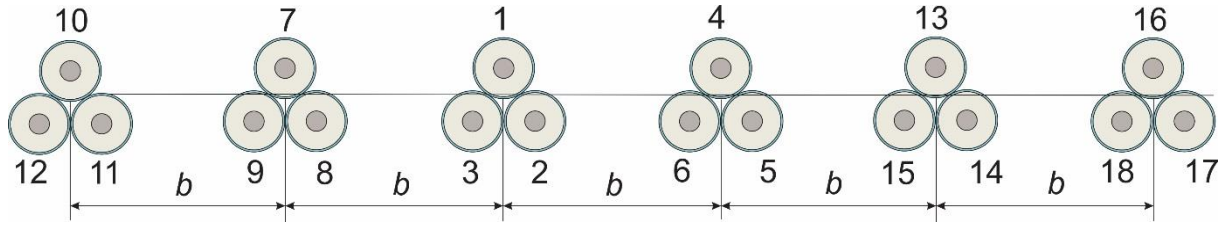
Za šest kablov v liniji, ki jih prikazuje spodnja Slika 50, se faktor δ izračuna iz enačbe



Slika 50: Kablovod oblikuje šest kablov v isti ravnini

Za šest kablovodov položenih v trikot (šest snopov) v isti ravnini se faktor δ izračuna iz enačbe:

$$\sum_{4}^{18}\delta_i = 3\left[2\ln\sqrt{\left(\frac{2h}{b}\right)^2+1}+2\ln\sqrt{\left(\frac{2h}{2b}\right)^2+1}+\ln\sqrt{\left(\frac{2h}{3b}\right)^2+1}\right] \tag{8.26}$$



Slika 51: Kablovod oblikuje šest sistemov v trikotni formaciji

Tokovna obremenljivost pri polaganju več paralelnih sistemov se izračuna iz enačbe (ki upošteva izsuševanje):

$$I = \sqrt{\frac{\vartheta_c - \vartheta_{Ze} - W_d^{'}\left[T_{Kd}^{'} + T_x^{'} + \Delta T_x^{'}\right] + \left[(\rho_x / \rho_{Ze}) - 1\right]\Delta\vartheta_x}{n \cdot R_{AC}^{'} \cdot \left[T_{Ki}^{'} + T_{xy}^{'} + \Delta T_{xy}^{'}\right]}} \tag{8.27}$$

8.5.4 Konvekcija v zraku

Določitev toplotne upornosti zraka

Pri polaganju v zrak prehaja toplota s kabla v okolico s konvekcijo in s sevanjem. Toplotna upornost zraka je ponazorjena s paralelno vezavo toplotne upornosti pri konvekciji in sevanju in se izračuna iz enačbe:

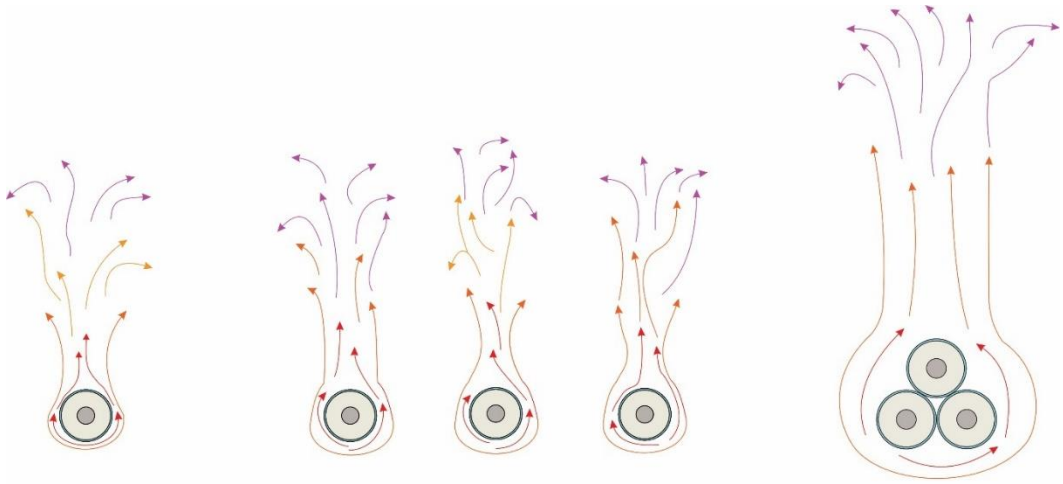
$$T_{zr}^{'} = \frac{1}{\pi \cdot d \cdot \left(f_k \cdot \alpha_k + f_s \cdot \alpha_s \right)} \tag{8.28}$$

f_k korekcijski faktor toplotne prehodnosti α_k s konvekcijo [-]

f_s korekcijski faktor toplotne prehodnosti α_s s sevanjem [-]

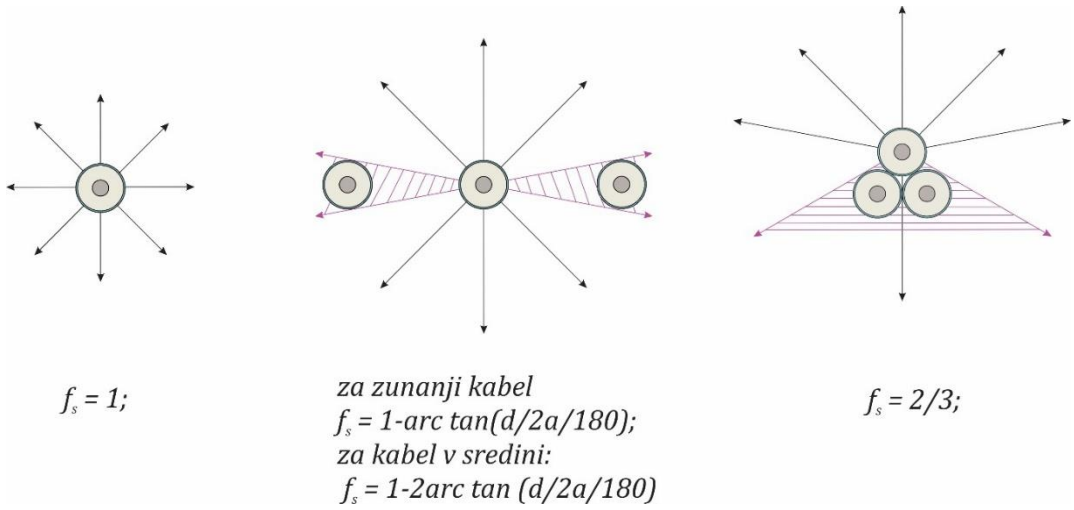
Faktorja za korekcijo toplotne prehodnosti α_k s konvekcijo α_s s sevanjem f_k in f_s se določita v odvisnosti od razporeditve oz. formacije kablov kot prikazujeta

Slika 52 in



Slika 53. $f_k = 1; k = 1$ $f_k = 1; k = 1$ $f_k = 2/3; k = 2$

Slika 52: Določitev vrednosti faktorjev f_k



Slika 53: Določitev vrednosti faktorjev f_s

Pri ravninski razporeditvi oz. formaciji kablov na prostem pri nemotenem oddajanju toplote v okolico in brez vpliva tujih toplotnih virov (sončnega obsevanja) za suh zrak in zračni pritisk 1013 hPa se predpostavi, da zaradi samega obratovanja kabla ne pride do povišanja okoliške temperature.

8.5.5 Vpliv zračnega pritiska na obremenljivost kablovoda

Sposobnost oddajanja toplote s konvekcijo se zmanjšuje z zmanjševanjem tlaka, tako da je pri večji nadmorski višini hlajenje slabše. Pri kablovodih na višjih nadmorskih višinah je potrebno upoštevati korekcijski faktor toplotne prehodnosti s konvekcijo, ki se izračuna iz enačbe:

$$\alpha_k = k' \cdot \frac{0.0185}{k \cdot D} + 1.08 \cdot \left(\frac{\Delta\vartheta_p}{k \cdot D}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{p}{1013\,hPa}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{8.29}$$

p	zračni pritisk ($p_{1000\,m}$ = 899 hPa, $p_{2000\,m}$ = 795 hPa)	[Pa]
D	zunanji premer kabla	[m]

Faktorja α_k in α_s se vstavita v enačbo za izračun temperature zraka temperatura zraka T'_{zr} in T'_{Ki} pa v enačbo (6.3) za izračun tokovne obremenljivosti I.

Faktor prehoda toplote s konvekcijo se izračuna s pomočjo enačb:

$$\alpha_k = k' \cdot \frac{0.0185}{k \cdot D} + k'' \cdot 1.08 \cdot \left(\frac{\Delta\vartheta_p}{k \cdot D}\right)^{\frac{1}{4}} \tag{8.30}$$

$$k' = 0.919 + \frac{\vartheta_m}{369} \qquad k'' = 1.033 + \frac{\vartheta_m}{909} \tag{8.31}$$

$$\vartheta_m = \frac{\vartheta_P + \vartheta_O}{2} \qquad \Delta\vartheta_P = \vartheta_P - \vartheta_O \qquad \vartheta_m = \frac{\Delta\vartheta_P + 2\cdot\vartheta_O}{2} \tag{8.32}$$

faktor prehoda toplote s sevanjem se izračuna iz enačbe:

$$\alpha_s = \frac{\varepsilon_o \cdot \sigma\left[(273+\vartheta_P)^4 - (273+\vartheta_O)^4\right]}{\Delta\vartheta_P \cdot 10^8} \tag{8.33}$$

T'_{zr}	toplotna upornost zraka	[K m/W]
D	zunanji premer kabla	[m]
α_k	faktor prehoda toplote s konvekcijo	[-]
α_s	faktor prehoda toplote s sevanjem	[-]
σ	Štefan-Boltzmanova konstanta sevanja črnega telesa (σ = 5.67 W/m²K²)	[W/m²K²]
ε_o	stopnja emisije površine kabla (= 0.95 če ni podatka in če stena ni toplejša od zraka)	[-]
k', k''	faktorja za izračun toplotne upornosti zraka pri srednji temperaturi	[-]
f_k	faktor oddajanja toplote s konvekcijo v odvisnosti od razmestitve posameznih faz	[-]
f_s	faktor oddajanja toplote s sevanjem v odvisnosti od razmestitve posameznih faz	[-]
ϑ_p	temperature površine kabla	[◦C]
ϑ_o	temperature okolice	[◦C]
ϑ_m	srednja temperatura med okolico in površino plašča	[◦C]
$\Delta\vartheta_p$	prirastek temperature površine kabla	[K]

Pri povišanju temperature zraka ob nespremenjeni temperaturi vodnika se pojavi malenkostno povečanje toplotne upornosti okoliškega zraka. Nazivno obremenitev je zato potrebno pomnožiti s faktorjem obremenitve zaradi povišane temperature okolice, ki se izračuna s pomočjo enačbe:

$$f_{Tzr} = \frac{I}{I_r} = \sqrt{\frac{\vartheta_v - \vartheta_o}{\vartheta_v - 30^\circ C}} \tag{8.34}$$

I	tokovna obremenljivost	[A]
I_r	nazivna tokovna obremenitev	[A]
f_{Tzr}	faktor obremenitve zaradi povišane temperature okoliškega zraka	[-]

Sposobnost odvajanja toplote je odvisna tudi od formacije in razmika med kabli. Pri polaganju v trikot na dotik je odvajanje toplote zmanjšano na približno 2/3 vrednosti kot v primeru, da so kabli položeni v ločena jarka.

Pri polaganju v zrak je potrebno razlikovati med vodoravnim in navpičnim polaganjem. Pri navpičnem polaganju se načeloma doseže boljše odvajanje toplote kot pri vodoravnem polaganju, zato lahko izračun za vodoravno polaganje uporabimo tudi za navpično polaganje. Pri polaganju v zrak se zaradi relativno kratke časovne konstante segrevanja računa s stopnjo tokovne obremenitve 1.

8.5.6 Sevanje v zraku (Vpliv sončnega obsevanja na obremenljivost kablovoda)

Če je kabel dodatno izpostavljen sončnemu obsevanju je potrebno upoštevati dodatno segrevanje zaradi sončnega obsevanja, ki se izračuna iz enačbe:

$$\Delta\vartheta_s = \alpha_o \cdot D \cdot H \cdot T_s' \tag{8.35}$$

Pri tem se površina kabla zaradi sončnega obsevanja dodatno segreje za :

$$\Delta\vartheta_{PS} = \frac{\left(\vartheta_V - \vartheta_O - \Delta\vartheta_d + \alpha_o \cdot D \cdot H \cdot T_{Ki}'\right) \cdot T_s'}{T_{Ki}' + T_s'} + W_d' \cdot T_s' \tag{8.36}$$

kjer je:

H	moč sončnega obsevanja (E_{max}=cca. 1.35 kW/m^2, če ni poznana se vzame H= 1)	[W/m^2]
R'	upornost vodnika pri izmeničnem toku pri obratovalni temperaturi	[Ω/m]
T'_{zr}	toplotna upornost zraka	[K m/W]
T'_s	toplotna upornost zraka zaradi sončnega obsevanja	[K m/W]
T'_{Ki}	navidezna toplotna upornost kabla zaradi tokovnih izgub	[K m/W]
D	zunanji premer kabla	[m]
α_o	koeficient absorpcije površine kabla ($\alpha_{o(PE)}$ = 0.4, $\alpha_{o(PVC)}$ = 0.6)	[-]
$\Delta\vartheta_d$	prirastek temperature zaradi dielektričnih izgub	[K]
$\Delta\vartheta_S$	prirastek temperature zaradi sončnega obsevanja	[K]
$\Delta\vartheta_{PS}$	prirastek temperature površine kabla zaradi sončnega obsevanja	[K]

Tabela 22 prikazuje koeficiente absorpcije sončnega obsevanja, saj so le-ti odvisni od materiala zunanjega plašča vodnika in temu primerno višjo ali nižjo zunanjo obremenitev kabla.

8.5.7 Vpliv okolice na toplotno upornost (zasipni material, zemlja, globina, vlaga, cevi, bližnji predmeti, križanja)

Povečanje toplotne upornosti se lahko pojavi tudi na delu trase, kjer je kabel položen po klasični metodi z zasipavanjem. Pri tem je potrebno upoštevati zlasti vpliv zemljine, zasipnega materiala, navlaženosti, pa tudi prisotnost drugih infrastrukturnih vodov in predmetov v bližini, ki bistveno vplivajo na toplotno upornost kablovoda. Posebno pozornost je potrebno posvetiti asfaltnim in betonskim preplastitvam ter meteorni kanalizaciji, ki bistveno vplivajo na način odtekanja padavinskih vod in s tem na vsebnost vlage v zemljini. Na mestih, kjer so bila zaradi predhodnih gradbenih del izvedena večja izkopavanja, je potrebno računati z možnostjo velikih razlik v sami sestavi zemljine. Do povečanja temperatur pride tudi pri paralelnem poteku in križanjih z različnimi tujimi toplotnimi viri, izmed katerih je potrebno izpostaviti vode daljinskega ogrevanja in kablovode, ki pripadajo drugim omrežjem.

Vse naštete vplive je mogoče zajeti z meritvami vrednosti toplotne upornosti vzorcev zemljine, vzetih s karakterističnih odsekov kabelske trase. Glede na rezultate meritev specifične toplotne upornosti zemljine vzdolž kabelske trase je mogoče sprejeti odločitev o tem, ali se za

zasipavanje lahko uporabi izkopani material in ali ga je potrebno nadomestiti s posebnimi zasipnimi materiali bodisi na celotni trasi, bodisi le na posameznih izpostavljenih mestih ali odsekih. Pri obratovanju kablovoda se ne sme pojaviti pretirano izsuševanje okoliške zemljine. To je mogoče zagotoviti s poznavanjem časovnega diagrama obremenitve in s tem, da ne pride do prekoračitve dovoljenega časa trajanja posameznih preobremenitev. Poleg tega je potrebno poznavanje klimatskih, meteoroloških in geoloških pogojev, ki vplivajo na časovno termično konstanto kablovoda in določajo stopnjo in hitrost izsuševanja okoliške zemljine v odvisnosti od obratovalnih pogojev.

8.5.8 Obsipni material

Za izdelavo kabelske posteljice se uporabljajo posebni materiali, ki imajo sposobnost ohraniti nizke vrednosti toplotne upornosti tudi v primeru izsušitve. Imenujejo se termično stabilni materiali. Toplotna upornost termično stabilnih materialov pri normalni navlaženosti se giblje med 0.3 in 0.4 K m /W, v suhem stanju pa med 0.7 do 1.0 K m/W. Z njihovo uporabo se tokovna obremenljivost kablovoda poveča tudi za več kot 10 %. Uporaba termično stabilnih materialov je primerna zlasti v primerih, kjer je stopnja vlage zemljine zelo nizka in kjer obstaja nevarnost izsušitve zemljine okoli kablovoda v širšem pasu.

Pri polaganju kabla po postopku odprtega kopa je potrebno zagotoviti, da se zemlja v neposredni bližini kabla ne izsuši, zato je pri izdelavi kabelske posteljice izredno pomembno, da se zagotovi ustrezna debelina le-te. Priporoča se izbira materiala s toplotno upornostjo, ki je manjša od 0.9 K m/W. S stroškovnega vidika predstavlja najoptimalnejšo izbiro kremenčev pesek čim manjše granulacije. Zbitost zasipnega materiala mora biti čim večja. V posebnih primerih, kjer obstaja nevarnost spiranja in odnašanja zasipnega materiala, je možno uporabiti tudi suhi beton.

Pri podani optimalni sestavi tal znaša moč, ki se lahko v normalnih pogojih odvede v okolico, od 50 do 60 W/m.V, kar povzroči povečanje toplotne upornosti zemljine, ki je v neposrednem stiku s kablom.

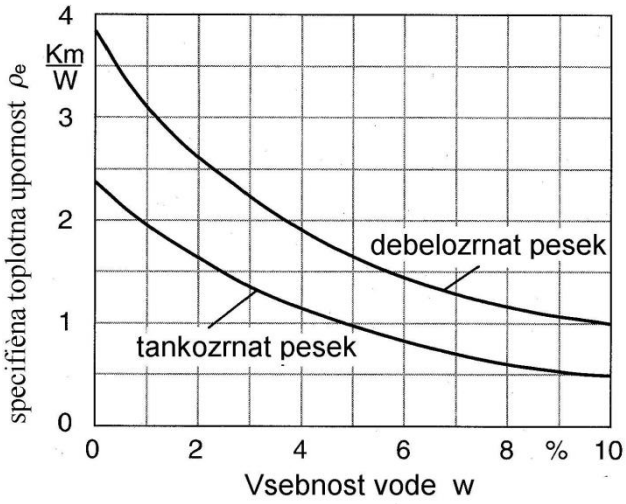
8.5.9 Globina

Nazivna globina polaganja je 1 m. Pri nazivni globini polaganja je faktor obremenitve enak 1. Tabela 23 prikazuje vrednosti faktorja obremenitve zaradi globine v odvisnosti od globine polaganja kablovoda.

Globina polaganja pri polaganju v odprti kabelski jarek ne sme biti manjša od 0.7 m, v povprečju pa znaša od 0.7 do 1.2 m. Nazivna globina polaganja, pri kateri ni potrebno upoštevati faktorja obremenitve, je 1 m. V primeru, da globina polaganja odstopa od nazivne globine, je potrebno pri obremenljivosti upoštevati korekcijski faktor, vendar se v razponu med 0.7 m in 1.2 m globine vpliv spremembe obremenljivosti kompenzira z razliko v specifični upornosti zemljine, zato korekcijskega faktorja ni potrebno upoštevati. Pri določitvi globine se upošteva os kabla, pri polaganju kablov v snop se upošteva globina osi snopa.

8.5.10 Vlaga

Vsebnost vlage je odvisna od kemijsko fizikalne sestave zemljine. Posamezni delci zemljine se privlačijo zaradi molekularnih sil in so obdani s plastjo vode v odvisnosti od higroskopičnosti snovi. Ta voda je vezana na snov in se lahko osvobodi le, v kolikor se upari, kar se zgodi le, če se temperatura zemljine segreje na 105°C do 110°C. Snovi z manjšimi granulacijami vežejo več vode od snovi z večjimi granulacijami. Količina vezane vode je odvisna tudi od vsebnosti vlage, tlaka in temperature zraka v tleh. V kolikor je v tleh zadostna količina vode, je higroskopsko vezana voda dodatno koncentrično obdana s plastjo v pore ujete vode, ki povezuje sosednje delce snovi med seboj. Na ta način se izboljša odvajanje toplote, saj voda kot prevodnik za razliko od zraka oblikuje toplotne mostove. Količina vode, ki se ujame v pore, je izpostavljena močnim nihanjem, ki so odvisna od količini vode, ki prodira iz okolice v snov in stopnje izhlapevanja. Posebej v temperaturnem pasu kabla je potrebno računati z možnostjo primanjkljaja vode ali celo s popolno izsušitvijo, zato je pomembno, da tudi pri popolni izsušitvi ostane vrednost toplotne upornosti snovi dovolj nizka. To je lažje doseči, če so v zasipnem materialu poleg majhnih delcev z zadostno količino por, v katerih je ujeta voda, ko je te dovolj, na razpolago tudi delci večje granulacije. Take mešanice se odlikujejo z veliko gostoto v suhem stanju, njihova specifična toplotna upornost pa doseže svoj minimum, ko so vse pore izpolnjene z vodo, torej pri največji navlaženosti zemljine. Za ohranitev čim večje gostote zemljine morajo biti pore večjih delcev zapolnjene z delci, ki imajo manjšo granulacijo. Slika 54 prikazuje specifično toplotno upornost peska različnih granulacij v odvisnosti od vsebnosti vlage.



Slika 54: Specifična toplotna upornost peska različnih granulacij v odvisnosti od vsebnosti vlage.

Zaradi neposrednega vpliva navlaženosti zasipnega materiala na vrednost njegove toplotne upornosti je izredno pomembno pridobiti podatke o povprečni navlaženosti zemljišča, po katerem bo speljana kabelska trasa. Ta ni odvisna le od že opisanih lastnosti zasipnega materiala in količine padavin, pač pa tudi od posegov v prostor, ki povzročajo spremembe naravnih termičnih tokov, tujih virov toplote, ki povzročajo dodatno segrevanje in objektov, ki

preusmerjajo naravne poti odtekanja padavinskih voda in povzročajo izsuševanje terena. V odvisnosti od prisotnosti zgoraj navedenih dejavnikov je potrebno za izdelavo kabelske posteljice uporabiti ustrezen zasipni material. Pri konstantni prisotnosti vlage je kablovod bistveno manj izpostavljen nevarnosti izsušitve zaradi samega načina obratovanja. V primeru, da je stopnja vlage zemljine zelo nizka, pa je potrebno uporabiti termično stabilne zasipne materiale, ki so sposobni zadržati vlago dlje časa.

V kolikor ni posebej navedeno, se upošteva, da obratovanje kabla ne povzroči izsuševanja okoliške zemljine, v kolikor pa se pričakuje, da se zemljina v neposredni bližini kabla zaradi obratovanja kabla lahko izsuši, se privzame vrednost toplotne upornosti za suha tla, ki znaša 2.5 K m/W, medtem ko se za zemljišče v okolici predpostavlja, da so tla navlažena, zato se privzame vrednost toplotne upornosti za vlažna tla 1 K m/W. Pri polaganju v zemljo so za osnovo pri določanju nazivne tokovne obremenitve izbrali stopnjo obremenitve 0.7, saj ta v praksi praviloma ni presežena.

8.5.11 Vlažno zemljišče

Izsušeno zemljišče se smatra zemljina le v neposredni okolici kabla. Pri vrednosti toplotne upornosti zemlje se predpostavi, da se v neposredni bližini kabla zemlja zaradi temperature kabla lahko izsuši, zato se privzame vrednost toplotne upornosti za suha tla, ki znaša 2.5 K m/W, medtem ko se za zemljišče v okolici predpostavlja, da so tla navlažena, zato se privzame vrednost toplotne upornosti za vlažna tla 1 K m/W. Pri polaganju v zemljo so za osnovo pri določanju nazivne tokovne obremenitve izbrali stopnjo obremenitve 0.7, saj ta v praksi praviloma ni presežena.

V primeru dlje časa trajajoče polne obremenitve ali pri pogosto ponavljajočih se preobremenitvah, posebej ob visokih zunanjih temperaturah in dolgotrajnih sušnih obdobjih brez padavin, se nevarnost izsušitve zemljine v neposredni okolici kabla poveča, kar lahko privede do povečanja njene toplotne upornosti. Stopnja izsuševanja je močno odvisna tudi od urbanističnih posegov (preplastitve in izdelava umetnega odvodnjavanja s pomočjo meteorne kanalizacije in prisotnosti tujih virov toplote), ki preusmerijo vodne tokove in segrevajo okolico.

8.5.12 Cevi

Cevna kabelska kanalizacija se večinoma izdeluje iz PE cevi. Te morajo biti nekoliko večje od zunanjega premera kabla, da se pri uvleki kabla v cev ne pojavijo prevelike natezne sile zaradi trenja med kablom in cevjo. Zaradi razlike med premerom kabla in premerom cevi je v vmesnem prostoru zrak. Ta ima veliko toplotno upornost, zaradi česar se sposobnost oddajanja toplote bistveno zmanjša. Ta se dodatno zmanjša še zaradi toplotne upornosti same polietilenske cevi (cca 4 K m/W). Pred polaganjem cevi je potrebno dno kabelskega jarka prekriti s posebnim zasipnim materialom z majhno toplotno upornostjo. Pri obsipu položenih cevi na podlago se le te zasuje 10 do 30°cm nad temenom zgornje vrste cevi. Pri polaganju v

tanke cevi se te lahko obbetonira, tako da se oblikujejo skupine cevi. Pri razmestitvi cevi je potrebno uporabiti posebne distančnike, ki onemogočajo njihovo premikanje in zagotavljajo, da je vmesni prostor v celoti zapolnjen z betonom. Pri kablih, ki so položeni v PE cevi, se obremenljivost zmanjša zaradi upornosti zraka med kablom in notranjo steno cevi in upornostjo same PE cevi. Zmanjšanje obremenljivost zaradi polaganja kablov v PE cevi se zajame z korekcijskim faktorjem za polaganje v cevi, ki znaša 0.85.

Tudi pri polaganju kablov v cevi se v obratovalni dobi lahko pojavi izsuševanje okoliške zemljine zaradi spremembe lastnosti zasipnega materiala, njegove migracije, razraščanja korenin dreves ali prevelikih termičnih obremenitev. Izsuševanje je mogoče preprečiti ali vsaj zmanjšati z ustrezno izbiro zasipnega materiala in izvedbo ustreznega kompaktiranja posameznih slojev ter izvajanjem monitoringa temperature površine kabla ali okoliške zemljine. Pred izdelavo cevne kabelske kanalizacije je potrebno vzdolž kabelske trase odvzeti vzorce zemljine in analizirati njihove lastnosti. Pri izdelavi cevne kabelske kanalizacije je potrebno izvesti tudi odvodnjavanje. Cevi morajo biti položene z blagim padcem v smeri podzemnih jaškov, namenjenih spajanju, jaške pa je potrebno povezati s sistemom meteorne kanalizacije. Če je v ceveh prisotna voda oz. vlaga to ne pomeni izboljšanja termičnega profila, ker ni enakomerna porazdeljena po prostoru, ampak je v zgornjem delu cevi prisoten zrak z visoko toplotno upornostjo, ki onemogoča enakomerno oddajanje toplote.

Z ustreznimi tehničnimi rešitvami je mogoče vpliv povečanja toplotne upornosti zaradi polaganja v cevi zmanjšati. Eden izmed njih je zapolnjevanje prostora med kablom in cevjo s posebnimi termično stabilnimi materiali, s čemer se izboljša toplotna prevodnost. Poleg tega se s tem onemogoči premikanje kabla v cevi in njegove mehanske obremenitve. Zapolnjevanje cevi se priporoča zlasti v poglobljenih odsekih kabelske trase ali pri večjih višinskih razlikah na prehodih iz cevne kanalizacije v podzemni jašek za montažo kabelskih spojk. Težava, ki se pri tem pojavi je v tem, da po polaganju kabla ni mogoče več izvleči iz cevi, zato je njegova zamenjava ali sanacija precej zapletena.

8.5.13 Križanja

Na mestih križanj z drugimi infrastrukturnimi vodi se večinoma uporablja metoda horizontalnega podvrtavanja. Na teh mestih je globina večinoma bistveno večja, kot pri polaganju po metodi prostega kopa. Zaradi tega je pri daljših globljih odsekih, izvedenih z metodo horizontalnega podvrtavanja, treba računati še z dodatnim zmanjšanjem obremenljivosti kablovoda. Vrednosti toplotne upornosti v večjih globinah so manjše kot v plasteh blizu površja zaradi manjše vsebnosti organskih primesi, zato ne predstavlja omejitev pri izdelavi kablovoda, kjer je uporabljena metoda horizontalnega podvrtavanja, kljub temu se priporoča odvzem vzorcev za določitev toplotne upornosti zemljišča.

Če je kabelska kanalizacija, ki je izdelana s horizontalnim podvrtavanjem, zapolnjena z termično stabilnim zasipnim materialom, kabla ni mogoče izvleči niti odkopati, kar onemogoča izvedbo sanacije ali zamenjava kabla.

Poleg večje globine je potrebno upoštevati tudi vplive drugih infrastrukturnih vodov, kar dodatno poveča zunanjo toplotno upornost kablovoda. Glavni dejavniki povečanja temperature so predvsem križanja z različnimi tujimi toplotnimi viri, izmed katerih izstopa daljinsko ogrevanje in kablovodi drugih omrežij.

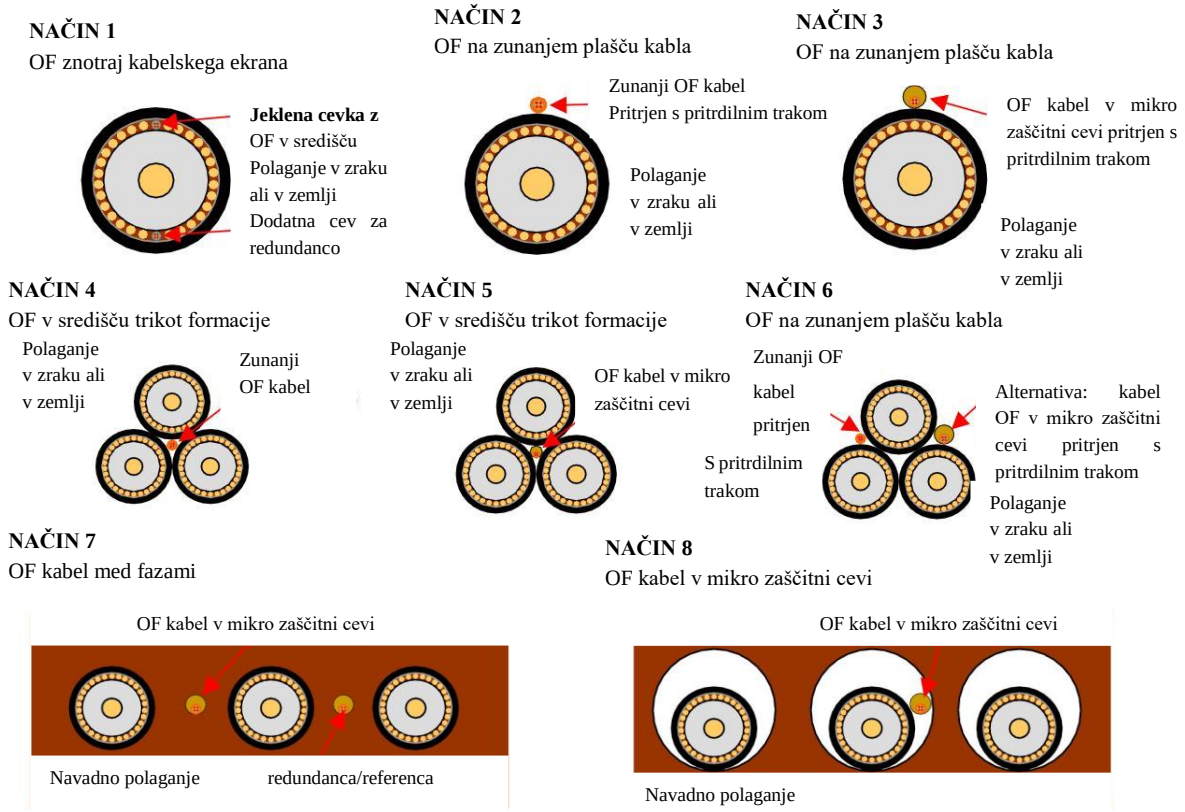
Upoštevati je potrebno tudi betonskih oz. asfaltnih prevlek, ki bistveno spremenijo način odtekanja padavinskih voda in s tem vplivajo na vsebnost vlage v zemljini. Na mestih, kjer so bila zaradi predhodnih gradbenih del izvedena večja izkopavanja, je potrebno računati z možnostjo velikih razlik v sami sestavi zemljine. V kolikor zaradi tehnične zahtevnosti posega ni mogoče izpolniti zahteve po zahtevani vrednosti toplotne upornosti, je potrebno izbrati kabel večjega prereza.

8.5.14 Merjenje temperature med obratovanjem

Nadzor nad termičnim profilom kablovoda (termični monitoring) je mogoče izvajati, če se kablovod opremi s sistemom za izvajanje termičnega monitoringa. Možnih je več načinov izvedbe (Slika 55) in sicer izbira kabla z vgrajenimi optičnimi vlakni, namestitev optičnega kabla na površino kabla ali pa namestitev ločenega optičnega kabla v posebne PVC cevi (običajno Alcaten cevi premera 50 mm).

Pri kabelski konstrukciji z vgrajenimi optičnimi vlakni so le-ta večinoma vgrajena v inox kovinski cevki, ki je vgrajena med žice kovinskega zaslona. Možna je uporaba optičnih kablov z enorodnimi ali večrodnimi optičnimi vlakni. Enorodna optična vlakna se odlikujejo po majhnem slabljenju, zato so primerna za uporabo pri kablovodih večjih dolžin do 30°km. Njihova natančnost pri merjenju temperature je 2°C, pri določitvi lokacije pa 10 m. Natančnejše meritve omogočajo večrodna optična vlakna, in sicer merjenje temperature z natančnostjo 1°C, lokacijo pa je mogoče določiti z natančnostjo 1 m. Zaradi večjega slabljena je njihova uporaba omejena na dolžine do 10 km.

Večinoma zadostuje, da je z optičnimi vlakni opremljen le kabel ene faze. Pri trikotni formaciji se z optičnimi vlakni opremi kabel, ki je najvišje, pri ravninski formaciji pa kabel v sredini. Sistem je mogoče namestiti izven kabla ali pa izbrati konstrukcijo kabla, ki že vsebuje vgrajeno cevko, v kateri je nameščen optični kabel. Pri namestitvi zunaj kabla je najboljša rešitev namestitev optičnega kabla direktno na površino kabla. Optični kabel je potrebno pritrditi na površino kabla z ustreznimi trakovi. Taka namestitev je mogoča pri polaganju v odprt kabelski jarek predno se kabel zasuje. Optični kabel se lahko namesti tudi v dodatno cev, vendar se s tem zmanjša natančnost meritve.



Slika 55: Načini uporabe optičnih vlaken oziroma optičnega kabla za merjenje termičnega profila kablovoda

Geometrijske karakteristike kablov se le neznatno spreminjajo v odvisnosti od temperature, pa jih zaradi tega lahko smatramo kot konstante.

Tokovna obremenitev kablovodov je močno odvisna od vplivov okolice, to je od temperature medija, v katerem je kabel položen in njegove toplotne upornosti.

Pri podatku o nazivni tokovni obremenitvi mora proizvajalec obvezno navesti vse pogoje, na katere se ta nanaša, in sicer:

- konstrukcijske podatke kabla,
- razporeditev oziroma formacijo (trikot ali linija),
- razdaljo med kabli posameznih faz,
- način ozemljitve kovinskih zaslonov (obojestransko ali enostransko),
- temperaturo vodnika (večinoma se navaja nazivna obremenitev pri 90°C),
- število sistemov (privzeta vrednost je en sistem) in njihovo medsebojno razdaljo,
- toplotno upornost zemlje (privzeta vrednost je 1 K.m/W),
- stopnjo obremenitve »m« (privzeta vrednost je 0,7),
- medij, v katerega se kabel polaga in način izvedbe kabelske posteljice.

Za polaganje kablov v zemljo so podane tokovne obremenitve za normalno obratovanje ob izpolnjenih referenčnih pogojih za polaganje v zemljo. Med njimi je posebno pomembna

referenčna temperatura, ki je pogojena s klimatskim pasom države proizvajalca oz. uporabnika kabla, zato se vrednosti referenčnih temperatur v posameznih sekcijah med seboj razlikujejo, česar se ne sme spregledati. Če želimo podatke o tokovni obremenljivosti kablov, ki so izdelani v skladu z različnimi sekcijami standarda, med seboj primerjati, je potrebno njihove vrednosti preračunati na referenčno temperaturo zemlje, v kateri bo kablovod obratoval.

Pri nadzemnem polaganju kablov velja ustrezna nazivna tokovna obremenitev za normalno obratovanje ob izpolnjenih referenčnih pogojih za nadzemno polaganje. Pri tem se razume, da je omogočeno ohlajanje kablov s konvekcijo in sevanjem, da ni porasta temperature okolice in prav tako ne tujih toplotnih izvorov.

Nazivno tokovno obremenitev določa dopustni trajni obremenilni tok za posamično položene kable oziroma kabelske sisteme (tri posamične kable) po tako imenovanem dnevnem diagramu obremenitve.

Dnevna obremenitev kablov je obratovalno stanje, pri katerem se v dnevnem obdobju obremenitev spreminja od polne ali maksimalne obremenitve do najmanjše minimalne obremenitve. Razmerje med obremenitvijo in maksimalno polno dnevno obremenitvijo se imenuje stopnja dnevne obremenitve.

Glede na vedno višje obremenitve VN omrežij v elektroenergetskem sistemu se večinoma upošteva faktor dnevne obremenitve m = 1 za razliko od v preteklem obdobju uporabljene vrednosti, ki je bila določena z m = 0,7.

Vodnik in kovinski zaslon kabla je potrebno dimenzionirati glede na najvišjo tokovno in napetostno obremenitev, v normalnem obratovanju in v primeru kratkega stika. Ti dve sta odvisni od obratovalne upornosti, načina ozemljitve nevtralne točke in načina ozemljitve kovinskih zaslonov.

V primeru nadaljevanja daljnovodnega omrežja s kablovodom je potrebno zagotoviti ekvivalentno prenosno zmogljivost, ta pa ni odvisna samo od prereza vodnika, ampak tudi od načina polaganja in sposobnosti oddajanja toplote v okolico.

8.5.15 Obratovalni pogoji pri polaganju VN kablov v zemljo

Pogoje pri polaganju kablov v zemljo podaja Tabela 7.

Referenčna temperatura zemlje v globini 1 m (referenčna globina) je 20°C. Pri določitvi globine se upošteva os kabla, pri polaganju kablov v snop pa globina osi snopa. S povečevanjem globine se obremenljivost kabla zmanjšuje. V območju med 0,7 m in 1,2 m je zmanjšanje obremenljivosti minimalno in se, zaradi manjše specifične upornosti tal v večjih globinah, kompenzira, zaradi tega do globine 1,2 m ni potrebno upoštevati zmanjšanja obremenljivosti.

Privzeta je vrednost specifične toplotne upornosti vlažnega terena 1,0 K. m/W. Ob upoštevanju zgornjih pogojev se smatra, da ni prisotnih tujih virov toplote. V primeru izsušenega terena je potrebno upoštevati specifično toplotno upornost suhega terena 2,5 K. m/W.

8.5.16 Polaganje v cevi v zemlji

Pri polaganju v cevi se obremenljivost kablovoda zmanjša zaradi zmanjšane sposobnosti oddajanja toplote v okolico. V primeru, da je izračun obremenljivosti prezahteven, se faktor obremenitve pri polaganju v cevi lahko oceni na 0,85 v skladu z DIN VDE 0276- 1000 točka 5.3.1.2.4.

Pri polaganju kablov v cevi se lahko pojavi izsuševanje okoliške zemljine zaradi spremembe lastnosti zasipnih materialov, njegove migracije, razraščanja korenin dreves ali prevelikih termičnih obremenitev. Pri izdelavi cevne kabelske kanalizacije je potrebno izvesti odvodnjavanje. Cevi morajo biti položene z blagim padcem v smeri podzemnih jaškov, namenjenih spajanju. Pred izdelavo cevne kabelske kanalizacije se priporoča opraviti analizo zemljine na vzorcih, odvzetih vzdolž kabelske trase.

8.5.17 Obratovalni pogoji pri nadzemnem polaganju VN kablov

Pogoji pri polaganju VN kablov se v standardih ne podajajo.

Pri nadzemnem polaganju se izračun tokovne obremenljivosti opravi glede na referenčno temperaturo zraka.

Tokovna obremenljivost pri nadzemnem polaganju je odvisna od konfiguracije in števila sistemov. Če je kabel postavljen v bližini tal ali stene, je cirkulacija zraka otežena. Oddajanje toplote s sevanjem je odvisno od temperature bližnje površine in absorpcijskega koeficienta njenega materiala. Če se kabli dotikajo teh površin, se lahko del toplote odda tudi s prevajanjem. V tem primeru je oddana toplota odvisna tudi od toplotne upornosti površine, ki je v stiku s kablom. Vrednosti korekcijskega faktorja je odvisna od konfiguracije in števila sistemov.

V primerih, kjer je kabel izpostavljen močnemu sončnemu obsevanju, je potrebno upoštevati povečanje temperature zaradi sončnega obsevanja, ki se izračuna iz enačbe:

$$\Delta\vartheta_s = \alpha_o \cdot d \cdot E_s \cdot T'_{zr} \tag{8.37}$$

kjer je:

E_s	moč sončnega obsevanja	[kW/m^2]
T'_{zr}	toplotna upornost zraka okrog kabla pri sončnemu obsevanju	[K.m/W]
d	zunanji premer kabla	[m]
α_o	absorpcijski faktor zunanjega plašča kabla	[-]

Pri moči sončnega obsevanja 1 kW/m^2 se obremenljivost kablovoda zmanjša prib. za faktor 0,8.

8.5.18 Tokovna obremenitev VN kablov

Navodila in enačbe za izračun tokovne obremenljivosti kablovoda (100 % faktor obremenitve) in izračun izgub so podana v standardih IEC 60287-..-.. “Electric cables - Calculation of the

current rating" in sicer: IEC 60287-1-1(2006-12) Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses - Section 1: General

V tem standardu so podane enačbe za izračun dovoljenih tokovnih obremenitev kablov ob upoštevanju dovoljenega povečanja temperature, upornosti vodnikov, izgub in toplotnih upornosti kot tudi izračun izgub.

Enačbe za izračun tokovne obremenljivosti in izgub so podane v [61] (Študija EIMV ref. št. 1836 poglavje 5.12.

Poudariti je treba, da se pri enožilnih kablih z zasloni ozemljenimi na obeh straneh upošteva le izgube zaradi induciranih tokov, pri kablih s segmentnimi vodniki večjih prerezov pa se upoštevajo izgube zaradi vrtinčnih tokov. Pri prepletanju zaslonov je potrebno upoštevati izgube zaradi induciranih tokov v zaslonu zaradi nesimetrične razporeditve mest križanja.

8.5.19 Termična obremenitev VN kabla (dinamična obremenitev kratek stik, preobremenitve)

Termična obremenitev kabla je odvisna od obratovalnega režima. V primeru dlje časa trajajoče polne obremenitve ali pri pogosto ponavljajočih se preobremenitvah lahko pride do povečanja toplotne upornosti, posebej v času visokih zunanjih temperatur, dolgotrajne suše in pomanjkanja padavin. V takih pogojih lahko v neposredni bližini kabla pride do uparitve vlage in njene migracije v smeri proti hladnejšim delom, kjer ponovno kondenzira. Zemljina v neposredni okolici kabla se zaradi tega izsuši, kar lahko privede do povečanja njene toplotne upornosti. Stopnja izsuševanja je močno odvisna od količine padavin in višine talne vode ter urbanističnih posegov (preplastitve in izdelava umetnega odvodnjavanja s pomočjo meteorne kanalizacije in prisotnosti tujih virov toplote).

Najvišja dovoljena termična obremenitev pri kratkem stiku se izračuna iz podatka o kratkostični moči, če pa ta ni poznan, pa iz podatka o izklopni moči odklopnika. Termična obremenitev pri kratkem stiku je odvisna od efektivne vrednosti toka kratkega stika, ki v času trajanja kratkega stika proizvede enako toploto kot dejanski tok, in je določen z enosmerno (faktor m) in izmenično komponento (faktor n), ki ju prikazujeta Slika 56 in Slika 57. Enosmerna komponenta toka kratkega stika (faktor°m) je odvisna od trajanja kratkega stika in temenskega faktorja ℵ, izmenična komponenta pa od trajanja kratkega stika in razmerja I_k''/I_k . Kratkostični tok I_{th}, ki določa termično obremenitev, se določi iz vrednosti faktorjev *n* in *m*.

$$I_{th} = I_k'' \sqrt{m+n} \tag{8.38}$$

kjer je:

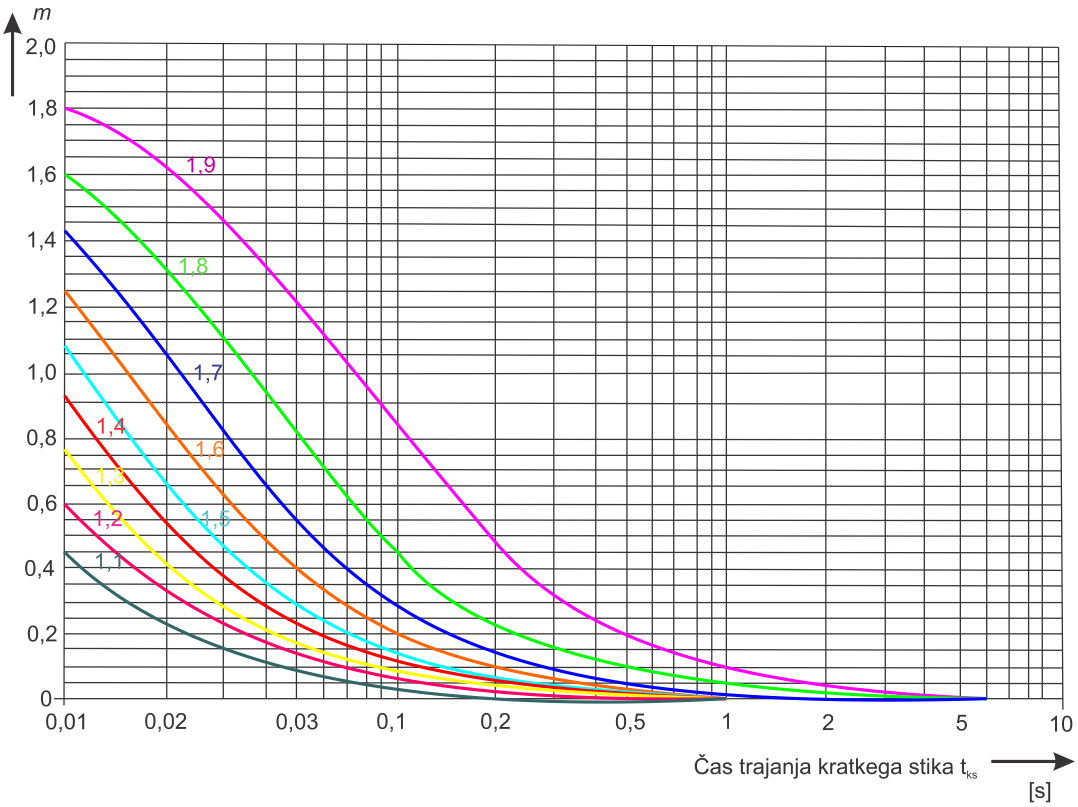
m	faktor za izračun termične obremenitve zaradi enosmerne komp. toka kratkega stika	[-]
n	faktor za izračun termične obremenitve zaradi izmenične komp. toka kratkega stika	[-]
I_k	trajni tok kratkega stika	[A]
I_k"	začetni kratkostični izmenični tok I_k''	[A]

κ temenski faktor kratkostičnega toka -

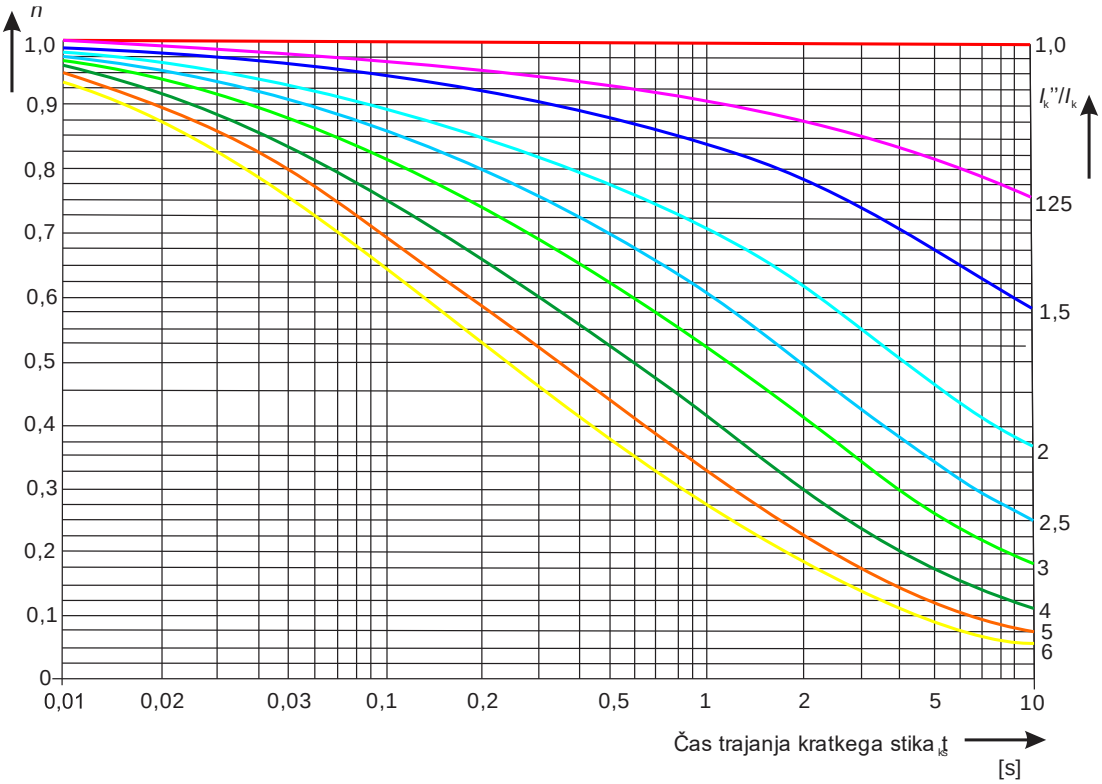
Pri več zaporednih kratkih stikih se kratkostični tok I_{th}, ki določa termično obremenitev, izračuna iz posameznih kratkostičnih tokov I_{thi} s pomočjo enačbe:

$$I_{th} = I_k^{''} \sqrt{\frac{1}{t_k \sum_1^i \left(I_{thi}^2 \cdot t_{ki} \right)}} \tag{8.39}$$

Vrednost enosmerne komponente toka kratkega stika je odvisna od temenskega faktorja toka kratkega stika in časa trajanja kratkega stika, vrednost izmenične komponente toka kratkega stika pa s trajanjem kratkega stika in razmerja I_k”/I_k.



Slika 56: Faktor *m* za izračun termične obremenitve pri kratkem stiku.



Slika 57: Faktor *n* za izračun termične obremenitve pri kratkem stiku.

Omrežja, ki se med seboj razlikujejo po načinu ozemljitve nevtralne točke posamezne vrste kratkih stikov različno obremenjujejo vodnik in zaslon. Pri dvopolnem kratkem stiku brez stika

z zemljo in pri tripolnem kratkem stiku je obremenjen samo vodnik. Vrednost toka pri dvopolnem kratkem stiku brez stika z zemljo znaša √3/2 vrednosti toka pri tripolnem kratkem stiku. Pri enopolnem zemeljskem stiku in dvopolnem kratkem stiku z zemljo ter pri dvojnem zemeljskem stiku je obremenjen tudi zaslon oziroma kovinski plašč (armatura). Tabela 26 podaja kritične obremenitve pri posameznih vrstah kratkega stika v odvisnosti od načina ozemljitve nevtralne točke, ki se uporabljajo pri dimenzioniranju vodnika in zaslona.

8.5.20 Vpliv konstrukcije in formacije na termično obremenitev kabla

Na obremenljivost kablovoda vpliva poleg velikosti izgub tudi sposobnost odvajanja izgubne toplote v okolico oziroma samo hlajenje. To je odvisno od same konstrukcije kabla, načina polaganja (formacije) in načina ozemljitve kovinskih zaslonov.

Pri linijski formaciji je sposobnost odvajanja izgubne toplote večja, pri trikotni formaciji pa manjša. To je očitno le v primeru prepleta kovinskih zaslonov, saj so v primeru, da ta ni izveden, izgube zaradi zančnih tokov pri linijski formaciji bistveno večje kot pri trikotni formaciji, zaradi česar se večja sposobnost odvajanja toplote v okolico pri linijski formaciji popolnoma izniči.

8.5.21 Odvajanje izgubne toplote v okolico (v zemlji in v zraku)

Sposobnost oddajanja izgubne toplote v okolico je pri izbrani formaciji odvisna od notranje in zunanje toplotne upornosti kablovoda tj. od kabelske konstrukcije in medija, ki ga obdaja kablovod (kabelska posteljica).

Pri izračunu notranje toplotne upornosti je treba poznati toplotne upornosti posameznih slojev kabla (vodnik, izolacija, itd.), zunanja toplotna upornost kablovoda pa je odvisna od specifične toplotne upornosti materiala (zemljine oz. zraka) v zemlji pa tudi od debeline posteljice in okoliške zemljine. V določenih primerih, kjer so na trasah visoke specifične toplotne upornosti zemljine, je treba večjo pozornost posvetiti izdelavi kabelske posteljice tako glede pravilne izbire zasipnega materiala kot tudi večjih gabaritov. Odvajanje toplote iz kabla je močno odvisno od okoliške zemljine in debeline posteljice.

8.5.22 Izračun notranje toplotne upornosti kablovoda (T'_1, T'_2, T'_3)

Toplotna upornost enožilnega kabla je podana z enačbo:

$$T_1' = \frac{\rho_1}{2 \cdot \pi} \ln\left(1 + \frac{2t_1}{d_c}\right) = \frac{\rho_1}{2 \cdot \pi} \ln \frac{d_i}{d_c} \tag{8.40}$$

kjer je:

d_c	premer preko vodnika	[m]
d_i	premer preko izolacije	[m]
t_1	debelina izolacije	[m]
ρ_1	specifična toplotna upornost izolacije	[K m/W]

Toplotna upornost sloja med kovinskim zaslonom in armaturo T'_2 je podana z enačbo:

$$T_2' = \frac{\rho_2}{2 \cdot \pi} \ln\left(1 + \frac{2t_2}{d_M}\right) \tag{8.41}$$

d_M	premer preko kovinskega zaslona	[m]
t_2	debelina izolacijskega sloja med kovinskim zaslonom in armaturo	[m]
ρ_2	specifična toplotna upornost materiala med kovinskim zaslonom in armaturo	[K m/W]

Toplotna upornost zunanjega plašča T'_3 je podana z enačbo:

$$T_3' = \frac{\rho_3}{2 \cdot \pi} \ln\left(1 + \frac{2 \cdot t_3}{d_A}\right) = \frac{\rho_3}{2 \cdot \pi} \ln \frac{D}{d_A} \tag{8.42}$$

d_A	zunanji premer armature	[m]
t_3	debelina zunanjega plašča	[m]
ρ_3	specifična toplotna upornost zunanjega plašča	[K m/W]

Pri kablu brez armature se namesto d_A vzame premer kovinskega sloja, ki se nahaja direktno pod plaščem, tako da dobi enačba obliko:

$$T_3' = \frac{\rho_3}{2 \cdot \pi} \ln\left(1 + \frac{2 \cdot t_3}{d_M}\right) = \frac{\rho_3}{2 \cdot \pi} \ln \frac{D}{d_M} \tag{8.43}$$

Za tri enožilne kovinsko oklopljene kable brez armature, položene v trikot na dotik, kjer se za izračun T'_4 uporabi enačba IEC 60287-2-1 str. 39 tč. 2.2.4.3.1, se zgornja enačba za izračun T'_3 množi s faktorjem 1,6 tako da dobi obliko:

$$T_3' = 1{,}6 \frac{\rho_3}{2 \cdot \pi} \ln\left(1 + \frac{2 \cdot t_3}{d_M}\right) = 1{,}6 \frac{\rho_3}{2 \cdot \pi} \ln \frac{D}{d_M} \tag{8.44}$$

8.5.23 Izračun zunanje toplotne upornosti kablovoda T'_4

Izračun zunanje toplotne upornosti kablovodaT'4 pri polaganju direktno v zemljo

Zunanja toplotna upornost T'_4 pri polaganju direktno v zemljo se za posamezen kabel izračuna iz enačbe (IEC 60287-2-1 tč. 2.2.2):

$$T_4' = \frac{\rho_{Ze}}{2 \cdot \pi} \ln k \tag{8.45}$$

ρ_{Ze}	specifična toplotna upornost vlažne zemlje	[K m/W]
k	geometrijska konstanta kabla	[-]

po vstavitvi v izraz

$$k = \frac{2h}{D} + \sqrt{\left(\frac{2h}{D}\right)^2 - 1} \tag{8.46}$$

dobimo

$$T_4^{'} = \frac{\rho_{Ze}}{2 \cdot \pi} \ln\left(\frac{2h}{D} + \sqrt{\left(\frac{2h}{D}\right)^2 - 1}\right) \tag{8.47}$$

D	zunanji premer kabla	[m]
h	globina kabla	[m]

če je $\frac{2h}{D} \geq 10$ potem se izračun T'_4 poenostavi tako da dobi obliko:

$$T_4^{'} = \frac{\rho_{Ze}}{2 \cdot \pi} \ln \frac{4h}{D} \tag{8.48}$$

Za tri enožilne enako obremenjene kovinsko oklopljene kable položene v trikot na dotik, se toplotna upornost T'_4 izračuna iz enačbe (IEC 60287-2-1str. 39 tč. 2.2.4.3.1):

$$T_4^{'} = 1{,}5 \cdot \frac{\rho_{Ze}}{\pi}\left(\ln \frac{4h}{D} - 0{,}630\right) \tag{8.49}$$

Za tri enožilne enako obremenjene kovinsko oklopljene kable položene v linijo na dotik, se toplotna upornost T'_4 izračuna iz enačbe IEC 60287-2-1str. 37 tč. 2.2.4.2.1:

$$T_4^{'} = \rho_{Ze}\left(0{,}475 \cdot \ln\left(\frac{4h}{D}\right) - 0{,}346\right) \tag{8.50}$$

Zgornja enačba se lahko uporabi ob pogoju, da velja: $\frac{2h}{D} \geq 10$

Izračun zunanje toplotne upornosti kablovoda T'4 pri polaganju v PE cevi v zemlji

Za tri enožilne kable položene v trikot v ločenih ceveh se toplotna upornost T'_4 deli na tri dele in sicer (IEC 60287-2-1str. 39 tč. 2.2.7) :

$$T_4^{'} = T_{40}^{'} + T_{40}^{''} + T_{40}^{'''} \tag{8.51}$$

T'_{40}	toplotna upornost med kablom in cevjo	[K m/W]
T''_{40}	toplotna upornost cevi	[K m/W]
T'''_{40}	zunanja toplotna upornost cevi	[K m/W]

$$T'_{40} = \frac{U_f}{1 + 0{,}1 \cdot \left(V_f + Y_f \cdot \vartheta_{cmed}\right) \cdot D} \tag{8.52}$$

kjer je:

ϑ_{cmed}	srednja temperatura medija v cevi	[°C]
D	zunanji premer kabla	[m]
U_f, V_f, Y_f	faktorji podani v standardu 60287-2-1: tabela 4	

$$T''_{40} = \frac{\rho_c}{2 \cdot \pi} \ln \frac{D_{cz}}{D_{cn}} \tag{8.53}$$

kjer je:

D_{cz}	zunanji premer PE cevi	[m]
D_{cn}	notranji premer PE cevi	[m]

Za kovinsko oklopljene kable, ki se polagajo v neobbetonirane cevi se T'''_{40} izračuna na enak način kot pri polaganju v zrak oziroma zemljo, s tem da se zunanji premer kabla nadomesti z zunanjim premerom cevi. Pri polaganju v zemljo se tako uporabi spremenjena enačba iz standarda IEC 60287-2-1tč. 2.2.2.

$$T'''_{40} = \frac{1{,}5 \cdot \rho_{Ze}}{\pi} \left[\ln \frac{4h}{D_{cz}} - 0{,}63 \right] \tag{8.54}$$

8.5.24 Standardi za izračun tokovne obremenljivosti

Osnova za izračun tokovne obremenljivosti kablovoda je relacija med temperaturo vodnika in bremenskim tokom. Velikost bremenskega toka je neposredno povezana s termično obremenljivostjo kablovoda, ta pa je odvisna od najvišje dovoljene temperature vodnika in sposobnosti oddajanja toplote iz vodnika v okolico. Najvišja dovoljena temperatura vodnika se izračuna na podlagi proizvedene toplote, ki se proizvede v vodniku pri obratovanju kablovoda, sposobnost oddajanja toplote iz vodnika v okolico pa se izračuna iz notranje termične upornosti oziroma termične upornosti kabla in zunanje termične upornosti zemljine v okolici.

Sposobnost oddajanja toplote je odvisna od sestave zemljine, vsebnosti vlage, temperature in vetra v primeru nadzemnega poteka kablovoda. Toplota prehaja iz kabla v okolico na različne načine. Pri kablovodih, položenih v zemljo, se toplota odvaja iz kovinskih delov kabla v okolico s kondukcijo.

Količina odvedene toplote se lahko izračuna s pomočjo enačb za odvajanje toplote v standardu IEC TR 62095 Anex A v točki A.1. Dovoljena tokovna obtežba se izračuna s pomočjo enačb, ki opisujejo razmerje med tokom v vodniku in temperaturo v kablu ter njegovi okolici. Pri analitični rešitvi enačb predstavlja največji problem izračun temperaturnega profila v okolici kabla. Pri tem se kabel ponazori z osjo, ki jo obdaja homogeni medij. Ker s tako poenostavitvijo

večinoma ni mogoče dovolj dobro ponazoriti realnih razmer, se pogosto privzame, da ima površina zemlje konstantno temperaturo, ki se poda z izotermo. V praksi je globina kabla enaka 10-kratnem zunanjem premeru kabla, zato se taka poenostavitev pri običajnem temperaturnem razponu izkaže kot ustrezna. Pri kablih večjih premerov ali kablih, ki so položeni bližje površja, je treba uporabiti korekcijo te aproksimacije ali enačbe rešiti numerično. Pri modelu, kjer se površina predstavi z izotermo, se pri izračunu stacionarnega stanja prehajanja toplote lahko predpostavi, da kabel obdaja medij, ki je na eni strani omejen na drugi pa neomejen.

Izračuni prenosa toplote za najpogostejše primere polaganja so opisani v standardih IEC 60287 (angl. Steady-state conditions) in IEC 60853 (angl. Cyclic conditions). Navodila in izračuni tokovne obremenljivosti kablovoda (100 % faktor obremenitve) in izgub so podani v prilogi B na koncu seznama uporabljenih pravilnikov in standardov na str. 339.

8.5.25 Korekcijski faktorji za preračunavanje tokovne obremenitve VN kablov

Pri VN kablih se tokovna obremenljivost določi z izračuni na podlagi skupine standardov IEC 60 287-_-

8.5.26 Dopustni tokovi kratkih stikov VN kablov

Kratkostične tokovne gostote vodnikov iz aluminija in bakra, v odvisnosti od začetne temperature vodnika za čas trajanja kratkega stika 1 sek, prikazuje Tabela 25 (standard SIST HD 620 S2 Part 10- C- 37 tabela 12 in priročnik Končar).

Če je čas trajanja kratkega stika različen od 1 sek, je potrebno vrednosti kratkostičnih tokovnih gostot množiti s faktorjem $1/\sqrt{t}$, pri čemer je t čas dejanskega trajanja kratkega stika. Pri tem je maksimalno dopustni čas trajanja kratkega stika omejen na 5 sekund.

8.6 POLAGANJE VN KABLOV

8.6.1 Kriteriji

Zaradi zagotovitve zanesljivega delovanja elektroenergetskega sistema varovanja življenja in zdravja oseb in premoženja, ki se nahajajo v bližini kablovoda, je nujno natančno določiti način poseganja v varovalne pasove le-teh.

Zakonsko se pri polaganju kablovodov trenutno opiramo na Energetski zakon (EZ-1) in Gradbeni zakon (Uradni list RS št. 61/17, 72/17 – popr. 65/20, 15/21). Kot podzakonski akt EZ-1 moramo upoštevati Pravilnik o pogojih in omejitvah gradenj, uporabe objektov ter opravljanja dejavnosti v območju varovalnega pasu elektroenergetskih omrežij (Uradni list RS, št. 101/10 in 17/14 – EZ-1) (neveljaven predpis, ki se še uporablja), vendar ni pravilnika ali tehniške smernice za polaganja kablov nad 35 kV.

Skladno z EZ-1 je v 468. členu definiran varovalni pas ob EE vodih in objektih, v katerem se smejo graditi drugi objekti in naprave ter izvajati dela, ki bi lahko vplivala na delovanje

omrežja le ob določenih pogojih in na določeni oddaljenosti. Za kablovod nazivne napetosti 110 kV je določen odmik 3 m od osi kablovoda.

V omenjeni zakonodaji ni opredeljenih pogojev glede približevanja in križanja drugih vodnih objektov (vodovod, plinovod) v varovalnem pasu kablovoda, obratno pa zakonodaja za druge vodne objekte natančno predpisuje odmike od drugih vodnih objektov, tudi od energetskih kablov.

S tem v zvezi se je pojavila želja po enakem predpisovanju odmikov tudi za 110 kV kable.

Ob tem je potrebno poudariti, da so detajli približevanja in križanja kablovodov v svetovnem merilu **tipizirani le z regulativo za NN in SN kablovode**, medtem ko **pri VN kablovodih take tipizacije ni.** Prav tako so v standardih, ki obravnavajo NN in SN kable tipizirane tako konstrukcije in dimenzije, kot tudi načini polaganja, vključno z razdaljami med posameznimi kabli in sistemi, med tem ko pri NN kablih zaradi prevelikega vpliva in potreb, ki jih predstavljajo prenosni vodi, to ni mogoče izvesti (namen, konstrukcija kabla, način polaganja, ozemljevanje, itd.).

Kot primer lahko navedemo debelino izolacije, ki je pri SN kablih določena glede na napetostni nivo, medtem ko je pri VN kablih njena vrednost podana le kot priporočilo in lahko proizvajalec sam ali po dogovoru z naročnikom določi njeno vrednost na podlagi preskušanja in obratovalnih izkušenj. S tem v zvezi je pri VN kablih poznana tendenca zmanjševanja debeline izolacije. Ta se je pri VN kablih za napetost U_o/U = 64/110 kV v zadnjem desetletju znižala iz 18 mm na 16 mm, pri večjih prerezih vodnika, ki so bili izdelani na tehnološko izpopolnjenih proizvodnih linijah, pa na komaj 13 mm. Glavni argument za zmanjšanje debeline izolacije je predvsem kvalitetnejša izolacija, ki dopušča višjo vrednost električne poljske jakosti, kvalitetnejša izdelava polprevodnih slojev in višja dimenzijska natančnost. Tehnološke izboljšave proizvodnje kablov nastajajo na področju VN kablov, šele kasneje pa se prenesejo tudi na proizvodnjo SN kablov.

Z regulativo (Pravilnik o pogojih in omejitvah gradenj, uporabe objektov ter opravljanja dejavnosti v območju varovalnega pasu elektroenergetskih omrežij) so pri VN kablovodih določene le splošne zahteve in pogoji, ki jih je potrebno zagotoviti pred izvedbo vseh posegov za izgradnjo predvidenih infrastrukturnih vodov. Poznati je treba natančno lego vseh komunalnih, energetskih in telekomunikacijskih vodov, jih zakoličiti in ustrezno zaščititi. Projektiranje in gradnja komunalne, energetske in telekomunikacijske infrastrukture mora potekati v skladu s projektnimi pogoji oz. mnenji posameznih upravljavcev. Detajle križanja, morebitne prestavitve in drugi posegi, potrebni na infrastrukturnem omrežju, morajo biti natančno obdelani v projektni dokumentaciji za pridobitev gradbenega dovoljenja (za nezahtevne objekte DNZO, za zahtevne objekte DGD) oziroma projekta za izvedbo (PZI). Investitor mora pridobiti soglasje oz. mnenje upravljavcev drugih infrastrukturnih vodov, ki se nahajajo v vplivnem območju investitorja infrastrukturnega voda oziroma njegovega upravljavca.

Za zagotovitev zanesljivega in varnega obratovanja VN omrežij so poleg zagotavljanja obratovalnih zahtev potrebne tudi druge aktivnosti, med katerimi je potrebno izpostaviti vzdrževanje stalnih stikov in komunikacijo sistemskih operaterjev EE omrežij z investitorji, projektanti oz. izvajalci gradbenih del, kar omogoča enostavnejše in hitrejše informiranje le-teh o pogojih za izvedbo del ter pridobitev informacij, ki presegajo vir informacij in pogojev, ki so predpisani v zakonodaji s predpisi in upravnimi postopki. To so predvsem specifične informacije iz internih podatkovnih baz, ki jih hranijo strokovne inštitucije in so bili pridobljeni na osnovi meritev (npr. geodetski posnetek, podatki o konstrukcijah ZRMK (zavod za raziskavo metalnih konstrukcij), geološki in geomehanski podatki itd.). Poleg napotitve na zakonodajo tako sodelovanje omogoča tudi seznanitev z zahtevami sistemskega operaterja ter projektno nalogo glede na vrsto predvidenih posegov v varovalni pas oziroma vrsto objekta, ki bo delno tudi umeščen v to območje.

Način izvedbe del, s katerimi se za nameravane objekte ali dejavnosti zagotovi varna graditev in varno izvajanje dejavnosti na zemljišču, ki leži v varovalnem pasu elektroenergetskega omrežja, je potrebno določiti s projektnimi pogoji. Med dela, ki se izvajajo v varovalnem pasu VN kablovoda se uvrščajo predvsem:

- prekritje elektroenergetskega voda z armiranimi betonskimi ploščami,
- prekritje elektroenergetskega voda z armiranim betonskim U-profilom,
- obbetoniranje elektroenergetskega voda,
- zaščita elektroenergetskega voda s kineto,
- potek elektroenergetskega voda v zaščitni cevi, mikrotunelu ali tunelu,
- uporaba zaščitne cevi za drugo infrastrukturo,
- prestavitev podzemnega elektroenergetskega voda,
- izvedba ali predelava komunalne in druge gospodarske javne infrastrukture v varovalnem pasu elektroenergetskega voda,
- ureditev nove dostopne poti do varovalnega pasu elektroenergetskega voda.

Investitor oz. projektant mora pri projektiranju tujih infrastrukturnih objektov od sistemskega operaterja pridobiti podatke in projektne pogoje, na podlagi teh pa izdelati projekt za izvedbo (PZI). Smiselno je, da pred izvedbo gradbenega posega, ki se nanaša na zgoraj našteta dela, sistemski operater predpiše vsaj naslednje obveznosti in ravnanja investitorja ali izvajalca del:

- vnaprejšnje napovedovanje izvajanja določene vrste aktivnosti v območju varovalnega pasu VN kablovoda,
- predhodno izvedbo zakoličbe elektroenergetskih podzemnih in telekomunikacijskih vodov, ki služijo sistemskemu operaterju ali lastniku infrastrukture,
- posredovanje geodetskih izmer, kopije geodetskega elaborata, verificiranih podatkov in poročil o izvedenih delih v območju varovalnega pasu elektroenergetskih omrežij,
- ureditev gradbišča in opis postopka izvajanja del z vidika izvedbe tehnične rešitve, ki bodo trajno omogočale zanesljivo delovanje elektroenergetskega omrežja in z vidika varstva pred dotikom delov pod napetostjo in napetostjo dotika.

S kabli je potrebno pri polaganju ravnati tako, da se njegove nazivne lastnosti bistveno ne spremenijo. Posebno je potrebno paziti na:

- dimenzioniranje prereza vodnika glede na pričakovani tok obremenitve,
- vpliv grupiranja kablov ali drugih izvorov toplote, specifično toplotno prevodnost medija, v katerem je kabel položen, in zaščito pred sončnimi žarki,
- vpliv urbanizacije na preusmeritev toplotnih tokov in izsušitev zemljine,
- največji kratkostični tok,
- zaščito pred blodečimi toki in korozijo,
- stabilnost terena in vibracije,
- zaščito pred mehanskimi poškodbami kabla,
- zaščito pred kemijskimi vplivi in če je potrebno na izbor posebne konstrukcije kabla,
- gladkost in trdnost podlage, na katero se kabel polaga,
- previjanje kablov: uporabiti se sme samo ustrezne bobne (ostankov se ne sme previjati na manjše bobne).

Kriteriji, vezani na način polaganja so:

- najmanjši upogibni radij,
- največja natezna sila,
- masa,
- zunanji premer, posebej pri uvleki kabla v cevno kanalizacijo,
- notranji premer cevne kanalizacije,
- fizikalne in kemijske lastnosti v primeru izpostavljenosti poostrenim pogojem,
- ognjevarnost pri kabelskih vodih v elektrarnah in RTP (zunanji plašč iz ST 12).

Dodatni kriteriji, ki se nanašajo predvsem na sam način polaganja (podzemno ali nadzemno polaganje, prečkanja in prehodi), so vezani predvsem na zaščito pred mehanskimi poškodbami pri uvleki v cevno kanalizacijo, zaščito pred previsoko termično upornostjo v kanalizacijskih ceveh itd.

Kabli namenjeni preskrbi potrošnikov z električno energijo, kakor tudi za gradnjo mestnih kabelskih omrežij, se lahko polagajo (odvisno od njihove konstrukcije) v suhih in vlažnih prostorih, v zemlji, pod javnimi prometnimi površinami in na odprtem prostoru. Pri polaganja v vodo se priporoča, da se uporabi zunanji plašč iz HDPE.

Pod javnimi prometnimi površinami se na splošno smatrajo: javne prometne poti, križišča, trgi, vodotoki, mostovi, prehodi, nadvozi, podvozi in podobno.

Način izdelave in vsebino projektne dokumentacije za polaganje kablov predpisujejo interni predpisi oziroma trenutno veljavni zakon o izgradnji objektov in pravilnik o podrobnejši vsebini dokumentacije (Uradni list RS št. 36/18) in obrazci povezani z gradnjo.

Trasa kabla je določena s položajem končnih točk, ki jih povezuje kabel in mora izpolnjevati pogoj najbolj ekonomičnega in najbolj smotrnega poteka kabla.

Trasa kabla mora biti usklajena z obstoječim stanjem podzemnih komunikacij, z upoštevanjem predpisov ter pogojev različnih pristojnih organov in zainteresiranih podjetij.

Pri planiranju in gradnji javnih prometnih poti in vgradnji raznih inštalacij se priporoča razpored elektroenergetskih kablov glede na druge komunikacije.

V skladu s predhodno točko se priporočajo še naslednja načela za namestitev podzemnih inštalacij na urbaniziranih območjih:

- Komunikacije za preskrbo morajo biti praviloma izven cestišča, kanalizacija in visokotlačni plinovod pa pod cestiščem.
- Če prostor izven cestišča ne zadošča za namestitev večjega števila inštalacij, je potrebno pod cestišče namestiti toplovod in ostale magistralne vode.

Pri razdelitvi je potrebno upoštevati medsebojni vpliv različnih komunikacij, potrebni prostor za delo, izgradnjo in obratovanje komunikacij.

Za namestitev komunikacij izven cestišča je potrebno razpoložljivi prostor v pločniku in stezi za kolesarje, zelenici in živi meji razdeliti v cone.

Omenjene cone je potrebno načeloma predvideti na obeh straneh ceste.

Od predvidenih širin con se lahko v primeru potrebe tudi odstopi.

Pločnik za pešce se deli na cone v smeri od zunaj proti sredini prometnice z upoštevanjem globine polaganja (priloga A5) na:

- E cona (elektrovodi)
- PV cona (plinovodi)
- V cona (vodovodi)
- TK vodi cona (TK vodi)

Vodi se ne smejo polagati paralelno pod tirnicami, križanje pa se lahko izvede pod kotom, ki ni manjši od 30°.

Vodi, ki niso namenjeni javni preskrbi, se lahko polagajo pod javne površine le tedaj, če ne ovirajo javnih komunikacij.

V primeru pomanjkanja točnih podatkov o položaju podzemnih inštalacij je potrebno vzdolž projektirane trase izkopati na določenih mestih preskusne jame.

Neposredno po polaganju kabla pred zasutjem je potrebno opraviti geodetski posnetek trase in po potrebi namestiti pasivne markerje.

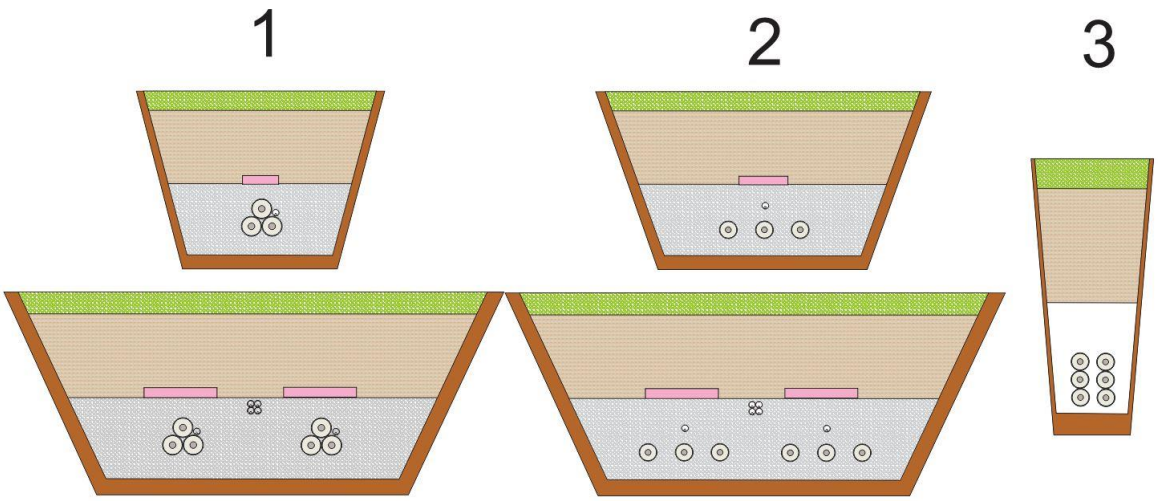
Pri prenosu trase z načrta na zemljišče je potrebno upoštevati stalne orientacijske točke (npr. zgradbe). Na nenaseljenih območjih pa se trasa določi z geodetskim instrumentom.

Pred pričetkom del na trasi si mora investitor priskrbeti kopijo katastrskega načrta podzemnih inštalacij tega območja ter pisno mnenje in pogoje podjetij, katerih podzemne inštalacije se nahajajo na tem območju. Brez takšne predhodne dokumentacije se ulice lahko prekopljejo

samo v primeru okvar, pri čemer pa morajo biti izvedeni predpisani varnostni ukrepi za zaščito obstoječih podzemnih inštalacij.

8.6.2 Polaganje VN kablov v zemljo

Najpogostejši način polaganja je polaganje v odprt kabelski jarek. Pri tem sta najpogostejši razporeditvi oz. formaciji trikotna in ravninska. Vertikalna razporeditev se uporablja le pri večsistemskih kablovodih, kjer ni na razpolago dovolj širokega koridorja za polaganje vseh sistemov v isti ravnini. Razporeditev oz. formacijo kablov pri polaganju v odprt kabelski jarek prikazuje Slika 58.



Slika 58: Polaganje kabla v odprt jarek, 1-trikotna formacija, 2- linijska formacija in 3- vertikalna formacija

Globina polaganja pri polaganju v odprti kabelski jarek ne sme biti manjša od 0.7 m, v povprečju pa znaša od 0.7 do 1.2 m. Seveda je odvisno od tega, kje so kabli položeni. Globina je odvisna predvsem od tega, kje poteka trasa in tudi namembnosti zemljišč (elektromagnetnega vpliva na okolico, kmetijske dejavnosti več kot 1,5 m). Kabli potekajo tudi na globini 8 m, ko se izvaja podvrtavanje za prečkanje določenih površin (križanja objektov, vodotokov, jezer, zaščitenih površin) nekje tudi 0,5 m globoko v stikališčih. Nazivna globina polaganja, pri kateri ni potrebno upoštevati faktorja obremenitve, je 1,2 m. V primeru, da globina polaganja odstopa od nazivne globine, je potrebno pri obremenljivosti upoštevati korekcijski faktor, vendar se v razponu med 0.7 m in 1.2 m globine vpliv spremembe obremenljivosti kompenzira z razliko v specifični upornosti zemljine, zato korekcijskega faktorja ni potrebno upoštevati.

V kolikor se kabel polaga v cevno kanalizacijo, se le-ta lahko položi tudi na manjši globini, če je v celoti obbetonirana, vendar ne manjši od 30° cm (kablovodne) globine.

Pri prehodih cest in ulic z gostim prometom je potrebno glede na največjo projektirano obremenitev izdelati projekt na osnovi zahtev pravilnika o tehničnih pogojih za graditev podzemnih elektroenergetskih vodov izmenične nazivne napetosti nad 1 kV do 400 kV

(Uradni list RS, št. 42/2021), ki mora vsebovati izračun tlačne obremenitve ter skladno s tem določiti globino vkopa cevi za kabelsko kanalizacijo.

Razmik med kabli posameznih faz se določi skladno z razpoložljivo širino koridorja in zahtevano obremenljivostjo kablovoda. Enako velja za razmik med posameznimi sistemi pri večsistemskem kablovodu.

Pri večjem številu paralelnih sistemov kablovodov je pred zasutjem potrebno upoštevati temperaturne razlike med dnevom in nočjo ter vpliv sončnega obsevanja na raztezanje kablov in posledično spreminjanje razdalj med bližnjimi paralelnimi kabli.

Zemeljska dela je potrebno izvajati v skladu s splošnimi zahtevami gradbenih norm in drugih obstoječih predpisov, ki obravnavajo tovrstna dela.

Širina in globina kabelskega jarka se praviloma določa po nazivni napetosti in številu paralelno položenih kablov.

Odstopanje od normalne globine polaganja kablov je dovoljeno pri križanjih z drugimi podzemnimi inštalacijami ter pri paralelnem polaganju kablov različnih napetostnih nivojev v skupni jarek.

Jarek, v katerega se polagajo podzemni kabli, se koplje kot odprti jarek.

Pri prehodih trase kablov pod železniško in tramvajsko progo ali cestiščem pomembnejših prometnic, na katerih se promet ne sme ovirati, se izvaja z podvrtavanjem ali prebijanjem odprtine in naknadno uvleko kabla skozi cev.

Stene jarka so lahko navpične ali poševne. Jarki z navpičnimi stenami se kopljejo v zemljišču, ki se ne zasipava.

V sipkem zemljišču je potrebno stranice jarka kopati poševno in jih ustrezno pričvrstiti. Velikost nagiba je odvisna od vrste zemljišča, vlažnosti in vrste obremenitve, ki deluje na robovih jarka.

Kopanje jarka se izvede z ustrezno mehanizacijo.

Pri izkopu jarka ob cestišču se zemlja ne sme odlagati v odvodne kanale.

Odtočne jaške, ventile za plin in vodo, hidrante, jaške za TK°kabelske vode in elektroenergetske vode se ne sme zasipavati z zemljo.

Za varnost pešcev in vozil je potrebno izkopani jarek kakor tudi vse druge gradbene jame predpisno označiti in zavarovati. Če ni cestne razsvetljave, je potrebno ponoči izkopani jarek označiti s svetlobno opozorilno signalizacijo.

Vhod v hiše in poslovne prostore se izvede z mostovi za ustrezno obremenitev in z ustrezno varnostno ograjo.

Ovire v kabelskih jarkih (zidovi, druge podzemne inštalacije, arheološke najdbe) moramo pazljivo obiti in zaščititi. Če je potrebno začasno odstraniti mejne kamne in merilne točke, je potrebno zagotoviti njihovo ponovno namestitev s strani pooblaščene organizacije.

Obstoječe postroje in objekte kot so cestna razsvetljava, stebri, razdelilne omarice in podobno, katerih stabilnost bi bila pri izkopu ogrožena, je potrebno strokovno zavarovati v skladu z veljavnimi predpisi.

Pri kopanju jarkov v bližini stavb in zidov je potrebno zagotoviti, da se ne ogrozi stabilnosti objekta.

Pri izkopu kabelskega jarka vzdolž drevoreda se priporoča oddaljenost najbližje stene jarka do debla 2,5 m (izsuševanje in vpliv korenin na kabel) in polaganje v kabelsko kanalizacijo.

Vse podzemne inštalacije, ki so položene vzdolž jarka ali ga križajo, je potrebno pri večji širini jarka zaščititi.

V primeru, da vendarle pride pri delih do poškodb podzemnih inštalacij, je potrebno takoj obvestiti lastnika oziroma upravljalca.

Vse objekte in postroje je investitor dolžan vzpostaviti v prvotno stanje.

Lomljenje trase oziroma jarka ali spremembo globine jarka zaradi umika pred drugimi podzemnimi objekti je potrebno izvesti postopno in upoštevati polmer krivljenja kabla.

Dno jarka je potrebno zravnati in očistiti kamenja in drugih ostrih predmetov, ki bi lahko povzročili okvaro kabelskega plašča.

Dno jarka je potrebno prekriti s plastjo presejane zemlje, mivke ali drugega ustreznega materiala v debelini 10 cm, vanjo položiti kabel in ga prekriti z enako plastjo v debelini 10 cm (posteljica za kabel).

8.6.3 Polaganje VN kablov v prostorih

Pri vpeljavi kablov v zgradbe se mora jarek enakomerno dvigovati proti mestu uvoda. Izogibati se je potrebno strmim uvodom kablov v zgradbe.

Odprtino za uvod kabla v zgradbo je potrebno izdelati nad nivojem podzemnih kablov. V odprtino se namestijo zaščitne cevi (plastične, betonske, jeklene) ustreznega premera, ki se zatesnijo z materialom, ki ne prepušča vode. Pri nameščanju cevi je potrebno zagotoviti blag naklon cevi proti zunanjemu zidu. Vidne dele jeklenih cevi je potrebno zaščititi pred korozijo.

Uvod kablov v zgradbo se pazljivo zapre z ustreznimi tesnili, ki preprečujejo vstop plina ali vode. Pri kablih, ovitih z juto ali podobnim gorljivim materialom, je potrebno v prostoru odstraniti gorljivi omot ali oplet in armaturo premazati z zaščitno barvo pred korozijo.

V prostorih se kabli polagajo glede na okoliščine s posebnimi zaščitnimi ukrepi. Na zidove se lahko kabli pritrdijo na jekleno konstrukcijo z ustreznimi objemkami. Kabel se ne sme poškodovati zaradi prevelikega pritiska objemk. Razmik med posameznimi objemkami je 0,5 m do 1,5 m odvisno od konstrukcije in teže kabla.

Pri pritrjevanju enožilnih kablov trifaznega sistema ne smemo uporabljati zaprtih jeklenih objemk, ampak objemke iz nemagnetnega materiala.

Vsi kovinski deli, ki se uporabljajo pri polaganju in pritrjevanju kablov, morajo biti kvalitetno zaščiteni pred korozijo. Kovinske nosilce in palice moramo ozemljiti. Armature kabelskih jaškov je potrebno variti (vsaj 30 %) ter z valjancem povezati z ozemljitvijo. Litoželezne pokrove, katerih površina presega 1 m^2, je prav tako potrebno povezati z ozemljitvijo.

V zgradbi se lahko kabli polagajo tudi v kabelski kanal.

Dimenzije kanala se določijo po številu položenih kablov. Pri tem je potrebno paziti, da se z energetsko izgubo v kablu ne prekorači dopustne temperature zraka v kanalu in s tem tudi dopustne temperature kabla. Če je potrebno, se lahko uporabi tudi umetna ventilacija. Kabelski kanali so pokriti z montažnimi ploščami.

Kable ni dovoljeno obzidovati v zidove ali konstrukcijske dele objekta.

Kabli se lahko polagajo na (perforirane) kabelske police, ki so pritrjene na zid ali na samostoječe podstavke. Pri tem moramo omogočiti dobro odvajanje toplote. Razdaljo med kabelskim policami je potrebno določiti v projektu na podlagi izračuna glede na kabelsko konstrukcijo in prerez.

Razdalja med kabli posameznih faz pri polaganju v horizontalni ravnini ne sme biti manjša od D + 7 cm oziroma manjša od premera posameznega kabla.

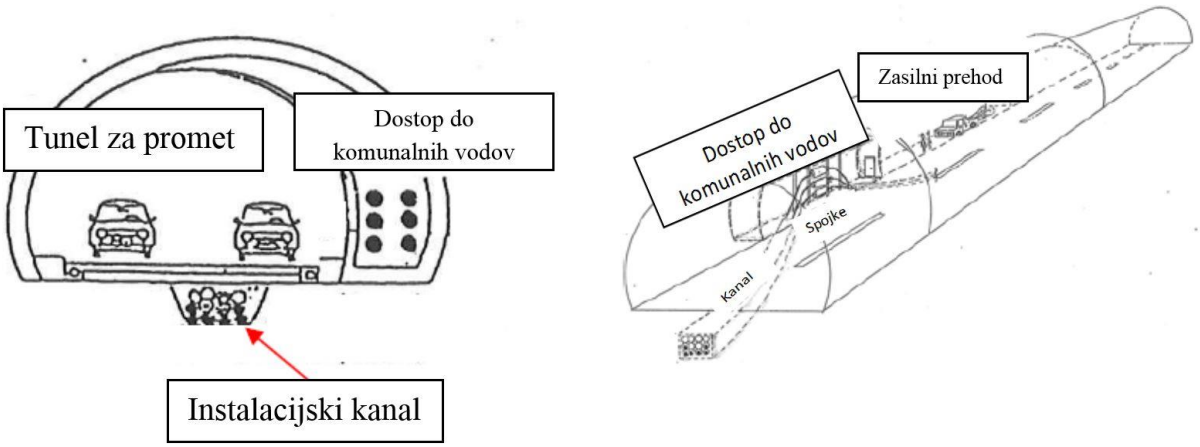
Polaganje VN kablov v prostorih s posebnimi zahtevami

Pri polaganju kablov v prostorih javnih zgradb, predorih, mostovih in ostalih objektih, kjer se zadržuje večje število ljudi je treba upoštevati ustrezne protipožarne ukrepe za primer nastanka požara in njegovega širjenja. Pri polaganju v prostorih s povečano požarno ogroženostjo je potrebno uporabiti ustrezne kable, ki zagotavljajo dolgotrajno protipožarno odpornost v skladu z ustreznimi standardi.

8.6.4 Polaganje VN kablov v predorih

V primeru polaganja večjega števila kabelskih sistemov je te primerno položiti v poseben kabelski predor, s čemer se zagotovi večja prenosna zmogljivost in zanesljivost, kot pri polaganju v odprti rov ali kineto. Možno je uporabiti tudi poseben del predora, ki se gradi za drugo namembnost npr. promet, s tem da se hkrati zagotovi dodatna cev ali kineta, ki je namenjena izključno kablovodu. Predorska cev se večinoma izdela s posebnimi vrtalnimi napravami, nato pa se stene obloži s predfabriciranimi betonskimi segmenti. Po tej metodi je mogoče izdelati predorske cevi s premerom od 80 cm do 4 m. Višina predora mora biti prilagojena pogojem montaže in vzdrževanja. Pri namestitvi in pritrditvi kablov je potrebno upoštevati raztezanje in krčenje zaradi razlik v termičnih obremenitvah, zato mora biti uporabljen kačasti sistem polaganja.

Pri polaganju kablovoda v predorih je potrebno zagotoviti protipožarno varnost. Namestiti je potrebno prezračevalni sistem zaradi varnosti vzdrževalnih ekip. S tem se poveča tudi prenosna zmogljivosti kablovoda. V predoru so lahko kabli togo ali fleksibilno vpeti, tako je omogočeno njihovo krčenje in raztezanje bodisi v horizontalni bodisi v vertikalni smeri.



Slika 59: Primer namestitve VN kablov v cestni predor

8.6.5 Polaganje enožilnih VN kablov za izmenični tok

Enožilnih kablov z jekleno armaturo ne smemo uporabljati pri izmeničnem toku.

Za pritrditev enožilnih kablov na izmenični tok ne smemo uporabljati objemk iz magnetnega materiala. Te se lahko uporablja, če so kabli pritrjeni na izolacijsko podlago tako, da z njo ne tvorijo zaprtega galvanskega kroga.

Če se enožilni kabli polagajo v jeklene cevi, nikakor ni dopustno polaganje enega kabla v eno cev, ampak veljajo za razne sisteme naslednji načini polaganja:

- pri enofaznem izmeničnem sistemu se polagata v cev oba kabla skupaj,
- pri trifaznem sistemu ali trifaznem sistemu z nevtralnim vodnikom se polaga vse tri oziroma štiri kable v isto cev.

Razporeditev oz. formacija enožilnih kablov v trifaznem sistemu je lahko v obliki trikota ali v ravnini.

V primeru obojestranske ozemljitve kovinskih zaslonov se priporoča trikotna razporeditev oz. formacija, še posebej pri kablih z večjimi prerezi.

V primeru polaganja kabelskega sistema, ki ga sestavlja večje število enožilnih kablov, je potrebno zagotoviti, da je induktivnost paralelno potekajočih kablov, ki pripadajo isti fazi, čim bolj enaka, da ne bi prišlo do razlik med tokovi v kablih, ki pripadajo isti fazi. To se najlažje zagotovi, če se kable različnih faz med seboj poveže v posamezne sisteme in je razmik med kabli enega sistema manjši od razmika med kabli različnih sistemov. Razdalja med posameznima sistemoma mora biti približno dvakrat večja od razdalje med kabli, ki pripadajo istemu sistemu.

Polaganje VN kablov na nagnjenih in drsečih terenih ter navpično polaganje

Če je kabel položen v zemljo v neprekinjeni dolžini 10 m ali več pod stalnim naklonom, imenujemo tako traso nagnjeno. Pri polaganju na nagnjenih trasah je potrebno kabel pritrditi na način kot to določajo navodila proizvajalca.

Predvideni tipski kabli po svoji konstrukciji in z izolacijo iz trdnega dielektrika omogočajo tudi polaganje na nagnjenih terenih.

Na nagnjenih terenih je potrebno kable in kabelske spojke razbremeniti pred vplivom teže kabla, kabelskih spojk in zemlje, v katero so položeni.

Pri naklonu terena do 20° se kabel polaga vijugasto, kabelske spojke se polaga izven kabelske trase.

Pri naklonu terena nad 20° in na drsečih terenih se priporoča uporaba kablov z armaturo iz jeklenih žic (npr. N2XF2Y AWA, NA2XF2Y AWA), kable pa se spoji s specialnimi spojkami. Če se v takih primerih uporabi kabel z armaturo in normalne spojke, je potrebno oba elementa razbremeniti pred nateznimi napetostmi skladno z navodili proizvajalca.

Kabelski kanal na nagnjenih terenih je potrebno na določenih mestih dodatno zavarovati pred izpiranjem posteljice kabla.

8.6.6 Prehod VN kablovoda v nadzemni vod

Pri prehodu kablovoda v nadzemni vod je potrebno že v zemlji kabel oblikovati tako, da polmer krivljenja ne prekorači najmanjše še dopustne vrednosti.

Kabel mora biti zaščiten pred mehanskimi poškodbami najmanj 0,3 m v zemlji ter najmanj 2,2 m nad zemljo.

Mehanska zaščita se izvede s plastičnimi cevmi ali polcevmi, aluminijskimi koriti ali ščitniki ustreznega premera, ki so pritrjeni z objemkami najmanj na dveh mestih ali z ostalimi nemagnetnimi materiali.

Če je zračna dolžina kabla večja od 10 m, se pri dimenzioniranju prereza kabla upošteva segrevanje kabla zaradi izpostavljenosti soncu ali se predvidi ustrezna zaščita.

Pri navpičnem prehodu je potrebno upoštevati tehnična navodila proizvajalca ali določila standardov za navpično polaganje kablov.

Pri prehodu nadzemnega voda v kablovod je potrebno uporabiti ustrezno zaščito pred atmosferskimi prenapetostmi.

8.6.7 Polaganje VN kablov na mostovih

Glede na različne konstrukcije mostov je potrebno prilagoditi način prehoda kabla sami konstrukciji mosta. Pri tem moramo vedno upoštevati usklajenost morebitnih ostalih komunalnih inštalacij s kablom pri pristojnih podjetjih. Priporoča se, da se kabli polagajo na nizvodni strani mostne konstrukcije.

Polaganje kablov preko armiranobetonskih, jeklenih in kamnitih mostov se praviloma izvaja pod pločnikom v kanalih ali posebnih ceveh iz ognjevarnega materiala.

Medsebojna razporeditev kablov mora biti takšna, da morebitni preboj enega kabla ne ogroža sosednjih kablov.

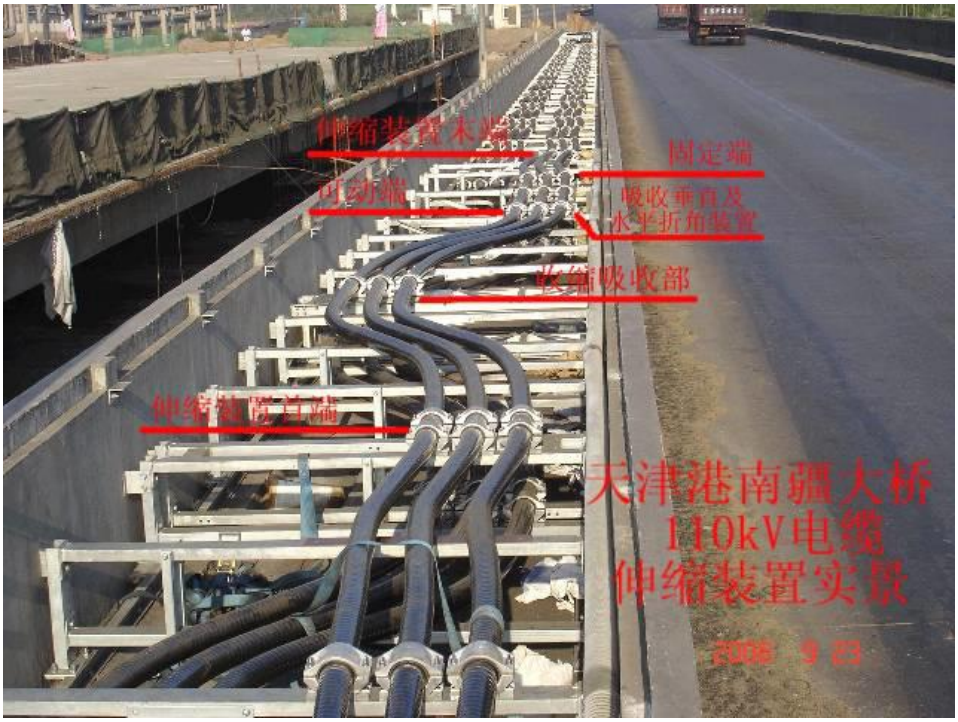
Priporoča se, da ima kabel na mostu, ki je položen v kanalu ali cevi, samougasni plašč.

Če se kabli polagajo na nosilce - konzole, morajo ti imeti mehansko zaščito.

Na mostovih spajanje kablov zaradi vibracij ni priporočljivo. Spojke naj bodo 20 m stran od mosta in drugih objektov, ki povzročajo vibracije tal. Izvedeno mora biti kačasto polaganje

zaradi krčenja in raztezanja ob temperaturnih nihanjih zaradi klime in sončnega obsevanja in vibracij.

Slika 60: Pantografska namestitev VN XLPE kablov na dolgem visečem mostu.



Slika 61: Vijugasto polaganje 110 kV kablov na mostu Tianjin Nanjiang Bridge, Kitajska

Slika 62: Primer namestitve 110 kV kablov na betonskem mostu v Franciji

Glede na izvedbo mosta je dopustno tudi prosto polaganje kablov na mestih, ki niso dostopna ljudem.

Uporaba kabla s svinčenim plaščem na mostovih ni priporočljiva (zaradi škodljivega delovanja vibracij mosta na svinčeni plašč).

Vpliv vibracij se lahko zmanjša z različnimi ukrepi: polaganje kabla na posteljico iz materiala, ki blaži vibracije, uporaba kabla z mehansko zaščito iz žice ali namestitev naprav za zmanjšanje vibracij.

Pri prostem polaganju kablov na mostu je potrebno kable zaščititi pred sončnimi žarki in omogočiti hlajenje kabla s pretokom zraka.

Na diletacijskih mestih na mostu je potrebno kabel polagati v blagem loku ali zanki, da bi se izognili diletacijskim obremenitvam kabla.

Polaganje elektroenergetskih kablov preko lesenih mostov ni dovoljeno.

Način prehoda kablov preko armiranobetonskih in kamnitih mostov je odvisen tako od konstrukcije in nosilnosti mosta kakor tudi od razpoložljivega prostora.

Če niso že zgrajeni kanali in vgrajene cevi v mostu, se lahko izdela posebna jeklena konstrukcija, ki se pritrdi na most. Način pritrditve kablov v nosilne konstrukcije ne sme vplivati na trdnost konstrukcije mosta.

Prepovedano je vzidovanje kablov v oboke mosta, razen če so bile že nameščene cevi ob priliki gradnje mosta.

Pri večjih armiranobetonskih mostovih je dovoljeno polaganje kablov v posebnih kanalih ali plastičnih ceveh.

Za prehod kablov pri mostovih jeklene konstrukcije se lahko uporabi tudi sama mostna konstrukcija, ki služi kot nosilec ali plastične cevi, pritrjene na konstrukcijo mosta.

Vse kovinske konstrukcije za polaganje kablov je potrebno ozemljiti.

Kable na jeklenih ali armiranobetonskih mostovih z elektrificirano železniško ali tramvajsko progo je potrebno polagati izolirano, tako da ne pride do dotika s kovinskimi deli mosta ali armature armiranobetonske konstrukcije. Ta določba je v ozki zvezi z ukrepi za zmanjšanje škodljivega delovanja blodečih tokov.

Podzemni kabli so na večini kabelskih tras stalno izpostavljeni vlagi. Korozijska izpostavljenost se še poveča, če je v zemlji prisotna voda. Voda v naravi večinoma ni čista ampak vsebuje soli, kisline in baze, zato je dober elektrolit. Kljub temu za elektrokemičen proces korozije zadostuje tudi povsem kemično čista voda. Korozijska izpostavljenost se še poveča, če je v vodi raztopljen kisik. Prav tako je korozija intenzivnejša zaradi delovanja električnih tokov po zaslonih in blodečih enosmernih tokov v okolici železnic.

Če v smeri trase oziroma vodne ovire ni mosta ali obstoječi most ne more nositi teže kabla in cevi ter polaganje kabla na dno vodotoka ni smotrno ali ni mogoče, se lahko kabel položi na specialno konstrukcijo mosta, če so za to izdana soglasja. Za tak način polaganja kablov veljajo prav tako prej omenjeni napotki.

8.6.8 Podvodno polaganje VN kablov

Pri podvodnem polaganju se priporoča uporaba konstrukcije kabla s prečno vodno zaporo – oznaka: FL) in uporaba kablov s svinčenim plaščem ali plaščem iz valovitega aluminija (angl. Corrugated sheath) ter zunanjega plašča iz HDPE (polietilen z visoko gostoto).

Pri poškodbi plašča lahko pride do vdora vode v notranjost kabla, če je poškodba tako globoka, da predre aluminijsko zaščito (oznaka: FL).

Pri neposrednem polaganju kablov v vodo je potrebno posvetiti posebno pozornost izbiri trase. Izogibati se je potrebno trasi z ostrimi podvodnimi stenami in čermi. Dno tekoče vode ne sme bistveno menjati svoje konfiguracije, kar pomeni, da se je potrebno izogibati peščenim nanosom, ki spreminjajo svoj položaj in ki bi odnesli dno pod kablom ali bi kabel zasuli. Kabel je potrebno dodatno obtežiti.

Trasa podvodnega kablovoda mora biti oddaljena od mostov, sidrišč za ladje in podobnih mest, kjer naprave za vodni promet lahko poškodujejo kabel.

Položeni kabel na dnu vodotoka ne sme biti napet, ampak se mora prilagoditi konfiguraciji tal.

Na obalah med najnižjo in najvišjo koto vodostaja mora biti kabel tako položen, da morebitno odnašanje in trganje obale ne more poškodovati kabla. Najmanjša dolžina vkopa je odvisna od obale in mora znašati od 30 do 50 m.

Polaganje je potrebno opraviti po možnosti pri najnižjem vodostaju. V priobalnem delu je potrebno kable zaščititi pred vplivi valov in vodnimi tokovi.

Kabel mora biti iz enega kosa zadostne dolžine, za kar je potrebno pred polaganjem ugotoviti profil dna, da se lahko določi potrebna dolžina kabla. Prehod je potrebno uresničiti po možnosti na čim krajšem oziroma čim ožjem delu vodotoka.

Način in globino polaganja kabla pri prehodu vodotoka (direktno polaganje na dno ali pod dnom) določi ali predpiše pristojno podjetje za vodno gospodarstvo. Za en ali drug način polaganja se lahko uporabi kabel ustrezne konstrukcije ali cevi ustrezne mehanske trdnosti za zaščito kabla normalne izvedbe. Cevi morajo biti iz nerjavnega materiala.

Pri širokih prehodih vodotoka je potrebno uporabiti ustrezno opremo in mehanizacijo za polaganje.

Križanje kabla s plovno potjo moramo označiti z oznako o prepovedi sidranja. Oznako je potrebno na vsaki strani obale tako dobro in vidno postaviti, da stoji neposredno poleg trase, njen napis je obrnjen na desno stran prometa. Na nepreglednem delu obale se morajo namestiti oznake z obojestranskim napisom.

Velikost oznake o prepovedi sidranja se izbere glede na širino vodotoka na mestu prehoda, kar prikazuje Tabela 34.

Polaganje kablov v morju zajemajo posebni predpisi.

Če je kabel izpostavljen vodi, se v primeru poškodb zunanjega plašča poveča nevarnost korozije kovinskih delov kabla. Priporočljivo je uporabiti kabelske konstrukcije z vodotesnimi izvedbami kot je dodatna radialna vodna zaščita in uporaba vodotesnega vodnika.

Pri poškodbi zunanjega plašča na podzemnih kablovodih voda iz okoliške zemljine nemoteno vstopi v kabel in najprej doseže prečno vodno zaporo, pri globljih poškodbah pa tudi kovinski zaslon. V kolikor je prečna vodna zapora izdelana iz aluminija oziroma aluminijeve zlitine, je zaradi njene korozijske ogroženosti velika nevarnost vstopa vode v notranjost kabla. Manjša je ogroženost kablov s svinčenim plaščem. Voda lahko vstopi v kabel tudi pri poškodbi ali pomanjkljivi montaži kabelskega pribora, zlasti spojk, manjša verjetnost pa je, da vstopi na končnikih. V obeh primerih se pojavi tendenca kapilarnega prodiranja vode v vzdolžni smeri, kar onemogoča uporabo vzdolžne vodne zapore iz posebnih trakov, ki v stiku z vodo nabreknejo in tvorijo žele.

Kovine so v naravnem okolju izpostavljene koroziji, saj težijo k stabilnejšim oblikam (oksidi, sulfidi itd.), v kakršnih se nahajajo v naravi.

Korozijo razumemo kot destruktiven napad kovine, ki temelji na kemičnih ali elektrokemičnih reakcijah, ki se odvijajo zaradi termodinamične nestabilnosti materiala v nekem okolju.

Korozija vpliva na življenjsko dobo različnih elementov, vgrajenih v različne konstrukcije, izdelane iz različnih kovin, ki so izpostavljene različnim korozijskim medijem. Ti mediji so lahko: kisik, atmosfera, ogljikov dioksid, morska voda, rečna voda, para, dimni plini, razne kemikalije, organske tekočine in raztopine itd.

8.7 TRANSPORT IN SKLADIŠČENJE VN KABLOV

Kabli se transportirajo na kabelskih bobnih s predpisanimi polmeri krivljenja. Tudi pri previjanju krajših dolžin je potrebno uporabiti bobne enakih premerov. Krajše dolžine kablov se lahko prevažajo v zvitih kolutih z upoštevanjem minimalnega dopustnega premera krivljenja kabla. Konci kablov morajo biti zaščiteni z ustreznimi za vodo nepropustnimi kapami.

Pri dobavi VN kablov na bobnih se priporoča, da proizvajalec na kabel montira vlečne kljuke.

Za transport in polaganje kabelskih bobnov se priporoča uporaba ustrezne kabelske prikolice in ustrezna tovorna vozila.

Kabelske bobne premeščamo previdno, da preprečimo poškodbe stranic bobna in kabla.

Kabli smejo biti naviti na bobnu tako, da med zadnjim slojem kabla in vrhom stranice bobna ostane razmik najmanj 5 cm.

Transport kabla s kotaljenjem je dopusten samo na krajših razdaljah. Teren mora biti raven in brez kamenja. Kotaljenje bobna je dopustno le v smeri puščice na stranici bobna, in le ko je kabel na bobnu čvrsto navit, konci kabla pa pritrjeni na stranico bobna ali če je boben blindiran.

Če je teren vlažen ali mehak je potrebno pod boben položiti debele (5 cm) deske.

Kabelske bobne ne smemo kotaliti oziroma nositi na drogu.

Na gradbišču je potrebno bobne zavarovati pred nehotenim kotaljenjem (priloga A30).

Kable je potrebno skladiščiti skladno z navodili proizvajalca na pokritem mestu in zavarovati pred direktnimi sončnimi žarki, atmosferskimi vplivi, gnilobo ter možnostjo poškodb. Vsak kabelski boben mora imeti napisno ploščico z vtisnjenimi podatki o kablu: tip kabla, število in presek žil, nazivno napetost, težo in dolžino kabla, leto izdelave in številko kabelskega bobna.

8.8 SEGREVANJE VN KABLOV

Najnižja priporočljiva temperatura pri polaganju kablov je do + 5°C ali pa se upošteva navodila proizvajalca. Pri nižjih temperaturah je potrebno kabel predhodno segreti. Enako velja tudi za montažo spojk in končnikov.

V primeru polaganja pri nižjih temperaturah je potrebno kabel predhodno segreti.

Segrevanje z električnim tokom se izvaja tako, da se kabel priključi na varilni aparat ali posebni tokovni transformator.

8.9 ODVIJANJE IN POLAGANJE VN KABLOV

Pred odvijanjem in polaganjem kablov je potrebno preveriti:

- pravilnost zaščitnih kap na koncih kabla,
- stanje plašča kabla na zunanji plasti,
- ali obstaja možnost morebitne poškodbe zunanjega plašča pri odvijanju,
- splošno stanje kabelskega bobna.

Prav tako je potrebno preveriti napisno ploščico na bobnu, oznake na zunanjem plašču kabla in ugotoviti skladnost tipa kabla, obratovalne napetosti, prereza in tipa vodnika ter dolžine kabla s projektiranimi podatki za določeno kabelsko traso.

Za odvijanje kabla je potrebno dvigniti boben s tal na kabelski podstavek ali prikolico, ki omogoča prosto vrtenje bobna brez poškodb zunanje plasti kabla. Kabel se odvija s počasnim in enakomernim vlečenjem z gornje strani bobna tako, da je smer odvijanja nasprotna smeri puščice na bobnu (priloga A31). Pri odvijanju je potrebno zagotoviti možnost zaviranja bobna. Postopek odvijanja kabla z bobna in njegovo polaganje v izkopani jarek je odvisen od delovnega mesta, preprek v jarku in zraven njega ter od razpoložljive mehanizacije.

Polaganje VN kablov direktno v kabelski jarek prikazuje slika 63.

Slika 63: Polaganje VN kablov direktno v kabelski jarek

Mesto postavitve kabelskega bobna oziroma podstavka se prilagodi okoliščinam terena in predvidenemu načinu polaganja v neposredni bližini jarka.

Polaganje kabla v jarek se lahko izvede na več načinov.

Pri polaganju kabla je potrebna uporaba valjev, ki zagotavljajo manjšo vlečno silo in preprečujejo drsenje kabla po tleh. Valji se nameščajo na dno kabelskega jarka v razmiku od 4 do 6 m, odvisno od tipa in teže kabla na meter in glede na konfiguracijo kabelske trase. Razpored valjev določa sam potek trase. Na krivinah se postavijo kotni valčki ali valjčne proge, pri vhodih v cevno kanalizacijo pa posebni vstopni valji. Na mestih vstopa v cevno kanalizacijo je potrebno kabel mastiti s posebnim gelom in paziti, da se ne prekorači dopustnega polmera krivljenja.

Kabel se ne sme vleči preko trdih in ostrih predmetov in robov.

Polaganje kabla z vitlom (strojno polaganje kabla) se dopušča na trasi, kjer ni ovir in krivin. Vlečna vrv je z vlečno nogavico povezana s koncem kabla. Velikost vlečne nogavice je odvisna od premera kabla. Po polaganju se mora dolžina kabla, ki jo je objela vlečna nogavica, odstraniti in ponovno zatesniti konec kabla, če se takoj ne izdela kabelski končnik.

Na nedostopnih mestih, pri prečkanju infrastrukturnih vodov kot so železnica, cesta ali vodotoki ter področja z gosto urbanizacijo, kjer ni mogoče izvesti enega izmed klasičnih načinov izkopa kabelskega jarka, se lahko uporabi tehnika izdelave kabelske trase s pomočjo podvrtavanja. Opremo za izdelavo le-te prikazuje slika 64.

Slika 64: Izdelava kabelske kanalizacije s podvrtavanjem

Slika 65: Strojno vlečenje kabla skozi kabelsko kanalizacijo in beleženje vlečne sile dinamometrom

Pri polaganju kabla z vitlom na daljših in težjih trasah, kjer so potrebne večje vlečne sile, se kabel pričvrsti na same vodnike z zatezno sponko.

Slika 66: Valjčna proga za polaganje na ostrih krivinah

Slika 67: Zasipavanje kablov in namestitev zaščit ter markerjev

Slika 68: Uporaba valjčkov za polaganje VN kablov

V primeru polaganja kabla na lomljeni trasi je potrebno uporabiti kotne valjčke oz. valjčno progo. Na mestih, kjer ni mogoče postaviti valjev, nosijo kabel delavci na prej opisani način.

Pred strojnim polaganjem kablov je potrebno določiti silo vlečenja kabla glede na dolžino kabla, koeficient trenja, lomljenja in nagib trase. Vrednost vlečne sile ne sme preseči dopustne mehanske obremenitve kabla.

Pri mehaniziranem načinu polaganja kabla je potrebno kontinuirano preverjati vlečno silo z dinamometrom in jo spremljati med polaganjem.

Za preprečevanje torzijske obremenitve kabla se med vlečno vrvjo in nogavico namesti antitorzijsko spojko.

Velikost obremenitve kabla glede na raztezek in natezanje, ki ga povzroča vlečna sila, sta odvisna od:

- tipa in konstrukcije kabla,

- teže kabla na enoto dolžine ali dolžine kabla za določeno traso,
- od koeficienta trenja med kablom in vrtečimi se valji, steno jarka ali cevi,
- od smeri vlečne sile in poti kabla pri spremembah trase,
- od profila in načrta trase odnosno polmerov zakrivljenosti trase v vodoravni in navpični ravnini.

Pri uporabi vitla mora biti vgrajena varovalka, ki bo popustila pri prekoračitvi dopustne vlečne sile.

Za zmanjšanje vlečnih sil je dopustna uporaba motorno gnanih valjev (vesp), ki potiskajo kabel v vlečni smeri. Ti se namestijo vzdolž trase na razmiku od 20 do 30 m, kar je odvisno od teže kabla ter na vhodu in izhodu lomljene trase. Motorni valji (vespe) so medsebojno povezani za sinhronizirano delo in se jih upravlja z enega mesta.

Slika 69: Uporaba navadnih in motorno gnanih valjev (vesp) pri polaganju kablov

Snemanje kabla z valjev po polaganju je potrebno pričeti od bobna v smeri vlečenega konca kabla.

Pri odvijanju in transportu kabla je potrebno upoštevati minimalni dopustni polmer krivljenja kablov, ki ga prikazuje Tabela 3. Polmeri krivljenja ki jih prikazuje Tabela 36, so lahko izjemoma manjši za 30 %, če se krivljenje izvaja preko šablon ali če se krivi kabel pred kabelskimi končniki.

Kabel se polaga v jarek valovito, še posebej v razgibanem terenu. Tako je dolžina položenega kabla za približno 3-5 % daljša od dolžine trase.

Pri paralelnem polaganju večjega števila kablov ali kabelskih sistemov je potrebno zadržati paralelnost poteka z določenim razmikom vzdolž skupne trase brez medsebojnega križanja.

Pri polaganju večjega števila paralelnih sistemov kablovodov je pred zasutjem potrebno kontrolirati razdalje med kabli zaradi premikov, ki jih povzroči temperaturna razlika med dnevom in nočjo ter močno sončno obsevanje in posledično spreminjanje razdalj med njimi.

Po delnem in pred popolnim zasutjem kabla je potrebno izvesti:

- napetostni preskus zunanjega plašča,
- napetostni preskus glavne izolacije kabla po namestitvi spojk,
- ponovni napetostni preskus plašča,
- posneti natančen potek trase kablovoda, označiti križanja z ostalimi objekti, mesta spojk in točno dolžino kabla.

Na koncih položenega kabla je potrebno obvezno namestiti ploščice za oznako kabla. Enožilni kabli se ne smejo označevati z objemkami iz feromagnetnega materiala.

Ploščice in pritrdilni material za označevanje kablov so izdelane iz obstojnega materiala in morajo vsebovati naslednje podatke o kablovodu:

- presek,
- naziv kablovoda,
- napetostni nivo,
- dolžino,
- smer,
- označbo faz.

Kabel se polaga na podlago debeline 10 cm iz drobnega peska ali mivke ali mletega peska granulacije od 0 do 4 mm (kabelska posteljica) ter zasipava s slojem zemlje ali drobnega peska debeline najmanj 10 cm. Zasipanje preostalega dela jarka se lahko izvede s tamponom oziroma z izkopanim materialom, če ta ustreza pogojem mesta vgradnje. Prva plast preostalega dela zasutja ne sme vsebovati kamenja premera večjega od 30 mm. Zasipni material je potrebno nabijati v slojih po 20 cm. Pri polaganju v cevno kanalizacijo se prvo plast preostalega dela zasutja zbija ob strani cevi, vse nadaljnje plasti do vrhnjega ustroja pa se zbija postopoma po celotni širini jarka.

Nad kablom je na primerni višini potrebno položiti mehansko opozorilno zaščito kabla (plastične ščitnike, mrežo ali opeko). Mehanska zaščita se polaga na prvi prekrivni sloj.

Odvisno od globine polaganja kabla se 40 do 60 cm nad njim položi po celotni dolžini trase plastični opozorilni trak.

Opozorilni trak je izdelan iz folije mehkega polivinilklorida ali polietilena rdeče barve oziroma podobnega obstojnega materiala. Na eni strani po sredini je vtisnjeno opozorilo z velikimi črkami v črni barvi.

POZOR ENERGETSKI KABEL

Napis se ponavlja z razmikom 10 cm in je potiskan v obratni smeri na isti strani traku. Za trak, ki je izdelan iz dveh folij, mora biti napis vtisnjen na površini med folijama, ki sta med seboj termično zvarjeni, tako da je napis viden z zunanje strani.

Za označevanje kablov se lahko uporabijo tudi različni markerji kot so količki z napetostno označbo, bronaste ploščice ali stebrički nad terenom ter v novejšem času tudi pasivni markerji nad betonskimi ploščami pri trasah, kjer je kabel položen direktno v kabelski jarek. Ti so uporabni pri kasnejšem iskanju kablov.

Marker vsebuje digitalni zapis, ki se odčita s čitalcem pri neposrednem obhodu trase za določitev mikrolokacije delov kablovoda na pomembnih delih trase.

Identifikacija spojk z markerji omogoča potrditev lokacije spojk, lociranih z uporabo metod za določanje makrolokacije (radar), pripomore pa tudi k lažjemu prepoznavanju mest delnih razelektrenj (le-ta se pripišejo spojki in ne sami izolaciji kabla, če mesto spojke in mesto delnih razelektrenj sovpadata).

Slika 70: Zaščita SN in VN kablovodov z betonskimi ploščami (levo), uporaba zaščitne mreže (sredina) in uporaba pasivnih markerjev za iskanje lokacije oz. trase kabla (desno) - (predvsem pri spojkah in lomih trase)

Material za trak in barva za napis morata biti odporna proti vodi in kemikalijam v zemlji, obstojna in mehansko zdržljiva in ne smeta pokati na mrazu. Življenjska doba traku mora biti enaka življenjski dobi kabla.

Jarek se zasipava z odkopanim materialom po prvem sloju zdrobljene zemlje ali peska tako, da se najprej uporabi rahlo zemljo brez kosov kamenja, betona, opeke ali podobno. Zasipavati je potrebno v slojih po 20 cm s pazljivim nabijanjem neposredno nad kablom.

Nabijanje materiala se izvaja z motorno napravo s pogojem globinskega delovanja do 30 cm.

8.10 POLAGANJE VN KABLOV V KABELSKO KANALIZACIJO

Kabel zaščitimo z uvlekom v cev v naslednjih primerih:

- pri križanju trase kabla s prometnimi potmi, železniškimi ali tramvajskimi progami,
- pri prekoračitvi dopustne minimalne oddaljenosti kabla od ostale infrastrukture,
- pri možni mehanski okvari kabla,
- pri približevanju elektroenergetskih vodov in postrojev,
- za zaščito kablov pred blodečimi tokovi.

Kovinske cevi se uporabljajo za zaščito kablov pri križanju z visokotlačnim cevovodom, mostnih konstrukcijah, telefonskih vodih ali pri možnih pogostih mehanskih okvarah kabla.

Pri polaganju kablov v kabelsko kanalizacijo mora biti minimalni nazivni notranji premer cevi najmanj 1,5 krat večji od premera kabla. Priporočajo se premeri cevi:

- 180 do 200 mm za kable nazivne napetosti U_0/U = 64/110 kV
- 110 mm za signalne kable
- 2 x 50 mm za optični kabel

Za cevno kabelsko kanalizacijo se izdela najprej podlaga iz suhega betona C 12/15 debeline 10 cm, na katero se polagajo cevi. Cevi je potrebno zatesniti in izvesti brez mehanskih robov) ter spoje zaliti s cementnim mlekom. Če se cevi polaga v več vrst, morajo biti spoji cevi razmaknjeni. Po spojitvi je potrebno cevi prekriti s suhim betonom debeline 10 cm (priloga A12).

Če se izvaja prehod na že položenih kablih, se mehanska zaščita izdela z ustreznimi polcevmi iz enakega materiala, kot so cevi.

Pri vgradnji cevi za prehode je potrebno upoštevati bodočo razširitev omrežja z vgradnjo rezervnih cevi. Predhodna namestitev cevne kanalizacije je smiselna tudi v primeru načrtovanja bodoče urbanistične ureditve.

Če se v kabelsko kanalizacijo polagajo kabli različnih napetostnih nivojev, se kabli nižjih napetosti polagajo v manjši globini, to je v višjih slojih kanalizacije.

Kabli, ki se polagajo prvi, zavzamejo najnižje odprtine v kanalizaciji. Cevne odprtine je potrebno zapreti, da ne pride do zasipavanja.

Vgradnja cevi za prehode pod cesto (ali pod cestami ali pod prometnicami) praviloma ne sme motiti prometa.

Na mestih prehoda kabla s čvrste podlage na mehkejšo in obratno je potrebno zavarovati kabel pred morebitno poškodbo z izdelavo blazinic steptane zemlje pod kablom (priloga A13).

Če se kabelska kanalizacija postavlja na daljšem sektorju, je potrebno po določenih razmikih zgraditi kabelske jaške. Ti se izdelujejo tudi:

- na kotih lomljenja kabelske kanalizacije,

- na koncih kabelske kanalizacije pri križanjih z magistralnimi mestnimi prometnicami.

Razmik med kabelskimi jaški na daljšem ravnem sektorju kabelske kanalizacije določa izraz:

$$L = \frac{F_V}{f \times g} [m] \tag{8.55}$$

kjer je:

L	razmik med kabelskimi jaški	[m]
F_v	dopustna vlečna sila kabla	[daN]
f	koeficient trenja	[-]
g	teža kabla na enoto dolžine	[kg/m]

Na mestih, kjer kabel vstopa v cevno kanalizacijo, je potrebno namestiti posebne valjčke in po potrebi sproti mastiti kabel pred vstopom v vhodno odprtino.

Kabelski jaški se izdelujejo v različnih velikostih, kar je odvisno od števila in prereza kablov, napetostnega nivoja, minimalnih delovnih pogojev in dopustnega polmera krivljenja. Globina jaška je odvisna od situacije na terenu, vendar ne sme presegati 4 m.

Kabelske jaške je potrebno konstruirati po statičnem izračunu. Minimalna odprtina litoželeznega pokrova je 65 x 65 cm. Na dnu jaška mora biti drenažna odprtina, na bočni steni se pritrdijo stopnice iz jeklenih palic ali drugega materiala. Bočne stene so iz betona ali primernega obstojnega materiala (npr. trda plastika).

Za prehod kablov pod pomembnimi prometnicami, križanji in podobno, oziroma pri polaganju večjega števila kablov se lahko uporabljajo povozni kanali (kinete), izvedeni po statičnem izračunu.

Če se kabel vleče skozi ravne cevi ali bloke položene v vodoravni ravnini, določa vlečno silo izraz:

$$F_v = f \times g \times L \, [daN] \tag{8.56}$$

kjer je:

F_v	vlečna sila kabla	[daN]
f	koeficient trenja	[daN]
g	teža kabla na enoto dolžine	[kg/m]
L	dolžina kabla	[m]

V primeru, da je bil kabel do vhoda v cev že obremenjen s silo F_1, potem je potrebna vlečna sila za uvlek kabla sledeča:

$$F_v = F_1 + f \times g \times L \, [daN] \tag{8.57}$$

kjer je:

F_1	predhodna obremenitev kabla	[daN]

Pred uvleko kabla moramo poskrbeti za normalne pogoje dela:

- dvig pokrovov s kabelskih jaškov,
- kontrola vsebnosti škodljivih plinov,
- ventilacija,
- razsvetljava,
- čiščenje jaška in odstranjevanje vode,
- kontrola prehodnosti cevi.

Pri uvleki kablov v cevi je potrebno upoštevati tudi vrednosti koeficientov trenja med različnimi materiali in povečanje vlečnih sil zaradi preloma trase.

Da bi se izognili križanju kablov v kabelskih jaških, je potrebno polagati kable po navpičnih vrstah od spodaj navzgor. Kable je treba razporediti tako, da je odprtina za vhod v jašek prosta. Kabli nižjega napetostnega nivoja zasedejo praviloma zgornje cevi.

8.11 PRIBLIŽEVANJE IN KRIŽANJE VN KABLOV Z OBJEKTI, PROMETNIMI POTMI IN INŠTALACIJAMI

Sistemski operater elektroenergetskega omrežja mora pri približevanju in križanju drugih infrastrukturnih vodov in objektov predpisati pogoje in odmike od svojih vodov in objektov, podobno kot te predpišejo upravljavci drugih infrastrukturnih vodov. Razlika je le v tem, da ti povzamejo pogoje in odmike iz posebnih pravilnikov, ki obravnavajo tipizirane vode enakih oz. tipiziranih namembnosti, medtem ko se VN kablovodi po namembnosti med seboj precej razlikujejo. Namembnost NN in SN kablovodov je enolična (distribucija), zato je tipizacija mogoča, medtem ko je namembnost VN kablovodov zelo specifična in tipizacija ni smiselna. Interno tipizacijo lahko pripravijo upravljavci posameznih elektroenergetskih sklopov glede na njihovo vlogo v sistemu in specifiko obratovanja, če ugotovijo, da jim ta tako olajša projektiranje kablovodov. Pri tem lahko s svojimi pravilniki predpišejo obvezno uporabo standardov, ki v osnovi niso obvezni. Lahko se oprejo tudi na tehnične pogoje, navedene v Pravilniku o elektroenergetskih postrojih izmenične napetosti nad 1 kV. Predmetni pravilnik se sklicuje na Standard SIST EN 61936-1: Elektroenergetski postroji za izmenične napetosti nad 1 kV 1. del: Splošna pravila in Standard SIST EN 50522: Ozemljitve elektroenergetskih postrojev, ki presegajo 1 kV izmenične napetosti, ki za enkrat še ni v veljavi, je pa že sprejet. Predmetna standarda ne ločujeta kablov po njihovi funkciji in napetosti, pač pa le splošno navajata njihovo križanje in približevanje z linijskimi vodi ter ozemljevanje. Za plinske, vodovodne ali druge cevovode, ki križajo obravnavani kabel, so navedene zgolj zahteve, ki jih je potrebno upoštevati, vendar niso eksplicitno podani ne ukrepi niti razdalje, ki jih je potrebno zagotoviti, vse je prepuščeno internim predpisom in standardom za posamezne elemente (naprave). Podana so zgolj napotila v zvezi s preprečevanjem določenih nevarnosti, kot so izolacijska razdalja oziroma nadomestni ukrepi, če le-te ni mogoče doseči, ter napotila za koordiniranje z upravljavci posameznih vodov. Pri vzporednem polaganju na večjih dolžinah se zahteva izračun prenapetosti, inducirane na cevovodu med kratkim stikom. Enako velja za

križanje in približevanje s komunikacijskimi kabli in napravami. V zvezi z njimi je v standardu podano zgolj napotilo na direktive ITU. Pri medsebojnem križajo in približevanju kablov s toplotnimi viri in drugimi energetskimi kabli je potreben izračun medsebojnih toplotnih učinkov in določitev najkrajše toplotnoizolacijske razdalje med kabli oziroma zaslanjanje ali namestitev dodatne izolacije Če to ni mogoče pa izvedbo ukrepov v zvezi z načinom obratovanja (npr. znižanje obratovalnih vrednosti). Mehanskih obremenitev omenjena standarda ne obravnavata.

V primerih, kjer se lahko pričakuje večja mehanska obremenitev tal oziroma možnost mehanske okvare, se kabli polagajo v kabelsko kanalizacijo, če se ne uporabijo kabli specialne konstrukcije. To je predvsem mišljeno na prehodih preko prometnic, železniških prog ter pri križanju in približevanju z drugimi komunalnimi vodi. Kabelska kanalizacija se izdeluje iz betonskih ali plastičnih cevi ali se sestavi iz že izdelanih betonskih elementov. Jeklene cevi se uporabljajo le za zaščito kablov pri križanju z visokotlačnim cevovodom, mostnih konstrukcijah, telefonskih vodih ali pri možnih pogostih mehanskih okvarah kabla, sicer pa njihova uporaba ni priporočljiva. Minimalni nazivni notranji premer cevi mora biti 1.5 krat večji od premera kabla.

Pred izvedbo vseh posegov je treba določiti natančno lego vseh komunalnih, energetskih in telekomunikacijskih vodov, jih zakoličiti in ustrezno zaščititi.

Projektiranje in gradnja komunalne, energetske in telekomunikacijske infrastrukture morata potekati v skladu s projektnimi pogoji posameznih upravljavcev.

Detajli križanja, morebitne prestavitve in drugi posegi, potrebni na infrastrukturnem omrežju, se natančno obdelajo v projektni dokumentaciji za pridobitev gradbenega dovoljenja oziroma za izvedbo gradnje.

8.11.1 Prometna pot (cesta, kolesarska steza)

Pri križanju energetskih kablovodov in prometnih poti je potrebno kable zaščititi s polaganjem v cevi. Pri vgradnji cevi za prehode je treba upoštevati bodočo razširitev omrežja z vgradnjo rezervnih cevi. Polaganje cevi pod prometnicami se izvaja z neposrednim kopanjem jarka v prometnici, vrtanjem ali z izdelavo tunela pod prometnico. Kabelsko kanalizacijo je treba praviloma postaviti pravokotno na os prometnice v smeri podaljška trase kabla in samo izjemoma je dovoljeno odstopanje 30°. Širina in globina jarka za kabelsko kanalizacijo sta odvisni od števila položenih kablov oziroma cevi, ki so lahko položene v eni ali več ravninah. V kolikor so potrebne tri vrste cevi, je potrebno zgraditi na vsaki strani prehoda kabelske jaške. Te je potrebno zgraditi tudi v primeru, ko dolžina kabelske kanalizacije preseže predpisano vrednost, na kotih lomljenja kabelske kanalizacije in na koncih kabelske kanalizacije pri križanjih z magistralnimi mestnimi prometnicami. Pri uvleki kabla v cevi kabelske kanalizacije je potrebno upoštevati predpisani minimalni polmer krivljenja kablov in maksimalno dopustno vlečno silo.

Projekt križanja načrtovanega infrastrukturnega voda s cestami mora zajeti vse posege v varovalni pas ali cestno telo. Križanje infrastrukturnega voda z asfaltiranimi kategoriziranimi lokalnimi cestami se v primeru naknadne gradnje posameznega voda načeloma izvede s podvrtavanjem, če se upravljavec cestnega omrežja in investitor ne dogovorita drugače, križanja z nekategoriziranimi lokalnimi cestami in potmi pa se izvedejo s prekopom. V primeru gradnje ceste preko trase obstoječega infrastrukturnega voda, je potrebno zagotoviti enake pogoje in odmike kot pri naknadni gradnji le-tega. Pri energetskem kablovodu je potrebno nad kabli namestiti posebne zaščitne betonske plošče, če te še niso bile nameščene. Če pa so bile, jih ni dovoljeno odstranjevati. Energetske kable je pri križanjih potrebno polagati v cevi, kar pri naknadni gradnji ceste ni mogoče. Projekt mora zagotavljati ustrezno zaščito kablovoda. Potrebno je ohraniti termični profil, ki zagotavlja, da obremenljivost kablovoda ostane nespremenjena. To je mogoče le, če zemljina ohrani kompaktnost, kar je povezano s stopnjo vlažnosti, ki se mora ohraniti v mejah, ki so bile zagotovljene pred posegom. Pomembno je da se prepreči točkovno ponikovanje vode na posameznih mestih oz. zagotovi enakomerno (porazdeljeno) odtekanje padavinskih voda.

8.11.2 Cevovodi

Cevovodov kot so plinovod, toplovod, vodovod in kanalizacija ni dovoljeno polagati nad ali pod energetskim kablovodom, razen na mestih križanj. Pri križanju cevovodov z energetskim kablovodom so ti lahko položeni nad ali pod njim, odvisno od položaja energetskega kablovoda.

8.11.3 Plinovod

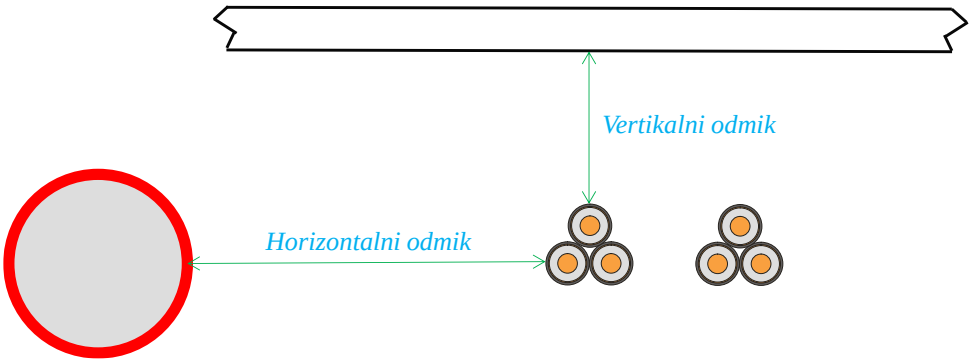
Razdalje med plinovodom in energetskim kablovodom kot tudi načini izvedbe križanj in paralelnih potekov morajo ustrezati pogojem, ki jih predpisuje upravljavec plinovoda za odmik energetskega kablovoda od plinovoda. V tujini se ti pogoji razlikujejo glede na vrsto plina, preseka plinovoda in tlaka plina v cevi plinovoda. V bližini plinovoda se ne priporoča polaganje kablov v cevi, ker v primeru poškodbe in puščanja plinovoda obstaja nevarnost kopičenja plinov v cevi in eksplozije. Problem predstavljajo tudi razlike v potencialu med različnimi prevodnimi deli, ki se nahajajo v magnetnem polju kablovoda in inducirani tokovi v povezanih prevodnih delih.

Vzdolžni odmik drugih infrastrukturnih vodov od plinovoda mora ustrezati varovalnemu pasu prenosnega sistema zemeljskega plina, ki znaša:

Za prenosni sistem zemeljskega plina na vsaki strani plinovoda prenosnega sistema merjeno od njegove osi velja zemljiški pas v širini 5 m na vsaki strani plinovoda prenosnega sistema, merjeno od njegove osi (469 člen EZ-1 NPB1).

V skladu z zahtevami Pravilnika o tehničnih pogojih za graditev, obratovanje in vzdrževanje plinovodov z delovnim tlakom nad 16 barov ter o pogojih za posege v območjih njihovih varovalnih pasov (Uradni list RS, št. 12/10, 45/11 in 17/14 – EZ-1) se mora v primeru poteka plinovoda blizu elektroenergetskih postrojenj in vodov razdalja določiti v skladu z merili,

navedenimi v ustreznih normativih in standardih (SIST EN 50443:2012). Upoštevati je treba medsebojni vpliv kablovoda na plinovod ter izvesti ustrezne ukrepe za zaščito vseh delov plinovodnega omrežja in zaščito osebja. Če so podzemni EE objekti od plinovodne infrastrukture oddaljeni manj kot 50 m, je treba obvezno izvesti podrobne izračune medsebojnega motenja (induktivno in konduktivno). V nobenem primeru pa razdalja med ozemljitvenim sistemom EE objekta in deli plinovodne infrastrukture ne sme biti manjša od 2 m.



Slika 71: Prikaz vertikalnega in horizontalnega poteka komunalnega voda

Pri plinovodih z največjim delovnim tlakom nad 5 barov do vključno 16 barov mora biti višinski odmik pri križanju s kablom minimalno 0,3 m, in vzdolžni odmik minimalno 1,5 m, kot križanja pa od 45° do 90° in zaščitna cev na vsako stran ≥ 3 m. Pri plinovodih z največjim delovnim tlakom do 5 barov mora biti kot križanja od 30 do 90 ,višinski odmik pri križanju s kablom mora biti minimalno 0,3 m, zaščitna cev na vsako stran ≥ 1 m in vzdolžni odmik minimalno 0,5 m. Zgoraj navedeno velja za približevanje kablov plinovodom, vendar ne obratno.

Pri križanjih se izvede mehanska zaščita kablovoda s polaganjem kabla v plastično zaščitno cev.

Izvedba križanj in približevanj je razvidna iz prilog A17, A18 in A19.

V izjemnih primerih se s posebnimi varnostnimi ukrepi varnostni odmiki lahko tudi zmanjšajo.

Pri križanju in vzporednem polaganju jeklenih plinovodov z visoko in nizkonapetostnimi vodniki je za preprečitev medsebojnega vpliva in dodatno zaščito treba upoštevati slovenske standarde in pravilnike.

Pri približevanju ali vzporednemu poteku plinovoda z največjim delovnim tlakom nad 16 barov in elektroenergetskega kablovoda, lahko znaša razdalja od zunanjega roba plinovoda do zunanjega roba kablovoda najmanj 1,5 m.

Za križanja plinovoda nad 16 barov in elektroenergetskega voda velja med drugim tudi:

- križanja morajo biti omejena na najnujnejši obseg;
- načini in metode izvedbe križanj ter zaščitnih cevi plinovoda morajo ustrezati standardu SIST EN 1594:2013 (EN 1594:2013);

- pri izvedbi križanja je treba zagotoviti vse potrebne ukrepe, da se preprečijo dodatne obremenitve na plinovodno cev;
- zaščitne cevi plinovoda se za izvedbo križanj uporabljajo le izjemoma;
- zaščitne cevi plinovoda so lahko jeklene, betonske ali iz drugega primernega materiala, njihov izbor mora biti usklajen s sistemom katodne zaščite;

  Ugotavljanje verjetnosti nastanka izmenične korozije in izvedba ustreznih ukrepov se izvede skladno s standardi SIST-TS CEN/TS 15280 (*Razveljavitev*: 01-okt-2013). Vrednotenje verjetnosti nastanka korozije vkopanih cevovodov – Uporaba pri katodno zaščitenih cevovodih) in SIST EN ISO 18086:2017 (*Razveljavitev*: 01-feb-2021) - Korozija kovin in zlitin - Ugotavljanje nastanka AC korozije - Merila zaščite (ISO 18086:2015).

8.11.4 Naftovod

Podobno kot pri vodovodu tudi okvara naftovoda predstavlja težavo (zlasti pri gradbenih posegih v bližini), kjer se enako lahko pojavi kontaminacija in izpiranje termično stabilnega zasipnega materiala kabelske posteljice. Vsi ostali pogoji so enaki kot za plinovode.

8.11.5 Toplovod in vročevod

Pri paralelnem poteku načrtovanega toplovoda in obstoječega elektroenergetskega kablovoda je potrebno doseči horizontalni odmik 2,0 m, v kolikor je ta manjši pa ob pogoju, da se opravi izračun (na podlagi projektnih pogojev) termičnega profila (zadostna termična stabilnost), odvisno od števila kabelskih vodov, načina polaganja, ozemljitve kovinskih zaslonov- ekranov, itd. V kolikor je horizontalni odmik obstoječega kabla in predvidenega novega toplovoda oz. vročevoda več kot 3 m je dovoljena gradnja.

Razmik se meri od zunanjega roba toplovoda. V kolikor bo načrtovani toplovod v neposredni okolici električnih vodov povzročal povišanje temperature okoliške zemlje za več kot 10°C, je potrebno povečati medsebojne razmike ali postaviti vmes toplotno izolacijo. Skupno polaganje je mogoče, če se optimizira termični profil, vendar se to ne sklada s tehničnimi navodili distributerjev, tako da se ta možnost izloči. Polaganje toplovoda nad ali pod elektroenergetskim kablovodom ni dovoljeno, razen na mestih križanja.

Pri **križanju** kablovod praviloma poteka pod toplovodom. Če obstoječi kablovod ni položen na taki globini, da ne bi bilo mogoče zagotoviti predpisane globine toplovoda, je potrebno toplovod položiti pod kablovodom. Deli postroja toplovoda in kablovoda, ki jih je potrebno vzdrževati, morajo biti oddaljeni od mesta križanja najmanj 2 m.

Pri križanju toplovoda in kablovoda se v primeru, ko ni termične zaščite, priporoča minimalni horizontalni odmik 1 m in zaščitne cevi 3 m na vsako stran.

Če toplovod v neposredni okolici povzroča povišanje temperature okoliške zemlje za več kot 10°C, oziroma če na vseh ali večjih razmikih obstoja dodatno segrevanje kabla, je potrebno povečati medsebojni razmik ali postaviti vmes toplotno izolacijo.

Upravljavci toplovodov (Energetika Ljubljana, Energetika Celje, itd.). odmike od VN kablovoda predpisujejo s tehnično dokumentacijo vsakega posameznega upravljalca, ki je bil ustanovljen s strani posameznih občin in sicer zakonom o lokalni samoupravi in tehničnimi navodili.

Mesto križanja kabla s toplovodnim kanalom je prikazano v prilogi A21.

8.11.6 Vodovodi

Vodovodi ne predstavljajo posebnega rizika, z izjemo puščanja in razlitja, ki lahko povzročijo izpiranje termično stabilnega zasipnega materiala kabelske posteljice. Vodovodi imajo določene odmike, ki veljajo v primeru razdalj, ki so potrebne kot velja za toplovode/vročevode skladno s tehnično dokumentacijo, ki jo sprejemajo komunalne službe za posamezno občino in so objavljene v uradnem listu. Če se kabel polaga v območje vodovoda, mora biti ta položen v PEHD ceveh (Tehnična navodila komunalnega podjetja).

Vzporedni odmik od magistralnih vodovodov mora biti 1,5 m. Zagotoviti je treba tudi posebno zaščito vodovoda pred odnašanjem termičnega zasipa v primeru puščanja oz. razlitja. Razmik se meri med najbližjimi zunanjimi robovi inštalacij.

Na mestih križanja je kabel lahko položen nad vodovodom ali pod njim, odvisno od položaja cevi. Vertikalni svetli razmik med kablom in glavnim cevovodom mora biti najmanj 0,5 m, kot križanja pa od 45° do 90° in zaščitne cevi 2 m na vsako stran. Pri križanju kabla in priključnega cevovoda je najmanjši svetli razmik med njima najmanj 0,5 m, kot križanja pa od 30° do 90° in zaščitne cevi 2 m na vsako stran (priloga A15 in A16). Na križanjih, pri katerih ni višinskih podatkov o vodovodu, se med gradnjo izvedeta sondiranje in medsebojna višinska uskladitev.

Če je v obeh primerih križanj manjši razmik, je potrebno elektroenergetski kabel zaščititi pred mehansko poškodbo, s tem da se ga namesti v zaščitno cev tako, da je cev daljša za 1 m od zahtevanih 2 m na vsaki strani križanja (priloga A15 in A16).

Minimalni vodoravni razmik pri paralelnem polaganju elektroenergetskega kabla je za manjše kanalizacijske cevi ali hišne priključke 0,5 m, za magistralne kanalizacijske cevovode enakega ali večjega profila od ∅ 0,6/0,9 m pa 1,5 m. Razmik se meri med najbližjimi zunanjimi robovi inštalacij (priloga A22).

V primeru, ko je teme kanalizacijskega profila v globini minimalno 0,8 m, se izvede mehanska zaščita kabla s postavitvijo TPE cevi ustreznega premera v plasti suhega betona.

Kadar je teme kanalizacijskega profila na globini manjši kot 0,8 m, se izvede dodatna mehanska zaščita kabla z jeklenimi cevmi ustreznega premera v plasti suhega betona (priloga A23).

V primeru nedoseganja minimalnih razmikov pri paralelnem polaganju kabla z vodovodom ali kanalizacijo, je potrebno pridobiti soglasje upravljalca posamezne infrastrukture (vodovoda in kanalizacije), kable pa zaščititi s polaganjem v kabelsko kanalizacijo. Tudi v tem primeru odmiki ne smejo biti manjši kot jih določa standard SIST EN 805.v točki 9.3.1 in sicer najmanj 0,4 m, v izjemnih primerih, ko je gostota podzemnih napeljav velika, pa najmanj 0,2 m.

Polaganje kablov ni dovoljeno skozi vodovodne komore, hidrante, kanalizacijska okna in skozi odtoke, kakor tudi nad njimi in poleg njih.

8.11.7 Kanalizacija

Vodoravna križanja 110 kV kablovoda in kanalizacijskega voda se izvedejo praviloma pod pravim kotom oz. od 30° do 90°. V višinskem pogledu poteka križanje izven nivojsko. Kablovod 110 kV se položi najmanj 0,5 m nad ali pod kanalizacijo. Pri vzporednem poteku kablovoda 110 kV in kanalizacije je svetli odmik 1,5 m.

Podobno kot za vodovod je lahko težava tudi okvara kanalizacijskih odvodov (zlasti pri gradbenih posegih v bližini), kjer se enako lahko pojavi izpiranje termično stabilnega zasipnega materiala kabelske posteljice.

8.11.8 Železniška proga

V bližini železniške proge, še posebej blizu elektro napajalnih postaj (ENP), je potrebno posebno pozornost usmeriti na prisotnost blodečih tokov, ki lahko povzročijo korozijo kovinskega zaslona zaradi tokov, ki iz kovinskega zaslona tečejo preko galvansko povezanih ozemljil do enosmernega vira. Pri tem je pomembno, da zunanji plašč ni poškodovan. Možni ukrepi so sistematično galvansko ločevanje kovinskih zaslonov od predmetnega ozemljitvenega sistema in/ali vgradnja DC odklopnih/razklopnih naprav. Učinkovita je tudi katodna zaščita, s katero se zagotovi, da je potencial kovinskega zaslona bolj negativen od okoliške zemljine in tako tok ne more teči v zemljo.

Križanje kablovoda z železniško progo se lahko izvede s podvrtavanjem na globini minimalno 1,5 m pod gornjim robom praga. Pri tem se vstavijo ustrezne plastične cevi, ki se po potrebi obdajo s plastjo bentonitne mase.

Križanje elektroenergetskega kabla z železniško oziroma tramvajsko progo je potrebno praviloma izvesti pod kotom 90°.

Zaščitna cev kablovoda mora segati najmanj 5 m na vsako stran od osi skrajnih tirov oz. izven odvodnih jarkov ob tirih.

Vsi konci cevi s položenimi kabli, kakor tudi rezervne cevi, se morajo zaščititi pred vdorom zemlje in blata z ustreznimi pokrovi.

Pri križanju kablovodov z elektrificirano železniško progo je potrebno kable polagati samo v cevi ali kanale iz električno neprevodnega materiala in sicer v termoplastičnih ceveh.

Po potrebi je potrebno izvesti ustrezno katodno zaščito kovinskih naprav pred uhajajočimi enosmernimi električnimi tokovi, pri čemer je potrebno upoštevati Pravilnik o projektiranju, gradnji in vzdrževanju stabilnih naprav električne vleke enosmernega sistema 3 kV (Uradni list RS, št. 56/2003).

S posegi se ne sme ogrožati ali poslabšati stabilnosti zemeljskega trupa železniške proge.

Če obstajajo železniški elektroenergetski ali signalni kabli, ki so paralelno položeni z železniško progo, je potrebno pri križanju med kabli zagotoviti takšne najmanjše razmike, kot veljajo za TK kable.

Pri križanju z železniško progo je potrebno položaj kablovoda vidno označiti z betonskimi, kamnitimi ali drugimi obstojnimi oznakami.

8.11.9 Telekomunikacijski vodi

Pri paralelnem poteku elektroenergetskega VN kablovoda in telekomunikacijskih vodov je potrebno izvesti vse potrebne ukrepe za zaslanjanje magnetnega polja, ki bi povzročilo nastanek potencialnih razlik med prevodnimi nepovezanimi deli oziroma nastanek induciranih tokov v bližnjih povezanih prevodnih delih (tokokrogih) v okolici kabla. Imenovane težave so posebno izrazite v primeru okvar. Medsebojno induktivno in/ali konduktivno motenje, ki lahko nastane med VN kablovodi in TK vodi, se računa na razdaljah, ki jih predpisuje priporočilo [58] ITU-T K.68 (04/2008) *Operator responsibilities in the management of electromagnetic interference by power systems on telecommunication systems.*

Zagotoviti je potrebno minimalno vertikalno razdaljo med kablovodi in telekomunikacijskimi kabli 0,5 m. Horizontalni odmik med kablovodi in telekomunikacijskimi vodi določa način vkopanega kabla (0,5 m).

Najučinkovitejše zaslanjanje se doseže z izvedba kablovoda, ki ima obojestransko ozemljene zaslone, v primeru enostranske ozemljitve zaslonov pa z namestitvijo dodatnega ozemljitvenega vodnika vzdolž kablovoda ECC (kompenzacijski vodnik).

TK kable elektrogospodarstva, ki se ne priključujejo na TK omrežje, je dopustno polagati nad elektroenergetskimi kabli na manjši oddaljenosti kot 30 cm z uporabo pregrad iz termično odpornega materiala.

V primeru, da je potrebno elektroenergetski kabel dodatno zaščititi, se priporoča vgradnja polcevi in njihovo medsebojno mehansko povezovanje (priloga A26).

Upoštevati je treba električne in termične vplive na druge električne kable, ki se nahajajo v vplivnem območju elektroenergetskega kablovoda. Pri paralelnem poteku in križanjih elektroenergetskega kablovoda z drugimi električnimi kabli in drugimi infrastrukturnimi vodi ter objekti, je potrebno predvideti močnejše povečanje toplotne upornosti, pri

elektroenergetskih kablovodih pa tudi električne vplivi zlasti ob defektih. Povečanje toplotne upornosti se pojavi zaradi različnih načinov izvedbe križanj, kjer se uporabijo PE cevi ali zaradi večjih globin polaganja in vpliva drugih instalacij, ki križajo kabelsko traso. Zaradi segrevanja okoliške zemljine se zmanjša obremenljivost električnih povezav v vplivnem območju elektroenergetskega kablovoda, zato je priporočljivo izdelati podrobnejše analize v zvezi z vplivi nanje.

8.11.10 NN, SN in VN kablovodi

Električni kabli drugih napetostnih nivojev in drugih infrastrukturnih sistemov, ki se nahajajo v vplivnem območju elektroenergetskega VN kablovoda, so podvrženi tako električnim kot tudi termičnim vplivom. Predvsem pri paralelnem poteku in križanjih visokonapetostnega kabla z drugimi električnimi kabli in drugimi infrastrukturnimi vodi ter objekti, je potrebno računati z večjimi povečanji toplotne upornosti, v primeru elektroenergetskih kablov pa tudi z električnimi vplivi zlasti ob defektih. Do povečanja toplotne upornosti pride zaradi same izvedbe križanj, kjer so uporabljene PE cevi pa tudi povečane globine polaganja in vpliva drugih instalacij, ki križajo kabelsko traso. Ker se zaradi segrevanja okoliške zemljine zmanjša obremenljivost električnih povezav v vplivnem območju elektroenergetskega VN kablovoda, je priporočljivo izdelati podrobnejše analize v zvezi z vplivi nanje. Za kable vseh nivojev je pri križanjih medsebojna oddaljenost >= 0,5 m in v cevi 1 m na vsako stran, za paralelni potek pa >= 0,6 m pri čemer je VN kabel položen v trikot SN kabel pa je nad njim.

8.11.11 Določitev termičnega profila pri delnem izsuševanju

Pri vzporedno potekajočih kabelskih vodih, križanjih itd., je potrebno vsako traso posameznega električnega voda obravnavati ločeno z izvedbo izračuna vpliva novega kabelskega voda pri polaganju v bližini obstoječega 110 kV kablovoda (praksa v tujini).

Tipizacija na tem mestu ni primerna, saj je preveč faktorjev, ki lahko vplivajo na obratovalne kriterije (termični profil). Vzdolžni odmik drugih infrastrukturnih vodov pri podzemnem kabelskem sistemu nazivne napetosti 110 kV znaša 3 m, kolikor znaša širina varovanega pasu od osi kablovoda [50] (468 člen EZ-1 NPB1).

8.11.12 Paralelni potek in križanje VN kablovodov z drugimi električni kabli

Upoštevati je treba električne in termične vplive na druge električne kable, ki se nahajajo v vplivnem območju elektroenergetskega kablovoda. Pri paralelnem poteku in križanjih elektroenergetskega kablovoda z drugimi električnimi kabli in drugimi infrastrukturnimi vodi ter objekti, je potrebno predvideti močnejše povečanje toplotne upornosti, pri elektroenergetskih kablovodih pa tudi električne vplivi zlasti ob defektih. Povečanje toplotne upornosti se pojavi zaradi različnih načinov izvedbe križanj, kjer se uporabijo PE cevi ali zaradi večjih globin polaganja in vpliva drugih instalacij, ki križajo kabelsko traso. Zaradi segrevanja okoliške zemljine se zmanjša obremenljivost električnih povezav v vplivnem območju

elektroenergetskega kablovoda, zato je priporočljivo izdelati podrobnejše analize v zvezi z vplivi nanje.

8.11.13 Približevanja ter križanja optičnih vodov v lasti EDP z ostalimi podzemnimi komunalnimi vodi

Pri približevanju in križanju optičnih vodov v lasti EDP z ostalimi podzemnimi komunalnimi vodi je potrebno upoštevati odmike, ki jih podajata Tabela 45 in priloga A11.

Pri križanjih in približevanjih kablovoda s prometnimi potmi je potrebno upoštevati veljavne predpise, zahteve upravljavca prometnih poti ter zahteve upravljavca elektroenergetskega omrežja.

Na prehodih preko prometnic kakor tudi na vseh tistih mestih, kjer se pričakuje večja mehanska obremenitev tal, oziroma možnost mehanske okvare, se kabli polagajo v kabelsko kanalizacijo, če niso posebne konstrukcije. Kabelska kanalizacija se izdeluje iz betonskih ali plastičnih cevi ali se sestavlja iz že izdelanih plastičnih ali betonskih elementov.

Pri vgradnji cevi za prehode se priporoča vgradnja dodatnih (rezervnih) cevi za razširitve omrežja ali nadomestitve morebitnih okvarjenih kablov z nadomestnimi. Prehodnost cevi je izvajalec dolžan preveriti s krogličnimi kalibri, tlačnim preskusom ali kamero ter jih zapečatiti z vodotesnimi pokrovi. To mora potrditi z izjavo o prehodnosti cevi.

Na mestih križanj je kabelsko kanalizacijo potrebno praviloma postaviti pravokotno na os prometnice v smeri podaljška trase kabla in samo izjemoma je dovoljeno odstopanje 30°.

Kabelska kanalizacija je na vsaki strani cestišča daljša minimalno 0,5 m od roba cestišča. Če kabelska trasa preseka tudi pločnik in se nadaljuje v zelenem pasu, je potrebno kabelsko kanalizacijo zaključiti v zelenem pasu.

Širina in globina jarka za kabelsko kanalizacijo sta odvisni od števila položenih kablov oziroma cevi, ki so lahko položene v eni ali več horizontalnih ravninah. V kolikor so potrebne tri vrste cevi, je potrebno zgraditi na vsaki strani prehoda kabelske jaške. Te je potrebno zgraditi tudi v primeru, ko dolžina kabelske kanalizacije preseže predpisano vrednost, na kotih lomljenja kabelske kanalizacije in na koncih kabelske kanalizacije pri križanjih z magistralnimi mestnimi prometnicami. Razmik med gornjim robom najvišje cevi in kote pločnika oziroma cestišča sme biti najmanj 0,8 m.

Polaganje cevi pod prometnicami se izvaja z neposrednim kopanjem jarka v prometnici, vrtanjem ali z izdelavo tunela pod prometnico. Pri prvem načinu polaganja se dela izvajajo v več etapah, večinoma v dveh, tako da se promet odvija po prosti polovici ceste.

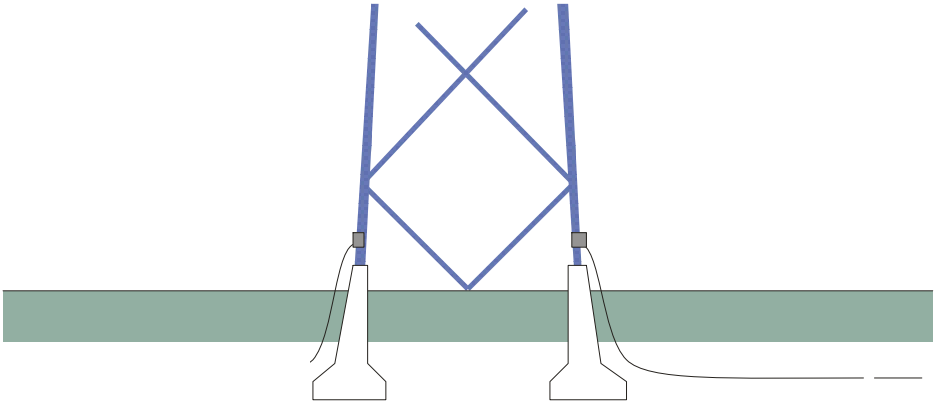
Križanje infrastrukturnega voda z asfaltiranimi kategoriziranimi lokalnimi cestami se v primeru naknadne gradnje posameznega voda načeloma izvede s podvrtavanjem, če se upravljavec cestnega omrežja in investitor ne dogovorita drugače, križanja z nekategoriziranimi lokalnimi cestami in potmi pa se izvedejo s prekopom.

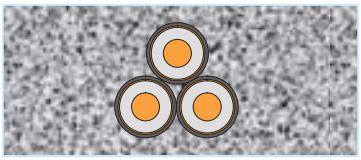
V primerih, v katerih ni dopustno niti delno oviranje prometa, kot so železniške in tramvajske proge, avtoceste in podobno, kjer bi kopanje in vzpostavljanje prvotnega stanja površine povzročalo zaradi njene visoke kvalitete velike stroške, je potrebno cevi za prehod vgraditi s podvrtavanjem.

Strojna vgradnja se lahko izvaja s hidravličnimi stiskalnicami, jeklenim trnom, svedrom za zemljo in podobno (postopek horizontalnega podvrtavanja).

8.11.14 Elektroenergetski objekti (oddaljenost od DV stebra – vpliv ozemljitev, energetski vodi)

Potekanje kabelskega sistema v bližini daljnovodnega stebra torej križanja varovalnega pasu enega ali drugega ne predstavlja bistvenega problema, v kolikor sta zagotovljena mehanska zaščita ter zadovoljivo ozemljevanje daljnovoda skladno z zahtevami Pravilnika o tehničnih pogojih za graditev nadzemnih elektroenergetskih visokonapetostnih vodov izmenične napetosti 1 kV do 400 kV (Uradni list RS, št. 52/14.)





Slika 72: Potek kablovoda v bližini DV, ki med seboj nista povezana (npr. KBV- DV)

Mehansko ni priporočljivo, da se daljnovod nahaja direktno nad posteljico kabelskega sistema, vendar se to lahko še vedno izvede, če je kabelski sistem izveden s podvrtavanjem (globine več kot 2 m) oziroma na enak način kot pri prečkanju cestišč (PEHD obbetonirane cevi). Prav tako je pomembno, da ozemljitveni kraki stebra daljnovoda ne križajo kablovoda oziroma se ognejo kabelski trasi. Omeniti je potrebno, da se kompenzacijski vodnik kabla (pri enostranski ozemljitvi) ne povezuje s sistemom daljnovoda. Ozemljitve oziroma kompenzacijski vodniki se morajo povezovati med seboj pri prehajanju kablovoda in daljnovoda na isti energetski povezavi, kjer pa sta sistema (kablovoda in daljnovod) različnih energetskih povezav, pa ju ne smemo.

Ob nastanku okvare na 110 kV kablovodu lahko nastali potencial prenašajo v okolico kovinski cevovodi ali ograje, nizkonapetostni kabli itd. in je splošno veljavne smernice težko podati, saj se razmere od primera do primera razlikujejo. Smernice se zato izdela za vsak primer posebej.

8.12 SPAJANJE IN ZAKLJUČEVANJE VN KABLOV

8.12.1 Splošna določila

Kabelski pribor za spajanje in zaključevanje kablov vsebuje:

- pribor za spajanje vodnikov, čevljev, tulcev,
- kabelske končnike za notranjo montažo, zunanjo montažo, vtični pribor,
- pribor za spajanje optičnih kablov.

Kabelski pribor mora biti obratovalno zanesljiv tako kot sam kabel. Dimenzioniran mora biti ne samo na električne in mehanske obremenitve, ampak tudi na pričakovane vplive okolice, kot so vlaga, korozija, ozon, ultravijolično sevanje, razne nečistoče.

Vsak kabelski pribor mora imeti ustrezni atest o tipskih preskusih.

Montažna dela pri vgradnji kabelskega pribora lahko izvajajo samo kvalificirane osebe, ki poznajo posamezne funkcije elementov kabla in kabelskega pribora.

Pri spajanju in zaključevanju kablov se moramo izogniti večkratnemu krivljenju in ravnanju kabla ter toplotnemu pregrevanju kabla.

Pri odstranjevanju posameznih plasti kabla se je potrebno obvezno ravnati po navodilih proizvajalcev kablov, kabelskega pribora in pri tem uporabljati ustrezno orodje.

8.12.2 Spajanje VN kablov

Spajanje kablov se izvaja z ustreznimi kabelskimi spojkami odvisno od konstrukcije in izolacije kablov.

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. Celotni kabelski pribor za spajanje vodnikov mora vsebovati naslednje oznake:

Oznaka na spojki mora vsebovati:

- ime proizvajalca spojke,
- tipsko oznako spojke (kataloško številko),

- oznako standarda, po katerem je spojka izdelana.

Oznake morajo biti nanešene trajno brez možnosti brisanja ali odstranjevanja.

Na paketu, v katerem se dobavljajo spojke, 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, kateri tvorijo en komplet.

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

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

- kabelske spojke za spajanje s stiskanjem,
- kabelske spojke za spajanje z vijačenjem do zloma.

Pri izdelavi kabelskih spojk je potrebno poskrbeti za neprekinjenost kovinskih plaščev in kovinskega zaslona (električne zaščite) kabla z ustreznim priborom za spajanje.

Pribor za spajanje vodnikov s stiskanjem kakor tudi pribor za izdelavo vijačnih spojev mora imeti tipski atest.

Kabelski čevlji morajo biti izdelani tako, da skupaj s kabelskimi končniki tvorijo vzdolžno neprepustnost kabla za vodo. Za zaključevanje nizkonapetostnih kablov za notranjo montažo se lahko uporabljajo tudi cevni čevlji v izvedbi vzdolžne neprepustnosti za vodo. Čevlji in tulci za spajanje vodnika morajo biti izdelani v tehniki stiskanja ali vijačenja.

Vsi prehodi aluminijevih vodnikov na bakrene kakor tudi priključevanje aluminijevih vodnikov na električne postroje ali aparate morajo biti izvedeni z ustreznimi Al-Cu veznimi tulci in čevlji ali pokositreni.

Za priključitev kabelskih vodnikov na vodnike nadzemnega omrežja se uporabljajo sponke, ki zagotavljajo kvalitetne spoje in neprepustnost kabla za vodo. Vsi takšni spoji morajo biti razstavljivi zaradi kasnejših intervencij v omrežju.

Spajanje in zaključevanje vodnikov s postopkom vijačenja se izvaja z vijaki z momentno glavo, s postopkom stiskanja pa se izvaja s specialnimi hidravličnimi stiskalnicami z uporabo ustreznega orodja, ki ga je predpisal proizvajalec kabelskega pribora za spajanje vodnikov.

8.12.3 Zaključevanje VN kablov

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, kateri tvorijo en komplet.

Konstrukcija kabelskega končnika mora omogočati montažo pri temperaturi najmanj +5°C V primeru nižjih temperatur je potrebno upoštevati posebna navodila proizvajalca.

Kovinski zaslon kabla, kovinske cevke z izvodi optičnih vlaken kakor tudi vse kovinske dele kabelskega končnika, ki v normalnem obratovanju niso pod napetostjo, je potrebno ozemljiti.

Pri izdelavi kabelskega končnika je potrebno kovinski zaslon kabla povezati z ozemljitvijo brez prekinitve z ustreznim kabelskim čevljem. Spojno mesto mora biti razstavljivo in dostopno za napetostne preskuse kabelskega plašča. Posebno pozornost je potrebno posvetiti induciranim tokovom v kovinskih zaslonih.

Priključke optičnih vlaken z ozemljitvenim vodnikom ni dovoljeno prekinjati pri izvajanju preskusov.

Za zaključevanje VN kablov s XLPE izolacijo se uporabljajo naslednji kabelski končniki:

- predfabricirani silikonski končniki polnjeni z oljem,

- predfabricirani silikonski končniki brez polnitve z oljem,
- predfabricirani porcelanski končniki polnjeni z oljem.

Kabelski končnik VN kabla se izdela skladno z navodili proizvajalca bodisi na tleh oziroma na podstavku in se z dvigalom dvigne na DV steber bodisi na trajnem mestu obratovanja na konzoli ali DV stebru. Vsi proizvajalci ne dovoljujejo montaže na tleh.

Kabelski končnik VN kabla se montira tako, da je pod končnikom zagotovljena mehanska pritrditev kabla s plastičnimi ali nemagnetnimi objemkami najmanj na dveh mestih. V primeru uporabe ene same objemke mora njena dolžina znašati najmanj trikrat toliko kot je premer kabla.

8.13 ZAŠČITA VN KABLOV PRED BLODEČIMI TOKOVI

8.13.1 Splošne določbe

Izbrati je potrebno kable takih konstrukcij, ki zmanjšujejo vpliv blodečih tokov. Za zaščito obstoječih kablov v območjih, kjer obstaja delovanje blodečih tokov in kabli po svoji konstrukciji niso bili predvideni za polaganje v takšna območja, je potrebno izvesti ustrezne zaščitne ukrepe.

8.13.2 Zaščita VN kablov pred blodečimi tokovi

Za zagotavljanje zaščite kablov pred blodečimi tokovi je potrebno upoštevati določila standarda [26] (SIST EN 50162:2005 - Železniške naprave - Zaščita proti koroziji zaradi učinkovanja blodečih tokov pri enosmernih tokovnih sistemih) ter [2] (Študija EIMV, št. 1882, Analiza vplivov načrtovanega povečanja nazivne moči enosmernih lokomotiv in frekvenca porasta prometa na SN in NN omrežje). Blodeče tokove proizvajajo postroji enosmernega toka, ki za obratovanje izkoriščajo obratovalni vodnik, ki je na več mestih ozemljen. Ti so:

Električna železnica, električni tramvaj, industrijska električna vozila na enosmerni pogon, ki uporabljajo tračnice za povratni vodnik,

- naprave za napajanje trolejbusnih vodov, pri katerih je en vodnik ozemljen na več mestih,
- enosmerna električna omrežja in industrijska omrežja,
- aparati za varjenje z enosmernim tokom posebno v ladjedelnicah,
- enosmerna TK omrežja,
- naprave za zaščito pred korozijo, ki same povzročajo blodeče tokove,
- neozemljeni postroji enosmernega toka pri istočasnih zemeljskih stikih na več mestih.

Projektiranje železniških naprav stabilne naprave električne vleke se izvede v skladu standardom [25] SIST EN 50122-2:2010: Železniške naprave stabilne naprave električne vleke – 2. del: (Zaščitni ukrepi proti učinkom blodečih tokov, ki jih povzročajo enosmerni vlečni sistemi) in standardom [26] EN 50162:2004(SIST EN 50162:2005) Protection against corrosion by stray current from direct current systems (Železniške naprave – Zaščita proti koroziji zaradi učinkovanja blodečih tokov pri enosmernih tokovnih sistemih).

Zmanjševanje vpliva blodečih tokov se priporoča na samem izvoru po eni od naslednjih metod:

- z dobrim galvanskim povezovanjem tračnic,
- z dobrim vzdolžnim povezovanjem odcepov in križanj.

Ukrepi za zmanjševanje škodljivega delovanja blodečih tokov so:

- izbira primerne lokacije kabla,
- vgradnja katodne zaščite,
- vgradnja ISP naprave za zaščito pred vdorom blodečih tokov.

8.13.3 Polaganje VN kablov glede na zaščito

Zagotovitev zaščite VN kablov s polaganjem v cevi in kanale

Zahteve za polaganje kablov v cevi in kanale za zagotovitev zaščite kabla so naslednje:

- Kable je mogoče zaščititi s polaganjem v kabelske kanale, ki morajo biti popolnoma suhi. Spoje kanalov, ki so izdelani iz kanalskih blokov, je potrebno zatesniti pred vlago.
- V kabelskih kanalih, v katerih so položeni kabli in od katerih eden izmed njih povzroča blodeče toke, je potrebno ostale kable medsebojno izolirati ter njihove plašče kratko stakniti, v primeru da se uporabi katodna zaščita.
- Kovinske zaščitne cevi kablov morajo biti v vzdolžni smeri električno dobro povezane.

Zaščitna izolacija kabla

- Zaščitno izolacijo kabla je potrebno uporabiti na celotnem območju, kjer ga ogrožajo blodeči tokovi.
- Poleg kablov je potrebno izolirati tudi kabelske spojke.

Katodna zaščita

Najpogostejši so naslednji načini priključitve katodne zaščite:

1 Neposredno odvajanje blodečih tokov iz ščitenega kabla je možno, če je mesto priključitve na tračnice vedno bolj negativno od okoliške zemlje in se polariteta ne spreminja. Izvede se na način, ki ga prikazuje Slika 39 v poglavju 6.14, ki obravnava SN kable.

2 Pri usmerjenem odvodu blodečih tokov je dovoljen večji izbor priključnih mest na tračnice brez nevarnosti spremembe polaritete. Izvede se na način, ki ga prikazuje Slika 40 v poglavju 6.14, ki obravnava SN kable.

3 Če zaščita ne zadovoljuje prve točke tega poglavja, se priporoča uporaba enosmernega izvora, ki vsesava blodeče tokove. Izvor mora biti prilagojen okoliškim razmeram in opremljen z napravo za merjenje. Izvede se na način, ki ga prikazuje Slika 41 v poglavju 6.14, ki obravnava SN kable.

4 Katodna zaščita z vkopano anodo se priporoča tam, kjer je ščiteni vod zelo dolg. Enosmerni izvor je priključen z negativnim polom na ščiteni kabel, pozitivni pol pa je povezan z vkopano anodo. Vodi, ki povezujejo posamezne elemente, morajo biti dobro izolirani od okoliške zemlje. Oddaljenost med anodo in ščitenimi kabli je potrebno

določiti za vsak primer posebej. Izvede se na način, ki ga prikazuje Slika 42 v poglavju 6.14, ki obravnava SN kable.

Zaščita drugih podzemnih inštalacij

Pri uporabi katodne zaščite lahko pride do poškodb ostalih podzemnih inštalacij. Za preprečevanje omenjenih okvar je potrebno:

- razširiti katodno zaščito na sosednje podzemne inštalacije,
- uporabiti izolirane kable pri približevanjih ali križanjih podzemnih inštalacij s ščitenim objektom,
- dodatno izolirati sosednje inštalacije.

Za izvedbo zaščitnih ukrepov in kontrolo učinkovitosti je potrebno izvršiti vse potrebne meritve. Te meritve opravljajo podjetja, ki imajo ustrezne naprave in kvalificiran kader.

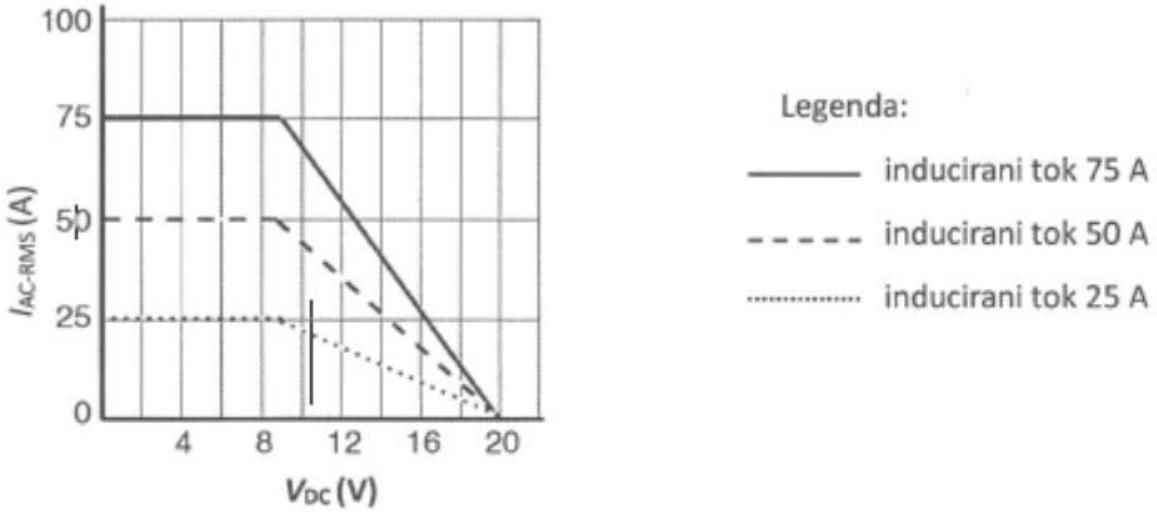
Zaščita pred vdorom blodečih tokov z ISP napravo

ISP naprava deluje na principu prevajanja AC toka ter blokadi DC toka, ki povzroča pojav korozije na kovinskih delih elementov postroja. Naprava se vgradi na obeh straneh kompenzacijskega vodnika. Zagotavlja nizko impedanco do zemlje za inducirane AC toke in s tem preprečitev nevarnih napetosti, ki bi se lahko pojavile na napravi, ki jo ščiti. V primeru udara strele zagotavlja prenapetostno zaščito do želene meje, določene v specifikacijah.

V primeru prekoračitve vrednosti induciranega AC toka in DC napetosti na terminalih zagotovi močno znižanje impedance (kratkostičenje) in v tern času naprava prevaja tako AC kot DC tok do trenutka, ko vrednosti ponovne ne padejo pod predpisano mejo.

Delovanje ISP naprave v DC področju

Naprava preprečuje prehod DC toka do vnaprej določene višine DC napetosti (npr. 20 V) kot prikazuje Slika 73.



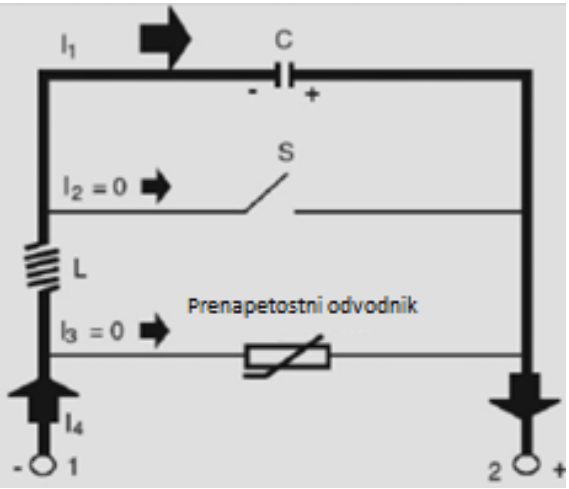
Slika 73: Karakteristika delovanja /SP naprave pri AC induciranem toku ter DC napetosti na priključkih

V kolikor se določi, da naprava v normalnem obratovalnem stanju blokira DC tok do skupne napetosti 20 V temenske vrednosti, se njeno delno prevajanje začne že pri nižjih napetostih, pri nazivni vrednosti pa za enosmerne veličine predstavlja kratko sklenjen tokokrog. Vrednost 20 V predstavlja skupno višino enosmerne in izmenične napetosti, ki se pojavi na ščitenem kompenzacijskem vodniku (V_{DC}+V_{AC} peak). V stanju prevajanja je sklenjena povezava tako za AC kot tudi DC tok, dokler velikost toka ne pade pod vrednost vzdržnega toka. V tem času lahko vrednosti blodečega toka presežejo vzdržne vrednosti, zato ima naprava vgrajeno kontrolno vezje, ki jo lahko povrne v normalno obratovanje tudi, če vrednosti DC toka dosežejo vrednost določeno s karakteristiko naprave.

Delovanje ISP naprave v AC področju

V primeru presežene mejne vrednosti induciranega toka ISP naprava preko kontrolne enote sklene tokokrog (prevajanje preko tiristorjev), da ne pride do poškodbe kondenzatorja. Naprava mora biti izbrana tako, da pri najvišji vrednosti induciranega toka ne prihaja do delovanja

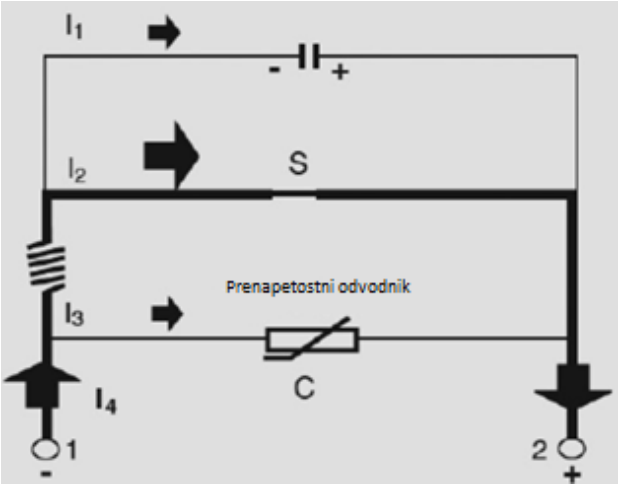
tiristorjev (stikalo S), kot prikazuje Slika 74 pri poteku toka v normalnem obratovanju naprave, ko prevaja AC tok in blokira DC tok.



Slika 74: Prevajanje toka pri normalnem delovanju ISP (prevajanje AC in blokada DC)

Delovanje ISP naprave pri preseženih vrednostih AC toka in kratkih stikih

Delovanje ISP naprave pri preseženih vrednostih AC toka in kratkih stikih prikazuje Slika 75.

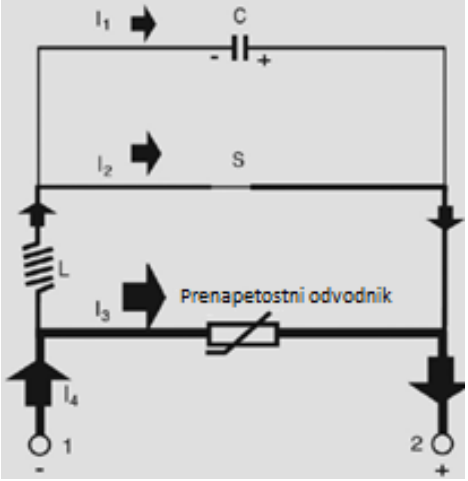


Slika 75: Prevajanje toka pri preseženih vrednostih AC toka in kratkih stikih

Delovanje ISP naprave v primeru atmosferske razelektritve

V primeru atmosferske razelektritve 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 vrednoti, so ti v času napake postavljeni v delovanje. Tok, ki teče preko tiristorjev, je zaradi višje impedance majhen v primerjavi s tokom preko prenapetostnega odvodnika. Napetost, ki se pojavi na priključkih naprave v primeru atmosferske razelektritve, je določena s karakteristiko odvodnika oz. z impedanco, ki jo predstavlja dolžina priključnih kablov. Prav zaradi tega je pomembno, da je dolžina priključnih

kablov pri izvedbi priključitve ISP naprave čim krajša. Delovanje ISP naprave v primeru atmosferske razelektritve prikazuje Slika 76.



Slika 76: Prevajanje toka pri atmosferskih razelektritvah

8.14 PRENAPETOSTNA ZAŠČITA VN KABLOV/KABLOVODOV

Za zagotovitev zanesljivega obratovanja omrežja je potrebno natančnost pri izdelavi koordinacije izolacije in prenapetostne zaščite vključno s pripadajočimi ozemljitvenimi povezavami, ki ob nastanku atmosferskih ali stikalnih prenapetostih zagotavlja učinkovito prenapetostno zaščito izolacije VN naprav.

Posebno pozornost je treba posvetiti izbiri nazivnih parametrov prenapetostnih odvodnikov za zaščito glavne izolacije (VN odvodnik) in prenapetostnih odvodnikov za zaščito zunanjega plašča (SVL). Izbira nazivnih parametrov slednjih je odvisna predvsem od dolžine kablovoda in kratkostičnih razmer v tem delu omrežja.

V sklopu vzdrževanja kablovoda je treba zagotoviti nadzor in občasno preverjanje kabla in kabelskega pribora, VN odvodnikov, SVL in pripadajočih ozemljitvenih povezav. V okviru nadzora se izvajajo periodični kontrolni pregledi in meritve na elementih kabelskega sistema in VN odvodnikov in SVL. Aktivnosti, ki se izvajajo v sklopu vzdrževanja kablovoda, so podrobneje opisane v poglavju 8.2, ki opisuje diagnostične meritve.

8.14.1 Prenapetostna zaščita glavne izolacije kabla

Prenapetosti na kablovodu so odvisne od številnih faktorjev in sicer jakosti toka strele in strmine čela udara, mesta udara, valovne impedance daljnovoda in kablovoda, dolžine kablovoda, bližine točke prehoda daljnovoda v kablovod in velikosti impedance, s katero je kablovod zaključen. Posebej visoke prenapetosti se pojavijo v primerih, da je kablovod zaključen z impedanco, ki je večja od valovne impedance kablovoda. Najvišje prenapetosti na nezaščitenem kablovodu se pojavijo, kadar je kablovod na eni strani odprt (npr. pri odklopu voda). V tem primeru se prenapetosti na kablovodu podvojijo in lahko povzročijo preboj glavne izolacije

kabla. Pri krajših kablovodih je dušenje prenapetosti manjše, pri daljših kablovodih pa večje, zato prenapetosti pri daljših kablovodih niso tako visoke kot pri krajših kablovodih.

Med prenapetostmi, ki se lahko pojavijo na kablovodu, so večinoma najbolj nevarne atmosferske prenapetosti, zato je pri njihovi analizi potrebno posvetiti posebno pozornost. Prvemu atmosferskemu udaru večinoma sledita še eden do dva udara z amplitudami, ki so po večini nižje, izjemoma pa so lahko tudi enako visoke ali celo višje. Ker imajo večje strmino čela lahko povzročijo višje prenapetosti od prvega udara.

Atmosferske prenapetosti najbolj ogrožajo kable, ki so položeni na terenih z visoko intenziteto atmosferskih razelektritev in nizko specifično prevodnostjo tal, zlasti na izpostavljenih legah v visokogorju in na kraških tleh. Posebno izpostavljena so mesta prehodov med daljnovodi in kablovodi, zaradi spremembe valovne impedance. V primeru, da je kablovod vgrajen med dvema daljnovodoma, sta oba konca kablovoda zaključena z valovno impedanco daljnovoda, ki je večja od valovne impedance kablovoda in če v točki prehoda daljnovoda v kablovod ni vgrajena prenapetostna zaščita, se lahko pojavijo tako visoke prenapetosti, da lahko povzročijo preboj izolacije na izolatorski verigi ali izolacije kabla. Način namestitve dovodnikov je odvisen od zaščitne cone prenapetostnega odvodnika. Če je ta daljša od dolžine kablovoda, zadostuje, da se odvodniki namestijo na eni strani kablovoda, če pa je dolžina kablovoda večja od zaščitne cone odvodnika, je potrebno prenapetostne odvodnike namestiti na obeh straneh kablovoda.

Prenapetostni odvodniki za zaščito glavne izolacije (VN odvodnik) se običajno namestijo v neposredno bližino kabelskega končnika na DV stebru, pri kablih daljših od 150 m pa se priporoča, da se VN odvodnik namesti tudi v stikališču, še posebej pri GIS izvedbi. Za nadzor delovanja odvodnikov se lahko uporabijo števci delovanj, ki poleg registracije števila delovanj merijo tudi uhajavi tok VN odvodnika.

V VN omrežjih višjih napetosti se pojavljajo višje prenapetosti, zato so potrebni odvodniki z višjo absorpcijsko sposobnostjo. Še posebej neugodne razmere se pojavljajo v mešanih omrežjih, kjer kabel prehaja v daljnovod in obratno, saj je daljnovod zaradi udarov strel veliko bolj izpostavljen od kablovoda.

Največjo nevarnost za odpoved predstavljajo atmosferski udari v fazni vodnik, kjer se lahko posebno na prehodu iz daljnovoda v kablovod, zaradi spremembe valovne impedance pojavijo izredno visoke prenapetosti. Te močno ogrožajo varno obratovanje odvodnikov, saj velika trenutna absorpcija energije lahko povzroči njihov termični pobeg, zato je pomembno, da se izbere pravilna napetost reagiranja in absorpcijska sposobnost VN odvodnika.

8.14.2 Prenapetostna zaščita zunanjega plašča kabla

Prenapetosti ogrožajo tako samo glavno izolacijo kabla kot tudi izolacijo zunanjega plašča kabla. Da bi kovinski zaslon lahko učinkovito odvedel prenapetosti, mora biti ustrezno dimenzioniran tj. imeti mora ustrezen prerez in konstrukcijo, ki se izbere v odvisnosti od prenapetosti, ki se lahko pojavijo v opazovanem delu omrežja. Najnevarnejše so atmosferske

prenapetosti, ki nastanejo pri udaru strele v fazni vodnik bližnjega daljnovoda, ki se nadaljuje s kablovodom. Velikost inducirane napetosti v kovinskih zaslonih je odvisna od načina njihove ozemljitve, prereza vodnika in toka v njem, debeline izolacije, formacije in razdalje med kabli posameznih faz. Kabelske plašče ogrožajo tudi udari strele v bližino kablovoda, kjer se ustvari napetostni lijak. V primeru, da nastopi potencialna razlika med okoliškim terenom in kovinskim zaslonom kabla, ki presega prebojno trdnost kabelskega plašča (slednja je razmeroma nizka), nastopi preboj zunanjega plašča, možen pa je tudi preboj glavne izolacije.

Pri krajših kablovodih z enostransko ozemljenimi kovinskimi zasloni so prenapetosti najvišje. Te lahko na neozemljeni strani dosežejo tako visoke vrednosti, da ogrozijo dielektrično trdnost zunanjega plašča in povzročijo preboj med kovinskim zaslonom in ozemljenimi deli. Prenapetosti je mogoče učinkovito omejiti z namestitvijo prenapetostnih odvodnikov za zaščito kovinskih zaslonov (SVL: angl. Sheat Voltage Limiter) na neozemljeni strani kovinskih zaslonov, ki se izberejo iz kataloga proizvajalca na osnovi naslednje enačbe:

$$U_C \geq 0{,}24 \cdot I_k \, L_k \text{ [kV]} \tag{9.1}$$

kjer je:

U_C trajna obratovalna napetost odvodnika,
I_k največji kratkostični tok v kA, ki lahko teče po kovinskem zaslonu,
L_k dolžina kablovoda v km.

Pri daljših kablovodih bi se v kovinskih zaslonih pojavile prevelike prenapetosti, zato je potrebno kovinske zaslone ozemljiti obojestransko in izvesti njihov preplet, sicer bi se v njih pojavili zančni tokovi, ki bi močno zmanjšali obremenljivost kablovoda.

Preverjanje obratovalne sposobnosti SVL

Obratovalno sposobnost SVL je potrebno periodično preverjati z meritvami. To pogosto predstavlja problem spričo težavne dostopnosti omaric z nameščenimi SVL, zlasti pri navzkrižno povezanih kovinskih zaslonih (angl. Cross-bonding) na spojnih mestih, saj so le-ti večinoma nameščeni v jaških, ki so prekriti z zemljo. Zavedati se je treba, da se pri poškodbi SVL lahko močno spremeni porazdelitev potenciala v kovinskih zaslonih in struktura tokov v njih, kar lahko povzroči močna lokalna pregrevanja in preobremenitev glavne izolacije kabla ter posledično njeno pospešeno degradacijo, v kolikor se okvara ne odkrije dovolj zgodaj. V izogib omenjeni težavi, je priporočljivo SVL zaščititi s paralelno namestitvijo dodatnih zaščitnih prenapetostnih odvodnikov.

Za zaščito zunanjega plašča kabla pred prenapetostmi je na razpolago večje število izvedb SVL, ki so odvisne od napetostnega nivoja omrežja in njegove topologije. Potrebno je omejiti napetost dotika kovinskih zaslonov. Ta je odvisna od nazivne napetosti omrežja in dolžine kablovoda. V SN omrežjih prevladuje obojestranska ali enostranska ozemljitev kovinskih zaslonov. Uporaba prepleta kovinskih zaslonov v SN omrežjih ni pogosta in je omejena na kablovode največjih presekov z največjimi pretoki moči.

Izbira odvodnikov za zaščito kovinskih zaslonov (SVL)

V VN omrežjih so kovinski zasloni bodisi enostransko ozemljeni bodisi obojestransko z izvedenim prepletom. Na mestih, kjer ni izvedena direktna ozemljitev, pa so nameščeni prenapetostni odvodniki za zaščito zunanjega plašča (SVL).

Pri tem je znanih več različnih načinov izvedb ozemljitev. Najpogostejši način je kombinacija direktne ozemljitve na eni strani in ozemljitve preko prenapetostnega odvodnika na drugi strani pri krajših kablovodih ter uporaba navzkrižnega prepletanja kovinskih zaslonov-ekranov brez ali s transpozicijo faznih vodnikov pri daljših kablovodih. Vse ostale variante so izvedene kot kombinacija omenjenih dveh najpogostejših načinov ozemljitev.

Zelo pomembna je pravilna izbira nazivne napetosti odvodnika in njegove energijske absorpcije. To velja tako za VN odvodnike, ki ščitijo glavno izolacijo kot tudi za odvodnike za zaščito zunanjega plašča (SVL). Še posebej je potrebna natančnost pri izbiri nazivne napetosti odvodnikov za zaščito zunanjega plašča (SVL). Le-ta je odvisna od dolžine trase kablovoda in mesta namestitve odvodnikov, izbira absorpcijske moči pa od pričakovanih prenapetosti, katerih posledica so visoke količine energije, ki se absorbirajo v odvodniku ob njegovem delovanju.

Znani so primeri poškodb prenapetostnih odvodnikov za zaščito plašča kabla (SVL) pri direktnem udaru strele v fazni vodnik DV, ki preide v kablovod. V takih primerih se v prenapetostnih odvodnikih za zaščito zunanjega plašča (SVL) v hipu absorbira tolikšna energija, da pride do njihovega termičnega pobega. Količino absorbirane energije v SVL je mogoče bistveno zmanjšati, če se paralelno k SVL namesti dodatni ZnO odvodnik za zaščito SVL s cca. 10 % nižjo napetostjo reagiranja. V tem primeru se količina absorbirane energije na SVL močno zmanjša, kar obvaruje SVL pred uničenjem.

Razporeditev absorbirane energije med SVL in dodatnim zaščitnim ZnO odvodnikom je sicer odvisna od napetosti reagiranja in dolžine priključne povezave slednjega. Pri zelo kratki povezavi (cca. 1,5 m) prevladujoči del energije prevzame dodatni zaščitni odvodnik (cca. 1 : 10), pri srednje dolgi povezavi (cca. 6 m) dodatni zaščitni odvodnik prevzame približno 2/3 energije, pri zelo dolgi povezavi (cca. 12 m) pa se absorbirana energija približno enakomerno porazdeli med SVL in dodatni zaščitni odvodnik. Razmerje med količino absorbirane energije na dodatnem zaščitnem odvodniku in SVL se veča z višino prenapetosti tako, da višja kot je prenapetost, večji delež absorbirane energije prevzame dodatni zaščitni odvodnik.

8.14.3 Tehnične rešitve ozemljitev na prehodu daljnovoda v kablovod

Na portalih, v stikališčih in na prehodih kablovoda v DV se odvodnik za zaščito plašča kabla (SVL) namesti pod kabelski končnik in priključi preko iskrišča, ki predstavlja tudi ločilno mesto. Način priključitve je prikazuje Slika 77. V stikališču v GIS izvedbi se kovinski zaslon-ekran kabla po najkrajši možni poti neposredno ozemlji na ozemljilni sistem objekta. Ločilno mesto mora zagotavljati izvajanje periodičnih meritev izolacije plašča kabla.

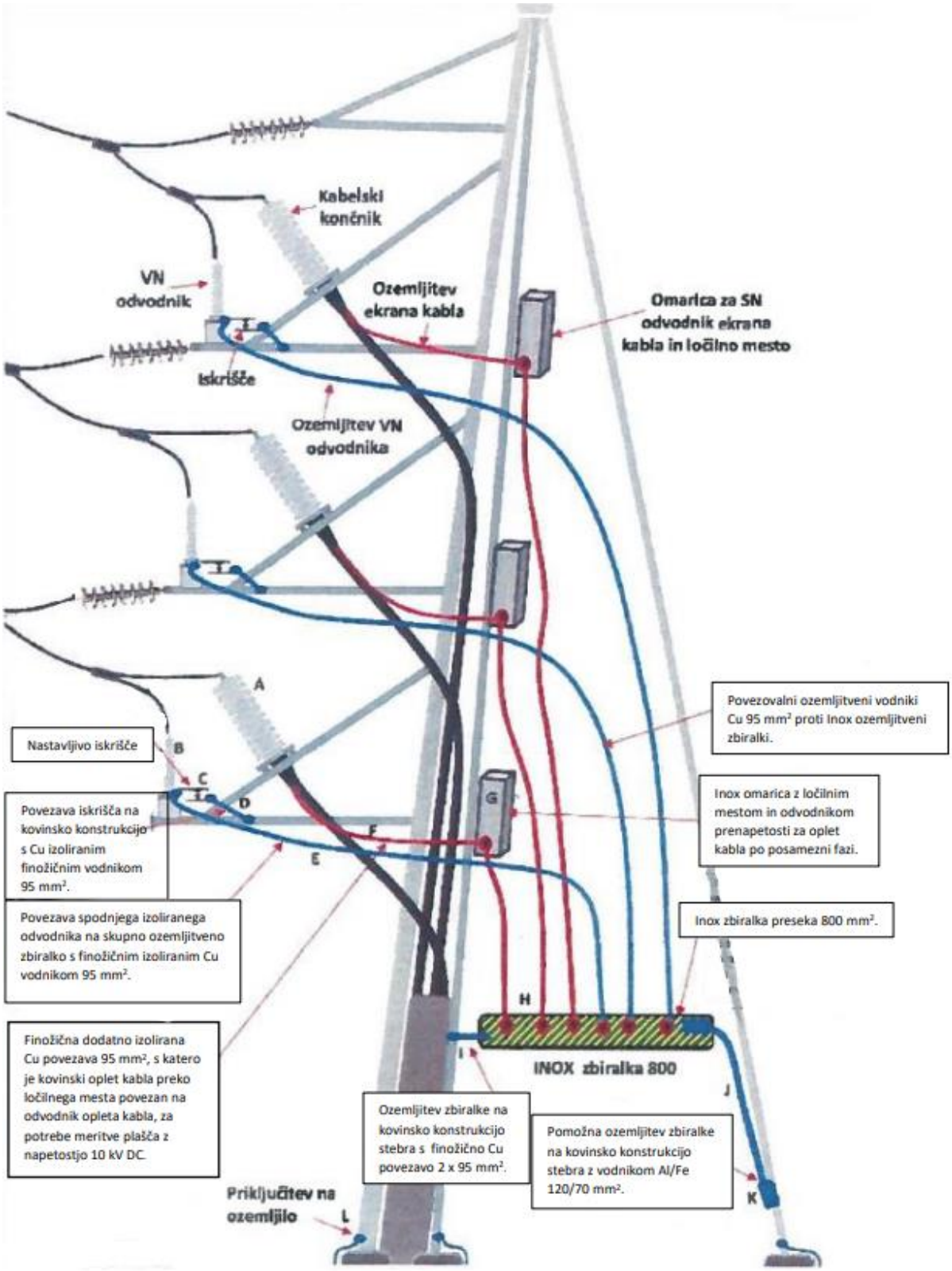
Povezava med kovinskim zaslonom-ekranom kabla (pod kabelskim končnikom) in ločilnim mestom mora biti dodatno izolirana, da se lahko opravi periodični dielektrični preizkus zunanjega plašča kabla z enosmerno napetostjo 10 kV (DC).

V kolikor se vgradijo števci delovanj VN odvodnika, se priporoča izbira števcev, kateri so neposredno ozemljeni na konzolo DV stebra in omogočajo daljinsko odčitavanje njihovega delovanja.

Na DV stebru se pod spodnjo konzolo namesti skupna ozemljilna zbiralka, na katero se priključi ozemljilne vodnike VN odvodnikov in SVL s čemer se zagotovi, da so le ti povezani v isto potencialno točko. Zaradi periodičnega izvajanja meritev na VN odvodnikih (meritev uhajavega toka) mora biti skupna ozemljilna zbiralka izolirana od kovinske konstrukcije DV stebra.

Ozemljilne vodnike se poveže skupaj, da se zagotovi dobra kapacitivna povezava, kar zagotavlja, da med njimi ne nastajajo prevelike razlike v potencialih. Potekati morajo v ravnih linijah, na krivinah pa je treba zagotoviti dovolj velik radij krivljenja (od 0,7 do 1 m), s čemer se zagotovi dovolj nizko induktivnost vodnika.

V neposredno bližino spodnjega dela VN odvodnika se namesti iskrišče, ki se na eni strani poveže z ozemljilno sponko VN odvodnika, na drugi strani pa se direktno ozemlji na konzolo DV stebra. Uporabi se majhno iskrišče z ravnima elektrodama. Razdalja med elektrodama mora zagotavljati, da iskrišče deluje praktično v vseh primerih delovanja VN odvodnika, kar zagotavlja dodatno ozemljitev preko konstrukcije DV stebra z nižjo valovno impedanco. V praksi je to zagotovljeno, če se razdaljo med elektrodama nastavi med 3 do 5 mm.



Slika 77: Prikaz priključitve VN odvodnikov in SVL na ozemljilni sistem

8.15 OZEMLJITEV VN KABLOV

Načini ozemljitev kovinskih zaslonov so opisani že v sklopu poglavja o SN kablovodih, na tem mestu pa so opisani posamezni detajli. Poznamo enostransko, obojestransko, ozemljitev s prepletanjem kovinskih zaslonov in mešano (kombinirano) ozemljitev kovinskih zaslonov. S stališča izvedbe in prenosnih zmogljivosti kablovoda je najenostavnejša rešitev enostranska ozemljitev, najoptimalnejša pa ozemljitev s prepletanjem kovinskih zaslonov, ki zagotavlja najvišjo prenosno zmogljivost kablovoda.

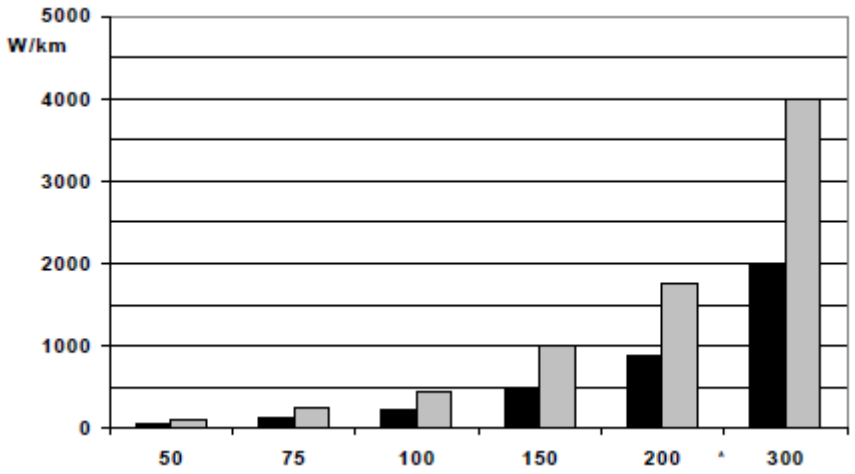
8.15.1 Enostranska ozemljitev kovinskih zaslonov

Ker so kovinski zasloni ozemljeni le v eni točki, se s tem onemogoči sklenitev tokokroga. Inducirana napetost na kovinskem zaslonu tako ne more pognati induciranega toka, ki bi povzročal dodatne toplotne izgube. Velikost inducirane napetosti na kovinskem zaslonu je premo sorazmerna z dolžino kablovoda, tokom v vodniku in medsebojne reaktance (X_m) posameznih kabelskih žil. Slednja je odvisna od formacije polaganja kablovoda in je večja pri ravninski formaciji, posebno pri zunanjih dveh kabelskih žilah.

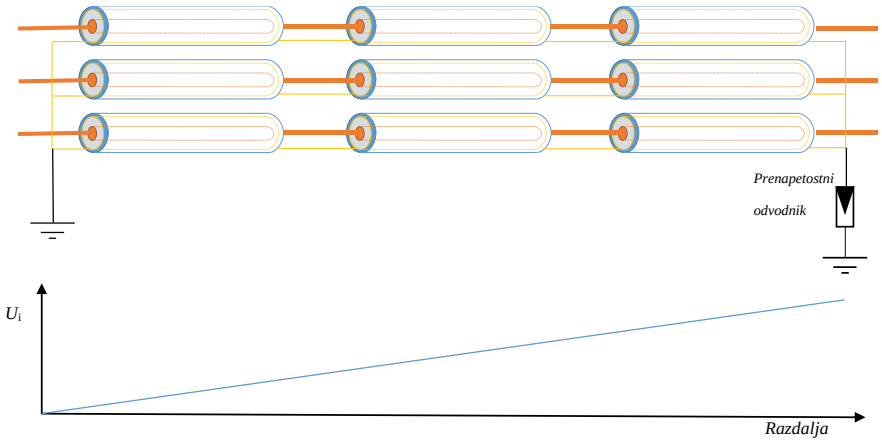
$$U_i = l \cdot I \cdot X_m \tag{8.58}$$

Pri dolgih in obremenjenih kablih se nivo inducirane napetosti lahko dvigne na visoke vrednosti, ki so lahko izolacijsko vprašljive, saj zunanji PE plašč kabla navadno ni konstruiran niti dimenzioniran za visoke zdržne napetosti. Zato je potrebno na neozemljeni strani med kovinskem zaslonom in zemljo vgraditi ustrezen prenapetostni odvodnik. Ta mora biti dimenzioniran tako, da je v normalnih obratovalnih razmerah neaktiven. Slika 79 shematsko prikazuje profil inducirane napetosti na enostranskem ozemljenem kovinskem zaslonu. V nekaterih državah je inducirana napetost v kovinskih zaslonih pri normalnem obratovanju omejena na 600 V [45] (CIGRE TB 797 tč. 1.3.6).

V praksi velja nepisano pravilo, da se navzkrižna povezava kovinskih zaslonov izvede v primeru, ko vrednost zančnih tokov preseže 30 % vrednosti bremenskega toka v vodnikih. [63]

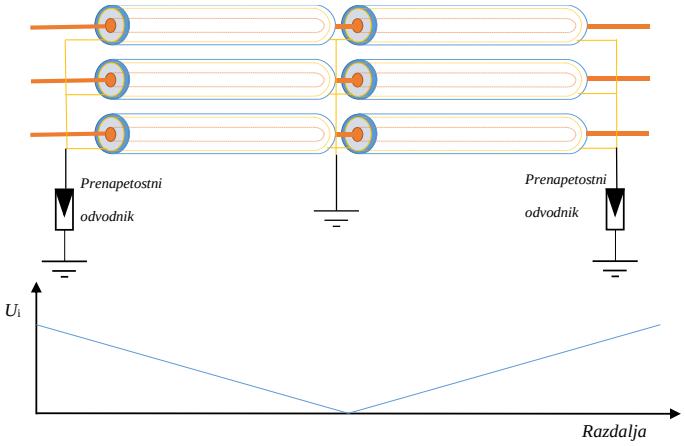


Slika 78: Izgube v kovinskih zaslonih (25 mm² Cu) v odvisnosti od toka v vodniku (črno: trikotna formacija, sivo: ravninska formacija)



Slika 79: Inducirana napetosti v kovinskem zaslonu enostransko ozemljenega kabelskega zaslona skozi celotna dolžino položenega kabelskega sistema

Možna je tudi izvedba s sredinsko ozemljilno točko, pri čemer na koncih kablovoda zmanjšamo nivo inducirane napetosti za polovico. Situacijo prikazuje Slika 80.



Slika 80: Inducirana napetosti v kovinskem zaslonu sredinsko ozemljenega kovinskega zaslona skozi celotno dolžino položenega kabelskega sistema

Nivo inducirane napetosti pri dolgih kablovodih in visokih tokovih (kratki stiki, tranzienti) lahko doseže nekaj kV, kar predstavlja potencialno nevarnost za ljudi in opremo na odprtem koncu kablovoda. Zaradi tega se poleg kabla položi prevodno strukturo, ki jo v praksi največkrat predstavlja bakrena pletena vrv. Pri kombiniranih vodih se pri prehodu iz daljnovoda v kablovod in obratno zaščitno daljnovodno vrv poveže z omenjeno bakreno pletenico, ki nam pri nastanku okvar s stikom z zemljo omogoča vzpostavitev potrebnega redukcijskega faktorja.

Kablovodi z enostransko ozemljenimi kovinskimi zasloni nimajo nikakršnega redukcijskega faktorja. To predstavlja problematiko predvsem v gosto zazankanih kabelskih omrežjih, kjer ozemljitveni sistem RTP-jev zaradi prostorskih (mesto) in izvedbenih omejitev ni mogoče

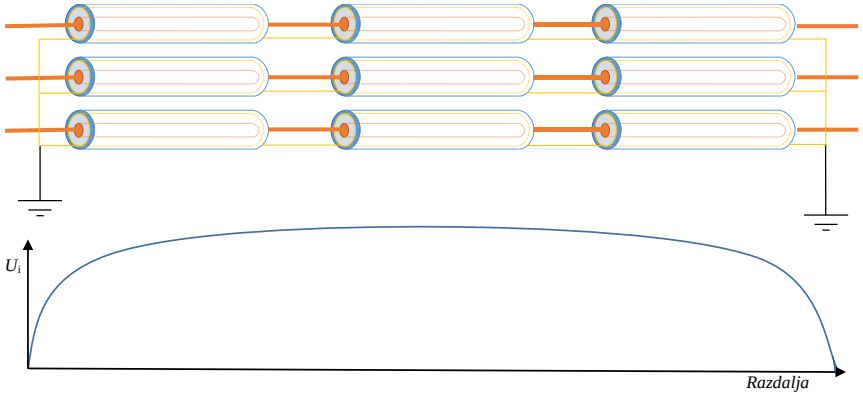
ustrezno dimenzionirati. V ta namen se za ustvarjanje in/ali popravljanje potrebnega skupnega redukcijskega faktorja RTP-ja, ki ustrezno razbremeni njegov ozemljitveni sistem, poleg kablovoda polaga prevodno vrv, ki galvansko povezuje ozemljitvena sistema obeh s kablovodov povezanih RTP-jev.

Enostranska ozemljitev kovinskih zaslonov je torej primerna pri razmeroma kratkih kablovodih ali odsekih kablovodov (cca. 500 m) z nižjimi tokovnimi obremenitvami. Dejansko maksimalno dolžino kablovoda z enostransko ozemljenimi kovinskimi zasloni natančneje določa sprejemljiv nivo potencialne razlike med kovinskimi zasloni in okolico, kar je odvisno od posameznega primera. Uporaba takega načina ozemljitev kovinskih zaslonov zagotavlja nizke izgube v kovinskih zaslonih in zato možnost izkoriščanja polne prenosne kapacitete zadevnega kablovoda. Pri tem se je treba zavedati varnostnih ukrepov, ki jih zahteva (visoka) inducirana napetost na neozemljeni strani kovinskega zaslona. Posledično morajo biti vse kabelske spojke zadostno napetostno izolirane za primer nenamernega dotika, ki se lahko zgodi pri vzdrževalnih delih. Če je specifična upornost zemlje na eni strani kablovoda nižja kot na drugi, je smiselno direktno ozemljiti kabel na strani z nižjo specifično upornostjo.

8.15.2 Obojestranska ozemljitev kovinskih zaslonov

Pri obojestranski ozemljitvi kovinskih zaslonov so le-ti na začetku in koncu kablovoda sklenjeni in togo ozemljeni. Posledično je s tem preko sosednjih kovinskih zaslonov in zemlje omogočen sklenjen tokokrog in s tem prosta pot induciranim tokovom. Velikost induciranih tokov v kovinskih zaslonih je odvisna le od toka v vodniku, od katerega je neposredno odvisna velikost inducirane napetosti na kovinskem zaslonu, preseka kovinskega zaslona in od formacije polaganja ter neodvisna od dolžine kablovoda. Zaradi obojestransko ozemljenih kovinskih zaslonov je velikost inducirane napetosti na koncih kabla enaka nič. Z varnostnega stališča je to vsekakor boljša izvedba v primerjavi z enostransko ozemljeno izvedbo. Tudi v primeru zemeljskega stika je dvig potenciala okolice zaradi nizkega redukcijskega faktorja (r) zanemarljiv, kar s stališča napetosti dotika in koraka predstavlja veliko prednost. Slika 81 shematsko prikazuje napetostni profil inducirane napetosti v kovinskem zaslonu obojestransko ozemljenega kovinskega zaslona.

Kablovod z obojestransko ozemljenimi kovinskimi zasloni-ekrani ima zaradi dodatne toplotne obremenitve, ki jo producirajo inducirani tokovi v kovinskem zaslonu, posledično manjšo prenosno kapaciteto. To zmanjšanje je odvisno predvsem od faktorjev, ki vplivajo na velikost induciranih tokov v kovinskih zaslonih. Zmanjšanje prenosne kapacitete obravnavanih 110 kV kablovodov z obojestransko ozemljenimi kovinskimi zasloni v primerjavi z enostransko ozemljenimi kovinskimi zasloni prikazuje Tabela 27.



Slika 81: Inducirana napetosti v kovinskem zaslonu obojestransko ozemljenega kovinskega zaslona skozi celotno dolžino položenega kabelskega sistema

Zmanjšanje prenosne zmogljivosti oz. tokovne obremenitve kablovoda v primeru obojestranske ozemljitve kovinskih zaslonov (Tabela 27) je večje pri ravninski formaciji polaganja. Razlog je predvsem v dejstvu, da kablovod z enostransko ozemljenimi kovinskimi zasloni, položen v ravninski formaciji, zagotavlja boljše termično odvajanje. Iz tega razloga je obremenljivost kablovoda z enostransko ozemljenimi kovinskimi zasloni, položenega v ravninski formaciji, 6,5 % višja v primerjavi s trikotno izvedbo. Situacija pa se spremeni pri obojestransko ozemljenih kovinskih zaslonih. Zaradi višjih medsebojnih reaktanc (X_m), ki so prisotne pri ravninsko položenih kablovodih, je tudi inducirani tok v kovinskih zaslonih višji kot v trikotni izvedbi. Višji inducirani tokovi v kovinskih zaslonih pa povzročajo višje termične izgube in s tem znižujejo mejo prenosni zmogljivosti kablovoda. V tem primeru je prenosna zmogljivost kablovoda, položenega v ravninski formaciji, kljub boljšemu termičnemu odvajanju 15 % slabša kot v primerjavi izvedbo položeno v trikot.

Pri določitvi tokovne obremenitve kablov je poleg izračuna izgub v vodnikih pri obojestransko ozemljenih kovinskih zaslonih potrebno opraviti tudi izračuna izgub v kovinskih zaslonih. Slednje lahko pri polaganju v horizontalni liniji in večjih oddaljenostih med posameznimi fazami dosežejo zelo visoke vrednosti in močno zmanjšajo obremenljivost kablovoda. Izgube v kovinskem zaslonu je mogoče močno zmanjšati z ustreznim načinom polaganja. Izgube v kovinskih zaslonih so najmanjše pri polaganju v trikot in največje pri polaganju v ravnini, zato je pri takem načinu polaganja, ki sicer zagotavlja boljše odvajanje toplote, pri daljših kablovodih z večjimi preseki (visoka tokovna obremenitev) primerno izvesti preplet faznih vodnikov (angl. Cross-bonding).

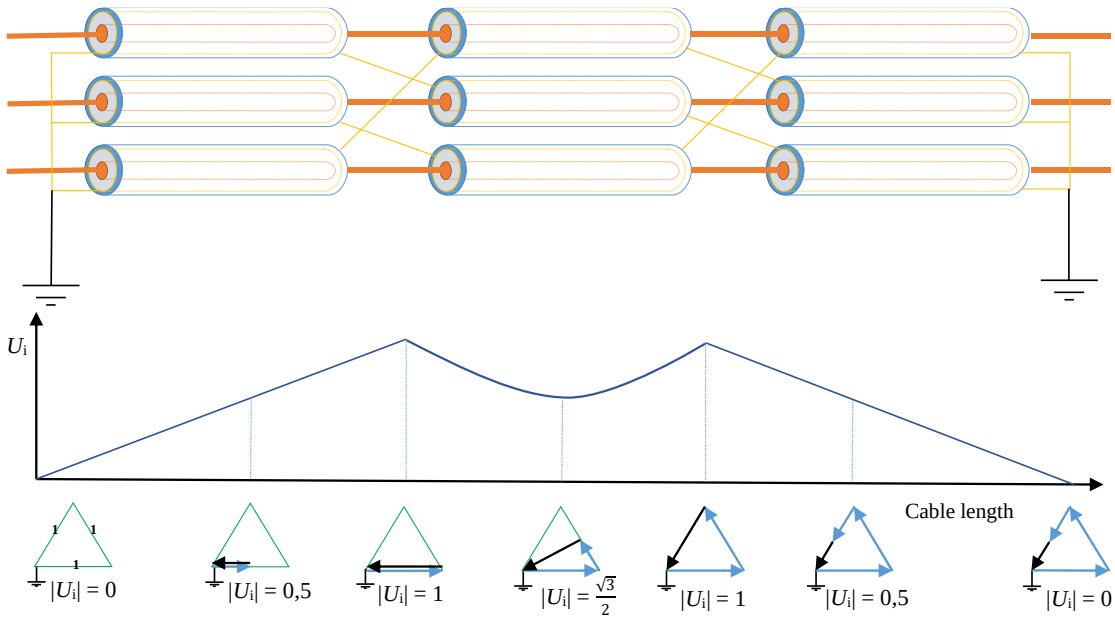
Pri močneje obremenjenih kablovodih večjih dolžin je potrebno preveriti, kolikšno je zmanjšanje obremenljivosti zaradi zančnih tokov po kovinskih zaslonih v primeru obojestranske ozemljitve kovinskih zaslonov, ter kolikšna je inducirana napetost v kovinskih zaslonih. Ta je v normalnem obratovanju omejena na 400 V, v primeru kratkega stika pa na 20 kV. Izgube v kovinskih zaslonih so tem večje, čim večja je oddaljenost med posameznimi faznimi vodniki. Postopek izračuna tokovne obremenljivosti in izgub je podan v standardu IEC 60287-1-1.

Zaradi omenjenih omejitev se obojestranska ozemljitev uporablja pri krajših kabelskih povezavah s preseki vodnikov približno do 630 mm^2. Pri daljših povezavah, kjer ni mogoča uporaba enostranskega ozemljitve, bodisi zaradi previsokega dviga napetosti v kovinskih zaslonih bodisi zaradi prevelikih izgub, ki jih povzročajo zančni tokovi v kovinskih zaslonih, pa se večinoma uporablja prej omenjena navzkrižna povezava kovinskih zaslonov (angl. Cross-bonding).

Zmanjšanje prenosne kapacitete pri 110 kV kablovodu z bakrenim vodnikom preseka 630 mm^2 z obojestransko ozemljenimi kovinskimi zasloni v primerjavi z enostransko ozemljenimi je večje pri ravninski formaciji in znaša 24 %, medtem ko je pri trikotni formaciji le 9 %. Podrobnejši prikaz je podan v tabeli 27, ki je povzeta spodaj.

110 kV KBV XLPE			način ozemljitve KB opletov (95 mm^2)		zmanjšanje prenosne zmogljivosti
vodnik Cu		formacija	enostransko	Obojestransko	
630 mm^2	I_{max}[A]		925	700	**24%**
			865	**805**	**9%**

8.15.3 Ozemljitev kovinskih zaslonov z navzkrižnim prepletanjem



Slika 82: Prikaz prepletaja kovinskih zaslonov (angl. Cross-bonding)

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 direktno 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 prepreči dodatne toplotne izgube. Opisana fizikalna slika velja tam, kjer so medsebojne reaktance (X_m) posameznih faz kablovoda enake (trikotna formacija). Pri ravninski formaciji je potrebno dodatno izvesti tudi transponiranje vodnikov, kar pa se izvaja le v primeru zelo dolgih kablovodov. Prikaz načina prepletanja kovinskih zaslonov-ekranov podaja Slika 83.

Slika 83: Prikaz izvedbe navzkrižne povezave kovinskih zaslonov na dvosistemskem 110 kV kablovodu

Izničenje inducirane napetosti onemogoči nastajanje induciranih tokov v kovinskem zaslonu, s čemer se prepreči dodatne toplotne izgube. Opisana fizikalna slika velja tam, kjer so medsebojne reaktance (X_m) posameznih faz kablovoda enake (trikotna formacija). Pri zagotovitvi želenega učinka pa je treba pri ravninski formaciji vpeljati na vsakem odseku še transponiranje vodnikov. V nasprotnem primeru je rezultanta inducirane napetosti različna od nič, kar se odrazi v pojavu induciranih tokov kovinskih zaslonov.

Slika 82 predstavlja osnovni koncept navzkrižnega prepletanja kovinskih zaslonov (angl. Cross- bonding), vzdolžni profil inducirane napetosti na kovinskem zaslonu ter fizikalno sliko vektorskega seštevanja kazalcev inducirane napetosti v posameznih kabelskih odsekih. Nivo inducirane napetosti na kovinskem zaslonu je na obeh koncih kablovoda enak nič. Ta se proti koncu posameznega odseka linearno povečuje in končno doseže svojo maksimalno vrednost na prehodu posameznih odsekov. Tu je vedno treba vgraditi ustrezne prenapetostne odvodnike, ki so v normalnih obratovalnih razmerah neaktivni.

Zanimiva je primerjava med obremenljivostjo kablovoda, pri katerem so kabli posameznih faz položeni v ravnini z obojestransko ozemljenimi in navzkrižno povezanimi zasloni, in obremenljivostjo kablovoda, katerega kabli so položeni v trikot z obojestransko ozemljitvijo zaslonov, vendar brez njihovega navzkrižnega povezovanja. Razlika med tema dvema načinoma polaganja je bistveno manjša, a ni nezanemarljiva. Omenjena primerjava

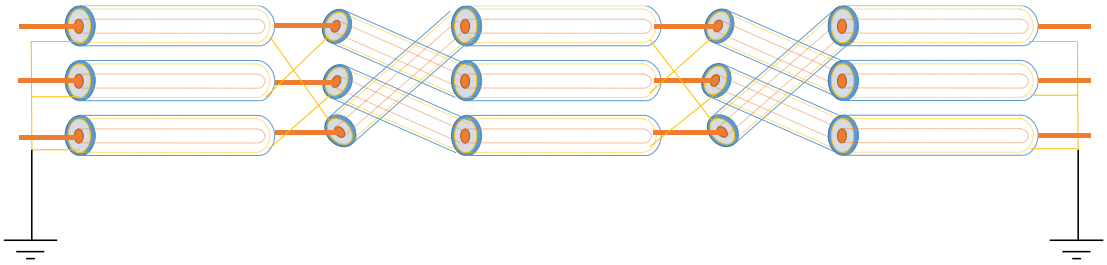
obremenljivosti je dobro izhodišče za sprejem odločitve o uporabi navzkrižnega povezovanja zaslonov. Navzkrižno povezovanje zaslonov se ne izvede bodisi zaradi prevelikih investicijskih stroškov bodisi v primeru krajše dolžine kabelske trase. To pomeni, da dolžina kabelske trase ne presega dolžine kabla, ki jo je mogoče izdelati in dobaviti na enem kabelskem bobnu in zaradi tega odpade potreba po kabelskih spojkah. V takem primeru predstavlja ustrezno rešitev polaganje kablov v trikot in ozemljitev zaslonov na obeh straneh kablovoda brez njihovega navzkrižnega povezovanja, ki pri kablih nazivne napetosti U_0/U = 64/110 kV s prerezi do 240 mm^2 pomeni za okrog 10 % manjšo obremenljivost, pri srednjih prerezih (800 mm^2) pa že za okrog 20 % manjšo obremenljivost. Pri prerezih nad 1200 mm^2 razlika v obremenljivosti med zgoraj navedenima načinoma polaganja preseže že 30 %, zato je pri takih prerezih uporaba navzkrižnega povezovanja zaslonov bolj ali manj obvezna.

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.

Navzkrižno prepletanje kovinskih zaslonov je zaradi učinkovitega zmanjšanja induciranih tokov v kovinskih zaslonih razširjeno praktično povsod v visokonapetostni kabelski tehniki z visokimi prenosnimi kapacitetami. Pri tem je potrebna uporaba posebnih izoliranih kabelskih spojk ter prenapetostnih odvodnikov, ki se vgradijo na mestu prepletanja. Prenosna kapaciteta kablovoda je s tem dejansko na ravni sistemov z enostransko ozemljenim kovinskim zaslonom, medtem ko je obnašanje pri enofaznih zemeljskih stikih (redukcijski faktor) primerljivo s sistemi obojestransko ozemljenimi kovinskimi zasloni.

Dolžina kablov za izvedbo prepletanja kovinskih zaslonov in povezav med kabelskim priborom in SVL ne sme biti daljša od 10 m [45] (CIGRE TB 797 tč. 1.3.4).

Primer izvedbe ozemljitev z navzkrižnim prepletanjem kovinskih zaslonov in transponiranjem faznih vodnikov je (Kirke-Searingova izvedba), ki deluje na principu izenačevanja reaktanc v različnih fazah na dolžini kabelske trase, prav tako pa se zmanjšuje vpliv v sosednjih izpostavljenih prevodnih delih. Namen transpozicije faz je vzpostavitev simetrije med posameznimi fazami in zemljo, kjer je položen vodnik za izenačitev potenciala ECC, vendar nekatere države transpozicije faz ne prakticirajo.

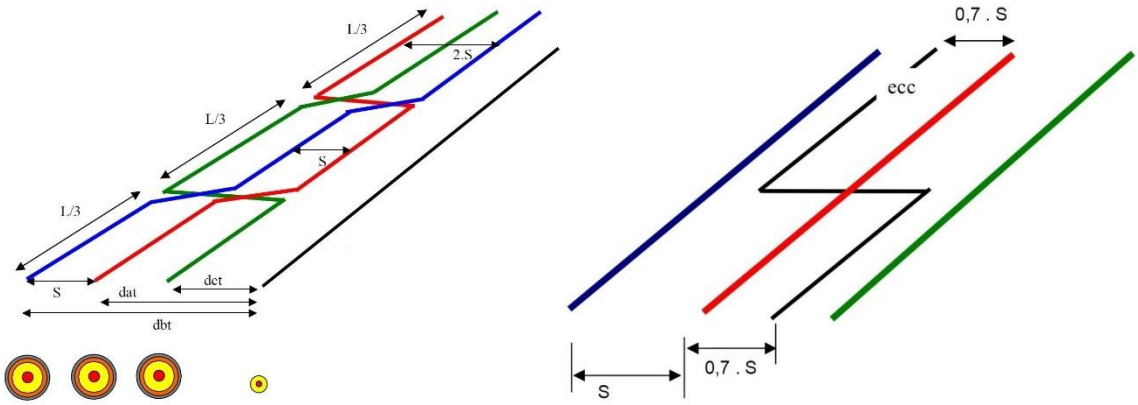


Slika 84: Kirke Searingova izvedba prepletanja kovinskih zaslonov in transpozicijo faz

8.15.4 Vodnik za izenačitev potenciala ECC-kompenzacijski vodnik

Visoke prenapetosti med kovinskimi zasloni in zemljo so lahko nevarne za nastanek poškodb kabelskega plašča. Te se lahko pojavijo ob defektih, stikalnih manipulacijah in atmosferskih razelektritvah posebno na področjih z visoko upornostjo tal. Omenjene prenapetosti je mogoče učinkovito zmanjšati s polaganjem vodnika za izenačitev potenciala (ECC) oziroma kompenzacijski vodnika.

Za ECC vodnik se uporabi SN XLPE kabel z bakrenim vodnikom prereza 150 mm² ali večjim. ECC vodnik se položi paralelno s kablovodom, namestitev pa je odvisna od načina polaganja kabla oz. transpozicije faz. Če je transpozicija faz izvedena, se ECC vodnik namesti na celotni dolžini ob zunanji fazi tj. ob robu kablovoda, če pa se transpozicija faz ne izvede, potem se izvede transpozicija ECC vodnika, kar pomeni, da le-ta na polovici trase preide s položaja med fazo R in fazo S v položaj med fazo S in fazo T. Pri tem je razdalja ECC vodnika do sredinske faze enaka 0,7 -kratniku razdalje med dvema fazama, s čemer se doseže enaka medsebojna induktivnost med ECC vodnikom in katerimkoli kablom. Slika 85 prikazuje potek ECC vodnika v primeru, da je transpozicija faz izvedena (levo) in v primeru, da transpozicija faz ni izvedena (desno). Pri enostranski ozemljitvi kovinskih zaslonov transpozicijo na sredini kablovoda oziroma sekcije se zmanjša tok v ECC [38].



Slika 85: Potek ECC vodnika z izvedeno (levo) in neizvedeno (desno) transpozicijo faznih vodnikov

8.15.5 Redukcijski faktor kablovoda

Redukcijski faktor (r) predstavlja razmerje med ozemljitvenim tokom in vsoto homopolarnih tokov v vodnikih obratovalnega tokokroga trifaznega EE voda ($r=I_E/3I_0$) ob ustrezni razdalji od mesta kratkega stika in od ozemljitvenega sistema postaje. Redukcijski faktor kabla nam pove, kolikšen del zemeljskostičnega toka se ob nastanku okvare zaključuje po zemlji.

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.

Redukcijske faktorje vodov dosegamo z vzpostavitvijo ustreznih konduktivnih poti (zaščitna vrv DV, kovinski zaslon kabla) med mestom nastale okvare in virom zemeljskostičnega toka.

Višina redukcijskega faktorja kablovoda je v prvi vrsti odvisna predvsem od načina ozemljitev kovinskih zaslonov. V primeru obojestranske ozemljitve 110 kV kovinskih zaslonov (neposredno ali z navzkrižnim prepletanjem) se vzpostavi redukcijski faktor r_{KBV}, katerega vrednost se giblje od 0,10 do 0,40. Njegova dejanska vrednost je odvisna predvsem od aktivnega preseka in materiala kovinskega zaslona.

Razlog za nekajkrat manjši redukcijski faktor kablovoda v primerjavi z daljnovodom je v zasnovi kovinskega zaslona, ki koncentrično in vzdolžno obdaja vodnik. Ravno tako se del homopolarnega toka, ki ga ne prevzame kovinski zaslon, prevaja v zemljini, ki dobesedno obdaja kablovod. S tem se zagotavljajo minimalne površine vzdolžnih prerezov tako nastalih okvarnih zank, kar pomeni nizke induktivnosti in končne impedance. Pri 110 kV daljnovodih se kljub povečevanju presekov in prevodnosti ozemljitvene vrvi zaradi večjih induktivnosti in reaktanc (okvarna zanka vodnik-zemlja-zaščitna vrv) ne moremo spustiti v področje redukcijskih faktorjev kot jih imajo kabli.

Problematika zagotavljanja ustreznih redukcijskih faktorjev nastopi predvsem pri enostransko ozemljenih kovinskih zaslonih, kjer ti ne opravljajo več celotne funkcije prevzemanja deleža zemeljskostičnih tokov. Če na trasi takega kablovoda nastopi zemeljski stik, bo kovinski zaslon opravljal okrnjeno funkcijo redukcijskega faktorja le za tisto postajo, v kateri je dejansko kovinski zaslon ozemljen.

Tako se poleg nepotrebnega dodatnega termičnega obremenjevanja kablovoda, ki ga povzročajo blodeči enosmerni tokovi v kovinskih zaslonih, na vstopnih in izstopnih mestih pojavi korozija ozemljitvenega sistema dotičnih postaj. To lahko že v relativno kratkem času vodi do praktičnega uničenja ozemljitvenega sistema postaje in tako nezmožnost opravljanja funkcije, za katero je bil ob postavitvi dimenzioniran. V takih primerih je treba z ustreznimi načini ozemljitev kovinskih zaslonov blodečim tokovom preprečiti neželene poti in pri tem omejiti učinke korozije na ostale pripadajoče prevodne strukture.

8.15.6 Dopustna delovna temperatura vodnika VN kablov

Dopustna delovna temperatura vodnika in specifična toplotna upornost VN kabla se določita v skladu z IEC 60287-1-1(2006-12) Part 1-1. Najvišja temperatura vodnika je pogojena s temperaturo, pri kateri ne pride do deformacije oz. pospešenega staranja izolacije. Za XLPE izolacijo je določena najvišja obratovalna temperatura vodnika 90°C oz. 250°C pri kratkem stiku, v splošnem pa se priporoča nižje obratovalna temperatura še posebej zaradi rezerve pri preobremenitvah in v izogib nevarnosti izsušitve okoliškega medija (ireverzibilni proces).

9 MERITVE, DIAGNOSTIKA TER BELEŽENJE PODATKOV NA SN IN VN KABLOVODIH

Potreba po vse večji zanesljivost obratovanja se v distribucijskih omrežjih vedno bolj izpostavlja. Predvsem se to odraža pri industrijskih porabnikih, katerih izpad napajanja lahko predstavlja veliko gospodarsko škodo. Visokonapetostni kabli predstavljajo pomemben segment, kjer je ocena stanja izolacije bistvenega pomena ovrednotenja obratovalne sposobnosti. Ne zadostuje samo, da je zagotovljena redundanca, pomembno je tudi preverjanje stanja kabla, ki se v distribucijah predvidoma izvaja ob polaganju novega kabla ali ob nastopu defekta. Življenjska doba kablov z XLPE izolacijo je ocenjena na približno 40 let. Le-ta se lahko zaradi električnih, termičnih in mehanskih obremenitev bistveno skrajša, ob doslednem izvajanju kabelske diagnostike pa se lahko tudi podaljša, zato je potrebno izolacijo preizkušati skladno s potrebo o zanesljivosti napajanja. Na osnovi pridobljenih rezultatov meritev je mogoče podati oceno o stanju kabla ali kabelskih končnikov in sprejeti odločitev za njihovo zamenjavo pred nastopom defekta zaradi zmanjšane izolacijske sposobnosti kabla. Ker se število kablovodov v elektroenergetskem omrežju stalno povečuje, je treba vzdrževanju kablovodov posvetiti posebno pozornost. V sklopu vzdrževanja je zelo pomembno zagotoviti redno preverjanje izolacijske sposobnosti vseh elementov kablovoda, kar obsega napetostno preskušanje in kabelsko diagnostiko. Preverjanje izolacijske sposobnosti se prične že v fazi proizvodnje, sledi preverjanje v fazi polaganja in montaže pribora ter zaključno preverjanje na izdelanem kablovodu pred vstavitvijo v obratovanje. Podatki, ki se pridobijo v zgodnjih fazah pred vstavitvijo v obratovanje, služijo kot izhodišče za vse nadaljnje postopke preverjanja izolacijske sposobnosti kablovoda.

Oblike preskusne napetosti so zelo različne in sicer od enosmerne napetosti (uporaba v standardih prepovedana oziroma se jo ne priporoča), preko napetosti zelo nizke frekvence (angl. VLF: Very Low Frequency) do napetosti industrijske frekvence 50 Hz ter do nekaj 100 Hz z nihajočo napetostjo (polnilna enosmerna napetost).

9.1 VNOS PODATKOV O VGRAJENEM KABLU IN KABELSKEM PRIBORU

Za učinkovit nadzor nad stanjem kabelske izolacijske sposobnosti je potrebno razpolagati v prvi vrsti s podrobnimi podatki o karakterističnih parametrov, saj se kabla, ki se razlikujeta po tipu izolacije in še posebej po tipu pribora, močno razlikujeta, zato je bistveno poznavanje izhodiščnih vrednosti parametrov, ki jih spremljamo skozi življenjsko dobo, saj je v nasprotnem primeru mogoče določiti zgolj trend staranja izolacije, nikakor pa ne moremo oceniti, na katerem mestu (na krivulji) življenjske dobe se kabel nahaja.

Osnovno pozornost (osnova) je potrebno usmeriti izdelavi natančnih baz podatkov o kablih s točnimi podatki o vrednosti parametrov, ki dajejo informacijo o kvaliteti kabelske izolacije in so primerni za spremljanje stanja kabla v obratovalni dobi. Ti parametri se beležijo skozi obratovalno dobo z izvajanjem periodičnih meritev, ki se določijo na osnovi pomembnosti

kabelske povezave, obremenjenosti kablov in dogodkih v kabelskem omrežju oz. v njihovi bližini (postroji in naprave povezani s kablovodi).

Naslednji korak je izvajanje temeljitega nadzora pri polaganju, ki je prvi pogoj za izdelavo kvalitetne ocene o tem, ali so prve meritve res odraz stanja zdrave (nepoškodovane) kabelske izolacije kvalitetno položenega kabla oz. ali je morda že v tej fazi prišlo do odstopanja vrednosti od vrednosti, ki so odraz napak, nastalih pri polaganju kabla in montaži pribora.

Odstopanja od referenčnih vrednosti se lahko pojavijo že pri novem kablu, bodisi zaradi nepravilnosti pri polaganju – vlečenju kabla kot npr. neupoštevanje dopustnih najmanjših radijev krivljenja, prekoračitev dovoljene vlečne sile, vlečenje kabla preko hrapavih in ostrih robov, padec drugega materiala na kabel, poškodb z ročnim orodjem (lopate , krampi), zlasti ob nasipavanju mivke za kabelsko posteljico, in končno tudi zaradi poškodb pri delih z gradbeno mehanizacijo ali strojnih in elektromontažnih delih (neupoštevanje zaščitnih ukrepov pomanjkljiv nadzor pri izvajanju teh del). Ta dela so predvsem:

- elektromontažna dela v bližini kabelskega jarka (npr. demontaža DV stebrov in njihov padec v kabelski jarek),
- pomanjkljivo izvedena zemeljska dela pri izkopih kabelskih jarkov in posledično padcev na rob odloženega izkopanega materiala zaradi neupoštevanja oddaljenosti deponirane zemljine od roba jarka, pomanjkljivo izvedeni zaščiti s filcem, spiranja odkopane zemljine ob neurjih,
- izdelava spojk na neprimernih mestih z dolgotrajno stoječo vodo ali visoko upornostjo tal.

Največje število izpadov (defektov) na kablovodih nastane kot posledica napak pri izdelavi kabelskega pribora (zaključkov in spojk), zlasti nenatančnosti pri izdelavi prehoda med polprevodno plastjo in izolacijo na mestu namestitve konusa za oblikovanje potenciala (Stress cone). Med njimi so najpogostejše naslednje:

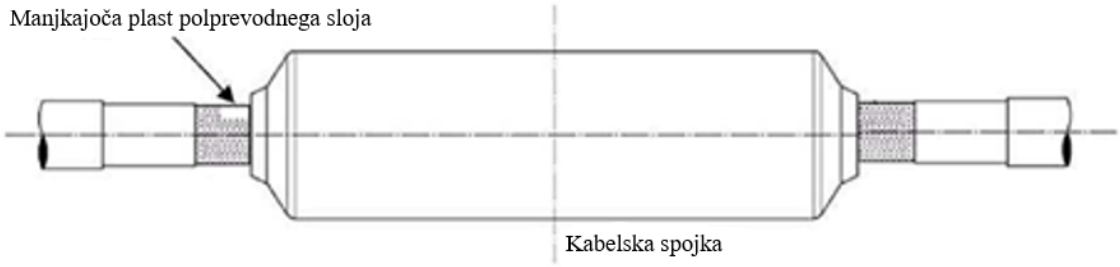
- preveč odstranjena polprevodna plast oz. manjkajoča polprevodna plast na prehodu med izolacijo in polprevodnim slojem,
- prevelika dolžina neodstranjene plasti polprevodnega sloja,
- prevodni delci v izolacijskem materialu oz. neenakomerno odstranjena polprevodna plast,
- nepravilna namestitev kabelskega pribora.

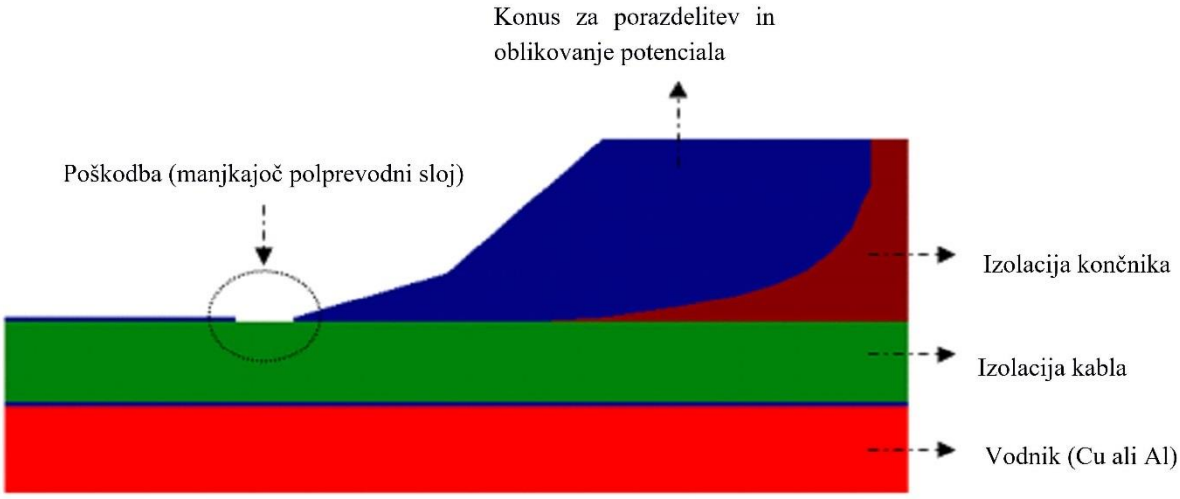
Prvi in drugi primer napake predstavlja površinske delne razelektritve na meji med materiali z različnimi izolacijskimi lastnostmi. Te delne razelektritve so lahko vzrok za defekt kablovoda.

9.1.1 Najpogostejši vzroki okvar pri kablovodih

Manjkajoča plast polprevodnega sloja

Manjkajoča plast polprevodnega sloja povzroči povečanje električne poljske jakosti na robu odstranjenega polprevodnega sloja. Posledično se pojavijo razelektrenja na površini na robu zunanjega polprevodnega sloja. Izgled tega primera prikazuje Slika 86.





Slika 86 Manjkajoča plast polprevodnega sloja pri kabelski spojki

Velikost poškodbe 15 mm | Velikost poškodbe 10 mm | Velikost poškodbe 5 mm

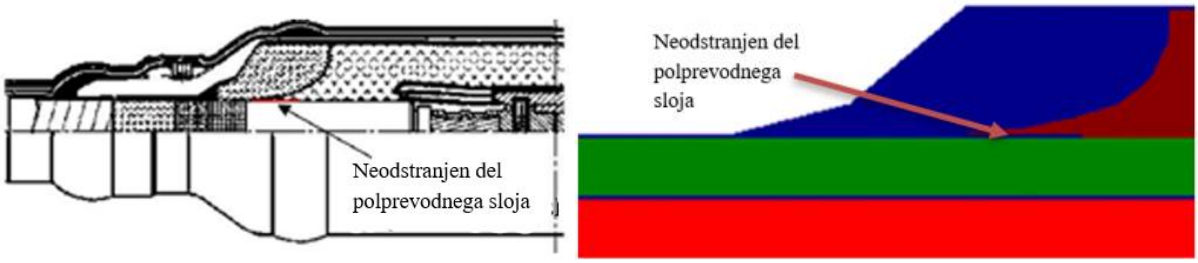
Slika 87: Trije primeri manjkajoče polprevodne plasti pred konusom za oblikovanje potenciala

Površinska razelektritev na koncu polprevodnega sloja zaradi spoja med zrakom in XLPE izolacijo lahko povzroči degradacijo XLPE izolacije. To vodi v kemijsko spremenjeno strukturo na površini izolacije, zaradi česar se na površini izolacije tvorijo kristali. Na mestu kristalov pride do povečanega električnega polja, kar povzroči povečanje delnih razelektritev.

Premalo odstranjen polprevodni sloj

Funkcija konusa za oblikovanje potenciala je oblikovanje električnega polja in preprečitev lokalnega povečanja električnega polja na koncu kabla. Konus za oblikovanje potenciala predstavlja podaljšanje zunanjega polprevodnega sloja na koncu kabla.

V ta namen je potrebno zunanji polprevodni sloj obdelati tako, da se čvrsto spoji z konusom za oblikovanje potenciala. Nenatančna odstranitev polprevodnega sloja se lahko odraža v presežni dolžini, ki sega v področje stika izolacije kabla in izolacije konusa za oblikovanje potenciala. To mesto predstavlja šibko točko v konusu za oblikovanje potenciala, na katerem mora biti tangencialno polje na konusu čim manjše. Primer prikazuje Slika 88.



Slika 88: Prevelika dolžina preostalega polprevodnega sloja (premalo odstranjen polprevodni sloj) na meji med izolacijo kabla in izolacijo konusa za oblikovanje potenciala

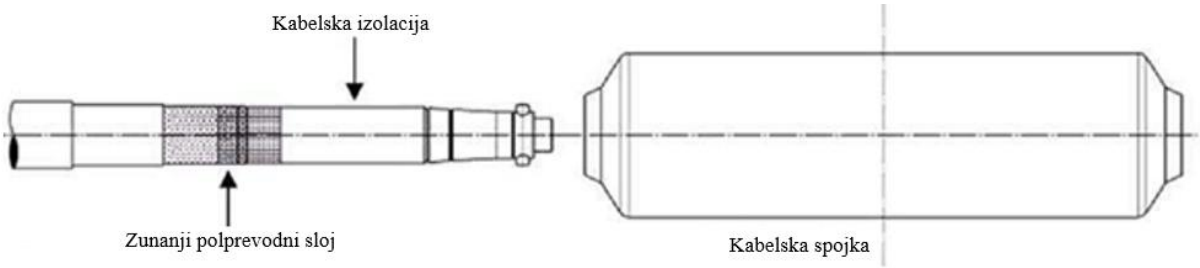
Prevelika dolžina preostalega polprevodnega sloja (premalo odstranjen polprevodni sloj) povzroči lokalno povečanje električnega polja na robu polprevodnega sloja, kar povzroči povečanje nivoja delnih razelektrenj na prehodu med izolacijo kabla in konusa za oblikovanje potenciala. To privede do degradacije izolacije na obeh delih.

Prevodni delci na izolaciji

Pri montaži kabelskega pribora se lahko zgodi, da zaradi nenatančnosti pri odstranjevanju nečistoč (čiščenje) lahko te ostanejo na izolaciji kabla in konusa za oblikovanje potenciala. Ti delci so lahko v obliki kovinskih delcev, vlage ali polprevodnih nečistoč, ki zmanjšujejo upornost na površini izolacije (poslabšajo izolacijske lastnosti), kar je zelo škodljivo, ker nastajajo površinske razelektritve vzdolž stika izolacije kabla in izolacije konusa za oblikovanje potenciala.

Nepravilna namestitev kabelskega pribora

Pri odstranitvi zunanjega polprevodnega sloja je potrebno natančno določiti mesto, do katerega se le-ta odstrani kot prikazuje Slika 89. Za optimalen potek električnega polja v kabelskem priboru je bistvena pravilna namestitev konusa za oblikovanje potenciala, ki je povezana z pravilno dolžino odstranitve zunanjega polprevodnega sloja. Nepravilna namestitev konusa za oblikovanje potenciala povzroči povečanje električnega polja na koncu zunanjega polprevodnega sloja.



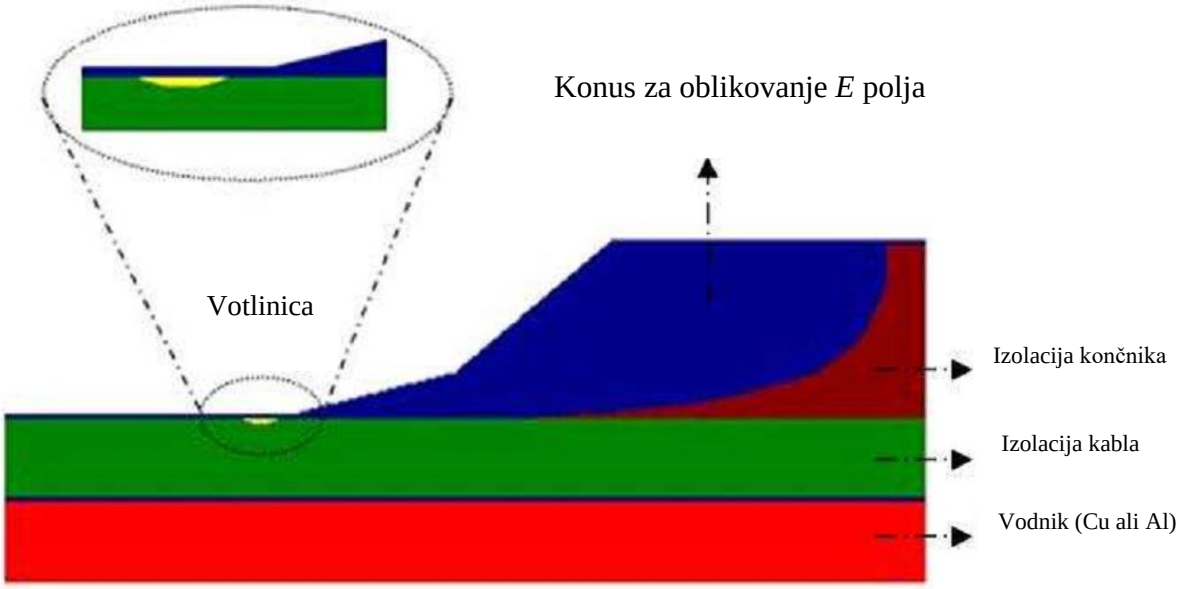
Slika 89: Šiljenje konca kabla in odstranitev zunanjega polprevodnega sloja

Možni sta predvsem dve nepravilni namestitvi kabelskega pribora. Prva napaka nastane zaradi predaleč odstranjenega polprevodnega sloja, zaradi česar nastane vrzel (angl. gap) med koncem polprevodnega sloja in konusom za oblikovanje potenciala (angl. Control deflector).

Pojavi se povečanje električne poljske jakosti na koncu zunanjega polprevodnega sloja, ki povzroči površinske razelektritve na površini izolacije kabla. Ta napaka nastane, če se polprevodni sloj ne odstrani v zadostni dolžini. Tako se pojavi dodatni odvečni polprevodni sloj pod konusom za oblikovanje potenciala, kar podobno kot v prvem primeru povzroči lokalno povečanje električne poljske jakosti in površinske razelektritve na robu polprevodnega sloja, ki je nameščen na meji med izolacijo kabla in izolacijo pribora. Posledično se zaradi površinskih razelektrenj pojavi degradacija izolacije kabla in pribora.

Vrzel na stiku med izolacijo in zunanjim polprevodnim slojem kabla

Ta oblika poškodbe se lahko pojavi zaradi slabega stika med izolacijo kabla in zunanjim polprevodnim slojem. Poškodbo se umetno oblikuje z odstranitvijo polprevodnega sloja in pokritjem tega mesta z bakrenim trakom. Shematsko poškodbo prikazuje Slika 90.



Slika 90: Vrzel na stiku med izolacijo in zunanjim polprevodnim slojem kabla

Če se pojavi povečana vrednost električnega polja v spojki zaradi vrzeli pod zunanjim polprevodnim slojem na mestu neposredno pred začetkom konusa za oblikovanje potenciala, se na tem mestu pojavijo delna razelektrenja, če je prebojna trdnost zraka v vrzeli manjša od električnega polja na stiku med vrzeljo in zunanjim polprevodnim slojem kabla.

a) Začetni pogoj

b) Odstranitev polprevodnega dela in označitev poškodbe

c) Prikritje poškodovanega dela z bakrenim trakom

Slika 91: Postopek oblikovanja umetno izdelane poškodbe v obliki vrzeli pod prevodnim materialom

9.2 PRVE MERITVE NA NOVO (ZGRAJENIH) KABLOVODIH

Po zagotovitvi izbire pravilnega kabla in izvedbi strokovnega nadzora pri polaganju kabla in montaži kabelskega pribora, vključno s preverjanjem celovitosti zunanjega plašča kabla z izvajanjem napetostnih preskusov na posameznih odsekih trase in ponovitvi napetostnega preskusov kabelskega plašča na celotni dolžini kablovoda, je potrebno preveriti celovitost izolacije kablovoda v skladu s standardom IEC 60840, ki navaja več različnih načinov preskušanja. Najprimernejši način je visokonapetostni preskus z izmenično napetostjo frekvence med 20 Hz in 300 Hz iz resonančnega vira, ki ga je priporočljivo dopolniti z meritvijo izgubnega faktorja tan δ in merjenjem delnih razelektrenj.

Uporaba preskusnih in diagnostičnih metod v skladu s standardi:

Pretežno se za ugotavljanje obratovalne sposobnosti uporabljajo naslednje metode:

- preizkušanje z izmenično napetostjo frekvence od 20 Hz -300 Hz,
- preskušanje z napetostjo zelo nizke frekvence (VLF),
- DAC,
- dielektrična spektroskopija FDS (angl. Frequency Domain Spectroscopy).

9.2.1 Izmenična napetost frekvence od 20 Hz (10 Hz) do 300 Hz

Izmenična preskusna napetost frekvence med 20 Hz in 300 Hz je opredeljena v standardih SIST HD 632 S3 Part 1 tč.16.3, IEC 60840 in IEC 62067. Razširjeno frekvenčno območje se dopušča zaradi dejstva, da je frekvenca zunanjega resonančnega napajalnega vira odvisna od dolžine (kapacitivnosti) kablovoda, ki pa je v različnih standardih različno definirano. V tem frekvenčnem območju je fizikalni princip še enak kot pri napetosti omrežne frekvence. V zadnji izdaji standarda IEC 60840:2020 je določen še nekoliko širši frekvenčni razpon in sicer od 10 Hz do 500 Hz, enako tudi v standardu IEC 60060-3.

V kolikor ni mogoče najti ponudnika, ki bi razpolagal z enim od navedenih preskusnih virov, se lahko uporabi tudi preskusna metoda z napetostjo zelo nizke frekvence (VLF) ali metoda z

dušeno izmenično napetostjo (DAC). Pri teh preskusnih metodah je problem napajanja veliko manjši, vendar ti napajalni sistemi ne zagotavljajo pogojev, ki bi bili predvsem v smislu dinamičnih dielektričnih obremenitev enakovredni realnim razmeram, pri katerih naprava dejansko obratuje. To dejstvo postane evidentno predvsem pri izvajanju zahtevnejših diagnostičnih meritev oziroma vrednotenju in razlagi dobljenih rezultatov.

9.2.2 VLF preskusna napetost

Ta preskusna metoda je ena izmed prvih alternativnih metod, ki omogoča preskušanje kabelske izolacije brez uporabe visokih napajalnih moči. Namenjena je predvsem za diagnozo SN kablov (navedba v standardu IEC 60060-3, kjer so definirane oblike preskusnih napetosti za preskušanje vgrajene VN opreme). Predmetni standard navaja, da je VLF oblika preskusne napetosti primerna za vzorčno preskušanje, kar pomeni, da je primerna tudi za izvajanje diagnostičnih meritev. Metoda se uporablja predvsem v povezavi z meritvami faktorja tan δ in delnih razelektrenj.

Oblika VLF preskusne napetosti

Poznani sta dve obliki VLF preskusne napetosti in sicer VLF sinusna in VLF stopničasto-kosinusna oblika preskusne napetosti, ki pa ju standard ne razlikuje. Zaradi frekvenčne odvisnosti preskusne napetosti je pri VLF sinusni preskusni napetosti v standardu SIST HD 620 S2 (in tudi ameriški standard IEEE 433:2009) za preskušanje po polaganju preskusna napetost nekoliko višja kot pri preskusni izmenični napetosti in sicer se giblje med 2,5 in 3 U_o v trajanju najmanj 30 min pa do 60 min, odvisno od sekcije standarda. Poleg tega je pri VLF cosinus-pravokotni obliki VLF preskusne napetosti potrebno uporabiti višjo preskusno napetost (4 U_o) kot pri sinusni obliki VLF napetosti, saj formiranje prostorskih nabojev poteka počasneje. Višja preskusna napetost predstavlja dodatno obremenitev izolacije, kar poveča stopnjo tveganja za nastanek defekta.

V standardu IEC 60840, ki obravnava VN kable in standardu IEC 60502-2, ki obravnava SN kable, VLF oblika preskusne napetostni ni navedena, pač pa je navedena kot alternativa za preskušanje SN kablov po polaganju le v standardu SIST HD 620 S2, medtem ko v standardu SIST HD 632 S3, ki obravnava VN kable, ni navedena kot alternativna oblika preskusne napetosti. Kljub temu se metoda uporablja tudi na področju VN kablov do 400 kV [43] (CIGRE TB 751 str. 7), vendar le v sklopu neobveznega (nestandardiziranega) izvajanja diagnoze poškodovanih kablov večinoma po izvedeni sanaciji poškodb.

9.2.3 DAC oblika preskusne napetosti

Predmetna oblika preskusne napetosti je opredeljena v standardih IEC 60060-3:2006, SIST HD 632 S3:201 med dopolnilnimi preskusni postopki in IEEE 400.4:2015, medtem ko v standardu IEC 60840:2020 ni navedena. Vrednost preskusne napetosti v skladu s IEEE 400.4:2015 je 2 U_o, medtem ko je v skladu s SIST HD 632 S3 Part 2, vrednost preskusne napetosti 3 U_o. Priporoča se, da se preskus opravi s 50 ali več impulzi. Določila glede frekvence

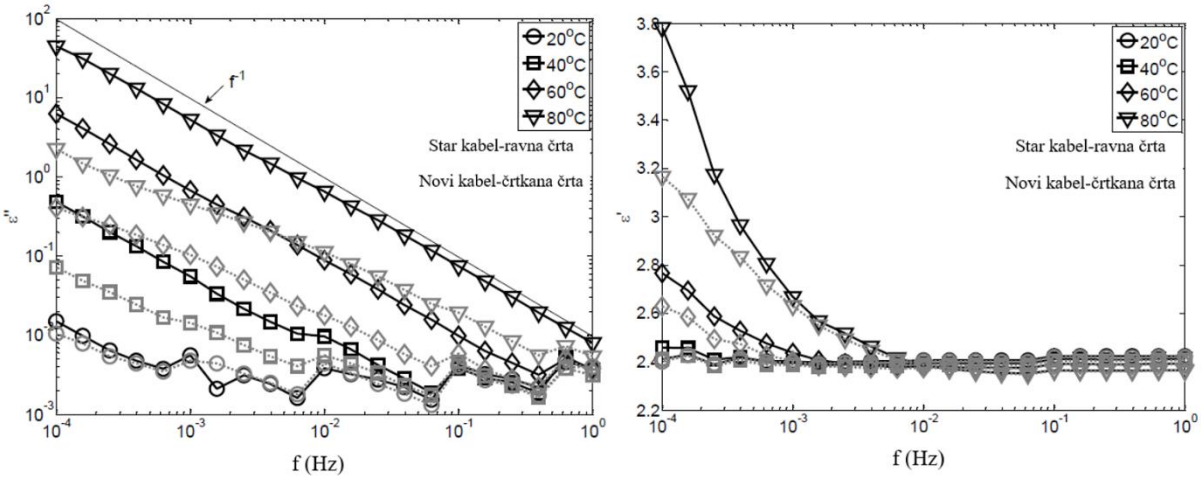
napetostnih impulzov se med standardi precej razlikujejo. Ta je v standardu IEC 60060-1:2010 določena med 20 Hz in 1 kHz ob stopnji dušenja <40 % , v standardu SIST HD 632 S3 Part 2, med 200 Hz in 5 kHz, v standardu IEEE 400.4 2015 razponu med 20 Hz in 500 Hz.

Opisana metoda se pretežno uporablja v glavnem z namenom izvajanja kabelske diagnostike v povezavi z merjenjem delnih razelektrenj, tako pri srednjenapetostnih kot tudi pri visokonapetostnih kablih.

9.2.4 Dielektrična spektroskopija FDS (Frequency Domain Spectroscopy)

Z metodo dielektrične spektroskopije se opazuje frekvenčna odvisnost dielektričnih izgub, saj dielektrične izgube niso odvisne le od napetosti pač pa tudi od frekvence. Ta odvisnost se s pridom uporablja pri merjenju faktorja dielektričnih izgub pri različnih frekvencah [48]. Meritev je zelo uporabna za spremljanje stanja izolacije kablov v obratovanju.

Z metodo FDS se določa faktor tan δ in fazna premaknitev pri različnih frekvencah. Pri konstantni napetosti spremenljive frekvence se izračunata realna in imaginarna komponenta toka, njuno razmerje pa predstavlja faktor tan δ. Meritve se lahko opravljajo pri različni stopnji staranja, vlažnosti in temperaturi. Interpretacija merilnih vrednosti je pri tej metodi nekoliko zahtevnejša v primerjavi z meritvijo pri konstantni frekvenci. Prikaz spreminjanja realne in imaginarne komponente prevodnosti pri kablu s papirno izolacijo prikazujeta spodnja grafa - Slika 92.



Slika 92: Spreminjanja realne in imaginarne komponente prevodnosti pri kablu, primerjava starega kabla iz obratovanja in novega kabla.

Meritev faktorja tan δ se izvaja v frekvenčnem območju med 0,001 Hz do 100 Hz. Metoda omogoča pridobiti več informacij o kabelski izolaciji. Praviloma je intenzivnost spremembe faktorja tan δ obratno sorazmerna s frekvenco, zato ga je lažje meriti pri nižjih frekvencah, izgubni tok pa ostaja v vsem frekvenčnem pasu enak.

9.2.5 Priključitev na omrežno napetost v trajanju 24 ur

Izjemoma (v kolikor ni možnost uporabe nobene izmed zgoraj navedenih metod) standard IEC 60840 dopušča tudi priključitev na omrežno napetost v trajanju 24 ur. Pomanjkljivost takega preskusa je v tem, da ne omogoča lociranja oslabljenih mest v izolaciji, kar pomeni, da z njim ni mogoče podati ocene o izolacijski trdnosti izolacije.

9.2.6 Uporaba metod za diagnostiko stanja kabelske izolacije

Po uspešno zaključenem visokonapetostnem preskusu glavne izolacije kabla, se lahko prične z izvedbo prvih meritev, ki predstavljajo prvo stopnico pri kabelski diagnostiki, saj omogočajo pridobitev nultega stanja, ki služi kot osnova za primerjavo z vsemi nadaljnjimi meritvami v sklopu izvajanja kabelske diagnostike.

V grobem se merilne metode za diagnostiko stanja kabelske izolacije lahko delijo na metode za merjenje dielektričnih lastnosti in metode za merjenje delnih razelektrenj. Pri obeh se uporabljajo različne oblike preskusnih napetosti glede na možnost njihove uporabe. Omogočajo pridobitev generalne informacije o stanju izolacije nekega kabelskega sistema, to je dolžino vodnih dreves, prisotnosti posameznih šibkih mest v izolaciji pa z njimi ni mogoče odkriti brez uporabe dodatnih merilnih postopkov, med katerimi je najbolj razširjena metoda TDR (angl. Time Domain Reflectometry).

Priporočljivo je, da se pri metodah za kabelsko diagnostiko uporabi preskusna napetost, ki je čim bolj podobna obratovalni napetosti. Zaradi velike kapacitivnosti kabla se pojavi potreba po kompenzaciji jalove moči kapacitivnih bremen, kar zahteva pri izmenični napetosti industrijske frekvence napajalne vire velikih dimenzij. Da bi zmanjšali stroške za napajalne vire, so razvili alternativne oblike preskusnih napetosti, ki jih uporabljajo tako pri napetostnem preskušanju kakor tudi pri metodah za diagnostiko kabelske izolacije.

9.2.7 Pogoji za uporabo metod kabelske diagnostike

Merilne metode za kabelsko diagnostiko morajo izpolnjevati naslednje kriterije:

- učinkovitost oz. uspešnost (angl. Effectiveness): ali dosega svoj namen glede tega, čemur je namenjena,
- izpopolnjenost (angl. Maturity): ali je postopek dovolj dodelan in učinkovit –preveri s primerjalnimi meritvami na drugih vezjih,
- natančnost (angl. Accuracy): kako pogosto omogoča pridobiti pravilen rezultat,
- jasnost (angl. Clary): ali tehnika zagotavlja razumljiv in uporaben odgovor.

V sklop izvajanja meritev kabelske diagnostike spadajo meritve ohmskih upornosti posameznih odsekov kablovoda, merjenje delnih razelektritev, merjenje izgubnega kota tan δ in dielektrična spektroskopija-FDS (angl. Frequency Domain Spectroscopy).

9.2.8 Primernost metod za diagnosticiranje stanja kabelske izolacije in možnost izdelave ocene preostale življenjske dobe

Za pridobitev ocene o obratovalni sposobnosti zadostuje izvedba napetostnega preskusa z eno izmed razpoložljivih preskusnih metod. Najprimernejša oblika preskusne napetosti je izmenična napetost industrijske frekvence, ki pa je zaradi zahtev po visokem kapacitivnem toku primerna le za preskušanje v laboratorijih, na terenu pa je omejena z dolžino kablovoda, zaradi česar se tu (na terenu) najpogosteje uporablja preskušanje z napetostjo zelo nizke frekvence 0,1 Hz (VLF) efektivne vrednosti 3 U_0.

Preskušanje kablov z napetostjo VLF 0,1 Hz pred vključevanjem kablovoda v obratovanje je lahko alternativa preskušanju z izmenično napetostjo, medtem ko kasnejše ponovitve preskušanja s to obliko preskusne napetosti zaradi odstopanja od obratovalne frekvence in višje preskusne napetosti po določeni obratovalni dobi (kablov, z že poslabšanim stanjem izolacije) pomeni nepotrebno dodatno obremenjevanje izolacije, ki vpliva na skrajševanje življenjske dobe kablovoda. Dejstvo je, da je škodljivost napetostnega preskušanja z metodo VLF 0,1 Hz bistveno manjša od napetostnega preskušanja z enosmerno napetostjo, pri tem pa je odločilna doba obratovanja kablovoda, njegova obremenitev, velikost in trajanje preobremenitev ter število defektov. Preskušanje kablovoda, ki obratuje krajši čas, praktično ne vpliva na zniževanje njegove obratovalne dobe, ne glede na obliko preskusne napetosti, medtem ko preskušanje kablovoda, ki je že dolgo v obratovanju, pomeni bistveno večje tveganje za skrajšanje njegove življenjske dobe, še posebej če se preskuša z enosmerno napetostjo oz. obliko napetosti, pri kateri prihaja do formiranja prostorskega naboja. Izbira metode za ugotavljanje stanja kabelske izolacije je odvisna predvsem od tega, ali nas zanima le trenutna obratovalna sposobnost kabla, ali želimo pridobiti podrobnejšo (natančnejšo) informacijo o tem, koliko časa bo preskušani kabel še vedno zanesljivo varno obratoval. Če želimo pridobiti natančnejšo informacijo o stanju kabelske izolacije in oceno o preostali življenjski dobi, je najprimernejše izbrati eno izmed diagnostičnih metod za ugotavljanje lastnosti dielektrika. Pomanjkljivost vseh diagnostičnih metod je v tem, da je z njihovo pomočjo mogoče podati le oceno o povprečnem stanju dielektrične trdnosti kabelske izolacije. Zaradi tega z njimi ne moremo dovolj natančno oceniti preostale življenjske dobe kablov nekega kablovoda, pač pa lahko ugotovimo le, kakšna je njegova zanesljivost obratovanja. Najpogosteje uporabljena diagnostična metoda je merjenje faktorja tan δ pri napetosti frekvence 0,1 Hz sinusne oblike. Predmetni merilni sistem omogoča pridobitev ocene o dolžini vodnih dreves, ki bistveno vplivajo na dielektrično trdnost kabelske izolacije. Za popolnejšo informacijo o stanju kabelske izolacije je merjenje faktorja tan δ možno dopolniti z merjenjem delnih razelektrenj, ki omogoča odkriti pomanjkljivosti pri montaži kabelskega pribora in morebitna šibka mesta v kabelski izolaciji. Osnovni namen merjenja delnih razelektrenj je ugotavljanje morebitnih poškodb na kabelski opremi (končniki, spojke), ki bi utegnile nastati pri polaganju kabla in montaži kabelskega pribora, že nekaj časa pa se merjenje delnih razelektrenj uporablja tudi za ugotavljanje stanja izolacije kabla in izdelavo ocene o preostali življenjski dobi. Pri tem je podatek o delnih razelektrenjih, izmerjenih po polaganju kabla oziroma pred pričetkom

obratovanja, v veliko pomoč, saj z njim pridobimo podatke o lokaciji kabelskih garnitur in začetni vrednosti delnih razelektrenj. S kasnejšim preskušanjem po določeni obratovalni dobi je možno zelo enostavno razlikovati ali gre za povečanje nivoja delnih razelektrenj na kabelski opremi ali v sami izolaciji kabla. Na podlagi povečevanja vrednosti delnih razelektrenj glede na začetno vrednost pa je mogoče določiti intenziteto poslabševanja dielektrične trdnosti kabelske izolacije oz. hitrosti njegovega staranja in podati oceno o njegovi preostali življenjski dobi.

To omogoča oblikovanje planov za zamenjavo kablov in kabelske opreme vnaprej in tako znižanje stroškov za zamenjavo kabla in kabelske opreme kot tudi same izvedbe, istočasno pa zmanjša nevarnost (verjetnost) za nastanek defekta.

9.2.9 Dopolnilne metode za kabelsko diagnostiko

Dodatno k osnovnim metodam kabelske diagnostike se uporabljajo tudi naslednje dopolnilne metode:

- merjenje IRC toka depolarizacije (1 kV, DC),
- merjenje kapacitivnosti in tan δ pri U_o AC,
- merjenje povratne napetosti(2 U_o, DC),
- merjenje tan δ pri 2U_o AC.

Zgoraj navedeni vrstni red uporabe metod za kabelsko diagnostiko je pogojen z višino preskusne napetosti.

Pomanjkljivost diagnostičnih metod v časovnem prostoru je v tem, da pogosto ni mogoče pravilno oceniti stanja kabelske izolacije z majhno gostoto dolgih vodnih dreves. Ti so večinoma ocenjeni napačno in sicer kot srednje postarani, kljub temu da imajo zelo dolga vodna drevesa in nizko prebojno napetost. Za pravilno oceno je zato pri uporabi diagnostičnih metod v časovnem prostoru obvezno meriti polarizacijski tok.

Bolje se izkažejo diagnostične metode v frekvenčnem prostoru, s katerimi je mogoče dolga vodna drevesa detektirati z močnim povečanjem tan δ pri nizkih frekvencah ob uporabi dovolj visoke preskusne napetosti.

Ugotavljanje stanja kablovoda z metodo merjenja tan δ

Prednosti metode meritve tan δ

- enostavna primerjava z drugimi meritvami,
- podaja splošno oceno o stanju izolacije kablovoda (kabel, končniki, spojke),
- možnost primerjave med posameznimi fazami kablovoda,
- zanemarljivi zunanji vplivi,
- možna določitev trenda in staranja na osnovi periodičnih meritev,
- dobra indikacija za prisotnost vodnih dreves prisotnost vlage in korozije kovinskega zaslona,

- merilna vrednost je neodvisna od dolžine kablovoda,
- razlike zaradi dolžine kablovoda kažejo na poškodbo (korozijo) kovinskega zaslona,
- nestabilnost meritve (spreminjanje vrednosti) je lahko indikacija za poslabševanje stanja.

Pomanjkljivosti metode meritve tan δ

- ne omogoča lokalizacije oslabljenih mest,
- meritev v obratovanju ni možna,
- ne zadostuje za preverjanje stanja kabla po polaganju.

Vplivne veličine pri meritvi tan δ

- merilna vrednost je odvisna od frekvence in temperature,
- povezava med stopnjo korozije kovinskega zaslona in vrednostjo tan δ ni raziskana,
- meritev hibridnega – kombiniranega kablovoda (iz umetnih mas in oljne) ne da zanesljivega rezultata,
- indikacija korozije kovinskega zaslona je zahtevna,
- vpliv posameznih dolgih dreves na meritev tan δ ni raziskan.

Preverjanje merilnih vrednosti tan δ in Δ tan δ kablovoda glede na stanje prehodnih meritev

Ukrep	VLF -TDTS časovna stabilnost pri U_o [10^{-3}]		Δ VLF -DTD tan δ med 0,5 U_o in 2 U_o [10^{-3}]		VLF -TD tan δ pri 1,5 U_o [10^{-3}]
ni potreben	< 0,1	in	< 0,6	in	< 1,2
periodično preverjanje	0,1 – 0,5	ali	0,6 – 1,0	ali	1,2 – 2,0
popravilo	> 0,5	ali	> 1,0	ali	> 2,0

Ukrepi glede na izmerjene vrednosti tan δ na kablovodu

tan δ	Ugotovitve-indikacija	Potrebne meritve	Potreben ukrep	Ocena stanja
< 0,010-10^{-3}	Stanje ustrezno posamezna vodna drevesa posamezne PD	tan δ PD	Ukrepi niso potrebni Stanje kabla je dobro	Δ tan δ nizek gostota PD nizka
0,010-10^{-3} do 0,100-10^{-3}	vodna drevesa in PD velika gostota PD	tan δ PD PD	Nekaj vodnih dreves če PD niso prisotna Potrebna analiza PD	Zmerno staranje ukrepi niso potrebni Zamenjava pribora pri veliki gostoti PD
0,010-10^{-3} do 0,500-10^{-3}	zmerna prisotnost vode	tan δ PD	Kontrola in po potrebi pregled pribora Meritev PD ni odzivna	Preveriti celovitost zunanjega plašča- nap preskus plašča - določiti lokacijo poškodbe plašča
> 0,500-10^{-3}	velika prisotnost vode	tan δ PD (nezanesljiv rezultat)- PD kalibracija grafa	Zamenjava pribora Meritev PD ni odzivna	Preveriti celovitost zunanjega plašča- nap preskus plašča - določiti lokacijo poškodbe plašča

Ugotavljanje stanja kablovoda z metodo merjenja delnih razelektritev

Delne razelektritve v kabelski izolaciji se večinoma pojavijo na mestih raznih nepravilnosti kot so votlinice ali razpoke v izolaciji.

V kabelski izolaciji, ki je pod napetostjo, se pod vplivom električnega polja pojavi ionizacija plinov, ki so ujeti v raznih vrzelih oz. votlinicah v izolaciji. Električno polje v izolaciji kabla pospeši proste elektrone do take hitrosti, da ti izbijajo elektrone iz molekul plinov, ki so ujeti v

votlinicah in razpokah kabelske izolacije. Tako nastaja vedno več nabitih delcev, plaz elektronov, ki potujejo v smeri električnega polja. Plaz elektronov za seboj pušča sled visoko prevodnega ioniziranega plina in na teh mestih se pojavijo lokalne električne razelektritve, ki le delno premostijo izolacijo med vodnikom in kovinskim zaslonom. Govorimo o delnih razelektritvah, ki so posledica koncentracije lokalnih prenapetosti v izolaciji.

Nastanek delnih razelektrenj je odvisen od velikosti električnega polja in tlaka plina. Čim večje so praznine in čim manjši je tlak plina, manjša napetost je potrebna za nastanek razelektritve. Razelektrite v vrzelih pa se ne morejo pojaviti, če so le-te napolnjene s tekočino (npr. prisotnost vode v kabelski izolaciji).

9.3 KABELSKA DIAGNOSTIKA V FAZI OBRATOVANJA

9.3.1 Preskušanje energetskih kablov v obratovalni dobi

V obratovanju je kabel izpostavljen raznim obremenitvam med katerimi sta najbolj delikatni dve vrsti in sicer **termične obremenitve** in obremenitve **z električnim poljem**. Ločimo obremenitve, ki so prisotne ves čas v normalnem obratovanju in tiste, ki se pojavijo ob raznih okvarah. Zahteva se neprekinjeno registriranje podatkov o obremenitvah in spremljanje dogodkov skozi obratovalno dobo ter preskušanje karakterističnih parametrov ob popravilih in spremembah na kabelskih instalacijah. Postopki za preskušanje so enaki kot pri položenem novem kablu, razlika je le v vrednostih preskusnih napetosti. Te znašajo pri preskušanju kablov v obratovanju 2/3 vrednosti preskusnih napetosti, ki so predpisane za preskušanje na novo položenega kabla, in sicer zaradi zmanjšane dielektrične trdnosti kabelske izolacije in kabelskih končnikov glede na obratovalno dobo. Smiselno je tudi merjenje delnih razelektrenj na vgrajenem kablu. Glavne pomanjkljivosti pri polaganju kablov in montaži kabelskega pribora, zaradi katerih prihaja do poškodb kabla so predvsem naslednje:

- slaba mehanska zaščita,
- poškodba zunanjega zaščitnega plašča,
- pomanjkljiva izvedba spojk in končnikov,
- nepravilna izbira tipa kabla glede na pogoje obratovanja,
- neustrezna označba trase kablovoda,
- pomanjkljiva dokumentacija o trasi.

9.3.2 Metode kabelske diagnostike za diagnosticiranje stanja kabla v obratovanju

- merjenje delnih razelektrenj z VLF metodo,
- merjenje delnih razelektrenj s HF metodo.

9.3.3 Metode za določevanje makrolokacije kabelskega defekta

- odmevna metoda z reflektografom,
- metode s kabelskimi merilnimi mostiči.

9.3.4 Metode za določevanje mikrolokacije kabelskega defekta

- akustična metoda,
- metoda zavojnega polja,
- visokofrekvenčna metoda (HF),
- kapacitivna in galvanska metoda.

9.4 STROŠKOVNI VIDIK UVAJANJA KABELSKE DIAGNOSTIKE

Strategije oziroma metodologije vzdrževanja

Glavni namen izvajanja vzdrževalnih aktivnosti pri VN kablovodih je doseči naslednje cilje:

- zmanjšanje števila okvar,
- zmanjšanje vpliva na okolico in poškodb v bližini kablovoda,
- znižanje stroškov za vzdrževanje v kasnejšem obdobju zaradi poslabšanega stanja,
- podaljšanje življenjske dobe,
- preprečitev nevarnih dogodkov,
- preprečitev popravil okvarjenih komponent,
- znižanje stroškov nedobavljene energije,
- zmanjšanje nerazpoložljivosti omrežja.

Obstajajo trije glavni principi (načini, strategije) vzdrževanja:

- korektivno vzdrževanje - izvajanje popravil ob okvarah (CM:Corrective maintenance),
- časovno pogojeno vzdrževanje (TBM: Time-based maintenance),
- vzdrževanje na osnovi stanja opreme (CBM: Condition based maintenance).

Še vedno prevladuje klasična oblika vzdrževanja (TBM). Omenjeni način je stroškovno neugoden, ker zahteva izvajanje postopkov vzdrževanja (ukrepov) na vsej opremi, ne glede na stanje kablovoda. Stroške je mogoče nekoliko zmanjšati, če se način izvajanja vzdrževanja prilagodi tako, da se uporabi pristop, ki uporablja določene selektivne kriterije. To so lahko bodisi starost, pomembnost povezave, obratovalni dogodki, tip kablovoda itd. Zaželeno je, da se v postopek vzdrževanja vključuje vse več metod kabelske diagnostike, katerih uporaba je pogojena s podatki o stanju pridobljenim na osnovi rezultatov predhodnih meritev (CBM), s čemer se lahko obseg vzdrževanja po principu TBM močno zmanjša. To se zagotovi z izvajanjem diagnostičnih metod, ki so opisane v poglavju 9.2 in na izdelavo podatkovnih baz o stanju opreme, ki se pridobi na osnovi teh meritev. Z zmanjšanjem obsega vzdrževanja po principu TBM je možno bistveno zmanjšati stroške tega načina vzdrževanje, zato se lahko več sredstev nameni razširitvi vzdrževanja, ki je vezano na stanje kabelske izolacije CBM.

Uporaba kabelske diagnostike v sklopu vzdrževanja kablovoda

Namen izvajanja monitoringa kablovoda in uporabe kabelske diagnostike v sklopu vzdrževanja kablovoda je zmanjšanje obsega preventivnega vzdrževanja in s tem stroškov za aktivnosti, ki

sodijo v sklop tega načina vzdrževanja. V kolikor je mogoče na račun primerne periodike izvajanja kabelske diagnostike zmanjšati število okvar in s tem povečati razpoložljivost in zanesljivost obratovanja kablovoda in posledično podaljšati obratovalno doba kablovoda (življenjska doba), je mogoče stroške preventivnega vzdrževanja zmanjšati celo do te mere, da so stroški kabelske diagnostike manjši od stroškov za sanacije in prezgodnje zamenjave kabla ali kabelskega pribora zaradi prezgodnjega izteka življenjske dobe. Tako je za obseg vzdrževanja, ki vključuje uporabo diagnostičnih metod, možno nameniti dodatna sredstva in izpopolniti obseg preskusnih metod ter razširiti aktivnosti vezane na ta del vzdrževanja. Pomembno je beleženje podatkov in ureditev podatkovnih baz, s katerimi je možno izdelati analitiko o povezavi med stanjem izolacije in okvarami.

Primeri novejših tehničnih rešitev, spremljanje stanja kablovoda (angl. Monitoring) je npr. sistem za termični monitoring (angl. DTS: Distributed Temperature Sensing) in akustični monitoring (angl. DAS:Distributed Acoustic Sensing) ter merjenje delnih razelektrenj (angl. PDM: Partial Discharge Monitoring), kjer je tudi opcija merjenja delnih razelektrenj na točkah, kjer se lahko pričakuje povečane termične obremenitve (npr. kabelski končniki in spojke).

9.5 DIAGNOSTIČNE MERITVE V PROCESU VZDRŽEVANJA KABLOVODA

Glede na podatke se danes še vedno v pretežni meri izvajajo pregledi, ki so vezani na časovni pogojeni način vzdrževanja, vendar pa je vse več tistih, ki spoznavajo, da je potrebno princip vzdrževanja izvajati glede na stanje kablovodov.

Pomembno orodje pri izvajanju kabelske diagnostike je trendiranje (določanje trenda spreminjanja merilnih parametrov). Večina preskusnih metod se izvaja v breznapetostnem stanju (angl. Off-line). Prve meritve, ki se izvedejo pred vstavitvijo v obratovanje ali vsaj v dovolj zgodni obratovalni dobi, predstavljajo referenčne vrednosti in so bistvenega pomena za vse kasnejše meritve, saj omogočajo primerjavo in določanje odstopanje od referenčne vrednosti, ki je vezana na posamezen tip kabla, kabelski pribor in način izvedbe kabelske povezave. Statistika izvajanja različnih metod za kabelsko diagnostiko je podana v [47].

Osnova za vse nadaljnje ukrepe (in odločitve), vezane na način vzdrževanja je, da se zagotovi celovitost izolacije zunanjega plašča kabla. Ta podatek je dobra indikacija o tem, da je zaradi poškodbe zunanjega plašča kabel morebiti utrpel tudi kakšno izmed večjih poškodb kot je npr. degradacija glavne izolacije zaradi vstopa vode in nastanka vodnih dreves. Celovitost izolacije zunanjega plašča kabla se potrdi z napetostnim preskusom, ki se izvaja v breznapetostnem stanju (angl. Off-line). Preskus se opravi najmanj vsakih 5 let oziroma ob okvarah.

Kot nadomestilo preskusa zunanjega plašča se lahko izvaja merjenje toka v kovinskih zaslonih med obratovanjem. Poškodba zunanjega plašča se lahko odraža kot povečanje tokov v kovinskih zaslonih in nesimetriji med tokovi v posameznih kovinskih zaslonih. Meritev je vezana na kablovode z enostransko ozemljenimi ali navzkrižno prepletenimi (angl. Cross-bonding) kovinskimi zasloni, kjer so tokovi v kovinskih zaslonih zanemarljivi.

Naslednji ukrep je preskušanje odvodnikov za zaščito zunanjega plašča (v nadaljevanju SVL). Zaradi nepravilnega delovanja SVL se v kovinskih zaslonih lahko pojavijo tokovi, ki povzročijo pregrevanje kabla in s tem zmanjšanje prenosne kapacitete kablovoda. V primeru, da se poškodbe SVL ne odkrije pravočasno (dovolj zgodaj), lahko nastopi pospešena degradacija izolacije ali celo preboj le-te. Nepravilno delovanje SVL lahko ob atmosferskih ali stikalnih prenapetostih ter pri kratkih stikih povzroči tudi preboj zunanjega plašča.

Med drugimi meritvami, ki so indikativne za stanje kabelske izolacije, so še DTS na vročih mestih (angl. Hot spot) in TDR. Meritev DTS na vročih mestih je primerna zlasti za posamezne nedostopne dele kot so kabelske spojke, medtem ko je namen meritve TDR odkrivanje šibkih mest v sami izolaciji kabla. Meritev je potrebno opraviti na novem kablu pred vstavitvijo v obratovanje ali vsaj v zelo zgodnji fazi obratovanja. Prva meritev omogoča pridobiti referenčno stanje, ki odraža celovitost in kvaliteto kabelske izolacije, poleg tega pa omogoča tudi določitev lokacije spojk in s tem izločitev tega dela signala iz merilnega rezultata.

Med metodami, ki so dober pokazatelj spremembe trenda izolacijske sposobnosti kabelske izolacije, je priporočljivo opraviti tudi merjenje izgubnega kota tan δ, ki je pomemben indikator stanja kabelske izolacije oziroma dielektričnih izgub. Meritev se opravi v breznapetostnem stanju (angl. Off-line) z uporabo resonančnega napajalnega sistema, če tega ni na razpolago, pa se lahko uporabijo tudi drugi viri z alternativnimi oblikami preskusne napetosti, ki so opisani v 8. poglavju, ki obravnava kabelsko diagnostiko.

Kontinuirano merjenje pri obratovalni napetosti (angl. On-line monitoring)

V zadnjem obdobju se vse večje število operaterjev električnih omrežij odloča tudi za preverjanje stanja kablovodov v obratovanju (angl. On-line), s čemer je na osnovi spremljanja posameznih parametrov mogoče izdelati (postaviti) prioritete za nadaljnje preverjanje posameznih kablovodov ali samo njihovih odsekov in pribora v breznapetostnem stanju (angl. Off-line). S tem se pogostost preverjanja stanja kablovoda s klasično terminsko pogojenega zmanjšuje in pomika v smeri naprednejšega, ki temelji na podatkih o stanju kablovodov, pridobljenih z on-line meritvami.

Na podlagi anket so ugotovili, da je uporaba diagnostičnih metod med operaterji električnih omrežij relativno redka. Med preskusnimi metodami prevladujeta metodi merjenje DTS (angl. Distributed Temperature Sensing) [43] in merjenje delnih razelektrenj [41]. Manj pogosta je uporaba metode RTTR (angl. Real Time Thermal Rating). Pri metodi DTS se meri temperatura na mestu, kjer je vgrajen optični kabel, pri metodi RTTR pa se na osnovi te izmerjene temperature določi temperaturo vodnika s pomočjo algoritma.

Postopki vzdrževanja kabelskega pribora

Pri kablovodih posebno omejitev predstavlja transport kablov do mesta vgradnje, kar pri daljših kabelskih odsekih pogojuje vgradnjo spojk. Ti poleg kabelskih končnikov predstavljajo bistveno komponento pri obratovalni zanesljivosti kablovoda, zato mora biti zagotovljen njihov redni pregled (monitoring).

Po podatkih [35] približno 30 % okvar na VN kablovodih predstavljajo okvare na kabelskem priboru tj. kabelskih končnikih in spojkah (podatki veljajo za obdobje 2000 - 2005). Število okvar na kabelskem priboru je mogoče učinkovito zmanjšati z zgodnjim odkrivanjem napak na teh komponentah, s tem pa se zmanjša tudi čas popravil in posledično čas izpada kablovoda.

Vzdrževanje kablovodov s posebnimi načini ozemljitev kovinskih zaslonov

Pri kablovodih s posebnimi načini ozemljitev kovinskih zaslonov se s stališča vzdrževanja priporoča naslednji dodatni obseg preverjanja:

- preverjanje delovanja navzkrižnih povezav kovinskih zaslonov,
- pregled omaric za navzkrižne povezave,
- pregled odvodnikov za zaščito zunanjega plašča (SVL),
- merjenje tokov v kovinskih zaslonih,
- preverjanje celovitosti zunanjega plašča.

Pri VN in v manjšem obsegu tudi pri SN kablovodih se uporabljajo posebni načini ozemljitev kovinskih zaslonov, ki so namenjeni zmanjšanju tokov po kovinskih zaslonih in termičnih izgub, ki so z njimi povezane ter posledično povečanju prenosne kapacitete (sposobnosti) kablovoda. Opisani so v poglavju 8.15.

Pravilno delovanje navedenih načinov ozemljitev kovinskih zaslonov-ekranov je mogoče zagotoviti s kontinuiranim merjenjem tokov v njih. Vsaka sprememba v ozemljilnem sistemu se odraža v povečanju vrednostih tokov v kovinskih zaslonih oziroma nesimetriji med tokovi v posameznih kovinskih zaslonih. Zaradi zagotavljanja varnosti se priporoča tudi merjenje ozemljitvene upornosti v omaricah za prevezave, v izogib dvigu potenciala preko dovoljene vrednosti. Postopek je opisan v [46], podrobnejše pa tudi v[45].

Enostransko ozemljeni kovinski zasloni se uporabljajo pri krajših kablovodih do cca. 1 km dolžine. Pri enostransko ozemljenih kovinskih zaslonih po njih ne tečejo tokovi, s čemer se poveča prenosna kapaciteta kablovoda, se pa v njih inducirajo napetosti, zato je zaslone potrebno zavarovati pred dotikom. Kablovod z enostransko ozemljenimi kovinskimi zasloni je potrebno opremiti s kompenzacijskim vodnikom ECC z ustrezno nizko ozemljitveno upornostjo, ki omogoča, da se tokovi, ki nastanejo ob tranzientnih pojavih, kar najhitreje odvedejo v zemljo. Da bi zagotovili pravilno funkcijo uporabljenega načina ozemljitve je potrebno redno (periodično) preverjanje delovanja SVL in preverjanje celovitosti ECC vodnika.

Navzkrižna povezava kovinskih zaslonov-ekranov (angl. Cross-bonding) se uporablja pri daljših kablovodih. Pri navzkrižno povezanih kovinskih zaslonih po njih sicer tečejo neki majhni tokovi, ki pa so zanemarljivi v primerjavi s kablovodom z obojestransko ozemljenimi zasloni. V omaricah za prevezave se namesti odvodnike SVL, ki zagotavljajo, da se ob okvarah (tranzientnih pojavih) v kovinskih zaslonih ne inducirajo previsoke napetosti. SVL odvodniki so na NN strani povezani z ozemljitvenim sistemom, ki mora biti ustrezno dimenzioniran, da omogoča odvajanje prenapetosti v zemljo.

Pomembno je, da se zagotovi celovitost zunanjega plašča, saj poškodbe le tega lahko privedejo do dodatnih stikov z zemljo, zaradi česar se poruši simetrija tokov po zaslonih in ogrozi delovanje tega načina ozemljitve. Da bi zagotovili pravilno funkcijo uporabljenega načina ozemljitve, je potrebno redno (periodično) preverjanje delovanja SVL, pregled vodotesnosti omaric za prevezave in preverjanje ozemljitvenih povezav ter preverjanje celovitosti zunanjega plašča kabla.

Preverjanje odvodnikov za zaščito zunanjega plašča kabla SVL

Odvodniki za zaščito zunanjega plašča kabla (SVL) imajo pomembno vlogo pri zaščiti zunanjega plašča pred prenapetostmi. Kot že omenjeno se uporabljajo pri enostransko ozemljenih in navzkrižno povezanih kovinskih zaslonih. Namenjeni so predvsem omejevanju prenapetosti med ozemljenimi deli in kovinskim zaslonom-ekranom pri hitrih tranzientnih pojavih. Zaradi okvare SVL je bodisi ogrožena zaščitna funkcija SVL (odprt) ali pa se pojavijo zančni tokovi v kovinskih zaslonih (SVL kratko sklenjen). Prvi primer je pogostejši, pri drugem pa obstaja nevarnost vžiga ali eksplozije SVL. Zato je pomembno opravljati bodisi periodične vizualne preglede SVL ali preskušanje z enosmerno napetostjo (off-line) vsaj vsakih 10 let ali pa zagotoviti kontinuirani on-line monitoring. Slednji omogoča takojšnje prepoznanje okvare SVL. V primeru, da SVL niso opremljeni s sistemom za kontinuirani on-line monitoring, je priporočljivo SVL zamenjati vsaj hkrati z odvodniki za zaščito glavne izolacije, predvsem na podlagi obratovalnih dogodkov in števila delovanj. Obvezen je tudi pregled ob kratkem stiku in ob visokih prenapetostih. Ob teh dogodkih se priporoča tudi pregled omaric, v katerih so nameščeni, zlasti vodotesnost in korozijska zaščita. Podrobnejša navodila za vzdrževanje SVL so opisana v standardu [14] HD 632 S3:2016 Part 2, tč. 8.10.

9.6 UKREPI NA PODLAGI UGOTOVITEV KABELSKE DIAGNOSTIKE

Z metodami za kabelsko diagnostiko je mogoče ugotoviti trend spreminjanja merilnih parametrov, ki so v korelaciji s stanjem kabelske izolacije oz. dielektrično trdnost le-te. Na osnovi omenjenega trenda spreminjanja (poslabšanja) merilnih parametrov se določi pogostost oz. periodika izvajanja meritev na kablovodu (CBM).

Razlikujemo štiri stopnje, ki so osnova za izdelavo periodike izvajanja meritev:

- kablovod je brez poškodb, njegova izolacijska sposobnost je dovolj visoka,
- izolacijska sposobnost kablovoda je nekoliko zmanjšana, vendar je pogojno sposoben za obratovanje z občasnim spremljanjem stanja v obliki periodičnega izvajanja diagnostičnih meritev,
- izolacijska sposobnost kablovoda je močno zmanjšana, potrebno je vsakoletno izvajanje diagnostičnih meritev,
- izolacijska sposobnost kablovoda je kritično zmanjšana, potrebna je takojšnja določitev degradiranih elementov kablovoda in zamenjava ali sanacija le-teh (spojke končniki, posamezni odseki kabla).

Na osnovi določitve stopnje izolacijske sposobnosti se lahko izdela ocena (potencialne) preostale življenjske dobe in predvidi čas, v katerem bo potrebna zamenjava bodisi kompletnega kablovoda ali pa samo njegovega dela ali kabelskega pribora.

10 LITERATURA

[1] Smernice in navodila za izbiro polaganje in prevzem elektroenergetskih kablov 1 kV do 35 kV, EIMV, Študija 2090, september 2011

[2] Analiza vplivov načrtovanega povečanja nazivne moči enosmernih lokomotiv in frekvenca porasta prometa na SN in NN omrežje, EIMV, Študija 1882

[3] IEC 60060:2020 High-voltage test techniques - ALL PARTS

[4] IEC 60183:2015, Guidance for the selection of high-voltage A.C. cable systems

[5] IEC 60228:2004, Conductors of insulated cables

[6] IEC 60229:2007, Electric cables - Tests on extruded oversheaths with a special protective function

[7] IEC 60287-1-1:2014, Electric cables - Calculation of the current rating - Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – General

[8] IEC 60287-2-1:2015, Electric cables - Calculation of the current rating - Part 2-1: Thermal resistance - Calculation of thermal resistance

[9] IEC 60332: 2020 SER, Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions - ALL PARTS

[10] IEC 60502:2021 SER, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from (U_m = 1,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV) – ALL PARTS

[11] IEC 60502-1:2021, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (U_m = 1,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV) –Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV (U_m = 1,2 kV) and 3 kV (U_m = 3,6 kV)

[12] IEC 60502-2:2014, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (U_m = 1,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV (U_m = 7,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV)

[13] IEC 60502-4:2010, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (U_m = 1,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV) – Part 4: Test requirements on accessories for cables with rated voltages from 6 kV (U_m = 7,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV)

[14] IEC 60840:2020, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV (U_m = 36 kV) up to 150 kV (U_m = 170 kV) - Test methods and requirements

[15] IEC 60853-1:1985, Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables. Part 1: Cyclic rating factor for cables up to and including 18/30(36) kV

[16] IEC 60853-2:1989, Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables. Part 2: Cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings for cables of all voltages

[17] IEC 60853-3:2002, Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables. Part 3: Cyclic rating factor for cables of all voltages, with partial drying of the soil

[18] IEC 62067:2011 RLV, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150 kV (U_m = 170 kV) up to 500 kV (U_m = 550 kV) - Test methods and requirements

[19] IEC 62949:2017 Posebne varnostne zahteve za opremo za priključitev na informacijska in komunikacijska omrežja

[20] IEC TR 62095:2003, Electric cables - Calculations for current ratings - Finite element method

[21] SIST HD 603 S1:1998/A3: 2007, Distribucijski kabli za naznačeno napetost 0,6/1 kV

[22] SIST HD 605 S3:2019, Dodatne preskusne metode

[23] SIST HD 620 S2: 2010, Distribucijski kabli z ekstrudirano izolacijo za nazivne napetosti od 3,6/6 (7,2) kV do vključno 20,8/36 (42) kV

[24] SIST HD 632 S3: 2016, Elektroenergetski kabli z ekstrudirano izolacijo in njihov pribor za nazivne napetosti nad 36 kV (U_m = 42 kV) in do 150 kV (U_m = 170 kV)

[25] SIST EN 50122-2:2010 Železniške naprave stabilne naprave električne vleke – 2. del: (Zaščitni ukrepi proti učinkom blodečih tokov, ki jih povzročajo enosmerni vlečni sistemi)

[26] SIST EN 50162:2005 (EN 50162:2004) Protection against corrosion by stray current from direct current systems (Železniške naprave – Zaščita proti koroziji zaradi učinkovanja blodečih tokov pri enosmernih tokovnih sistemih)

[27] IEEE 400.4 2015, IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above with Damped Alternating Current (DAC) Voltage

[28] IEEE 433-2009 Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery with High Voltage Rating up to 30 kV at Very Low Frequency

[29] 8. Konferenca CIGRE ŠK B1-4 Čatež 2007 Vpliv različnih dejavnikov pri polaganju visokonapetostnih XLPE kablov na termične razmere med obratovanjem, Marko Janša, Martin Hostnih, Jernej Majcen

[30] CIGRE TB 194 Construction, Laying and installation techniques for extruded and self contained fluid filled cable.

[31] CIGRE TB 268 Transient voltages affecting long cables

[32] CIGRE TB 250 General guidelines for the integration of a new underground cable system in the network

[33] CIGRE TB 283 Special bonding of high voltage power cables

[34] CIGRE°TB 338 Statistics od AC underground cables

[35] CIGRE TB 379 Service experience of HV underground cables-failure rate

[36] CIGRE TB 398 Third-Party Damage to Underground and Submarine Cables

[37] CIGRE TB 403 Cable Systems in Multi Purpose or Shared Structures

[38] CIGRE TB 531 Cable Systems Electrical Characteristics

[39] CIGRE TB 559 Impact of EMF on current ratings. and cable systems

[40] CIGRE TB 606 Upgrading and uprating of existing cable systems

[41] CIGRE TB 640 A Guide for Rating Calculations of Insulated Cables

[42] CIGRE TB 728 On-site Partial Discharge assessment of HV and EHV cable systems

[43] CIGRE TB 751 Electrical properties of insulating materials under VLF voltage

[44] CIGRE TB 756 Thermal monitoring of cable circuits and grid operators use of dynamic rating systems

[45] CIGRE TB 797 Sheath bonding systems of AC transmission cables

[46] CIGRE TB 801 Guidelines for safe work on cable systems under induced voltages

[47] CIGRE TB 825 Maintenance of HV Cable Systems

[48] NEETRAC Diagnostic Testing of Underground Cable Systems Project Numbers: 04-211/04-212/09-166), December 2010

[49] Pravilnik o pogojih in omejitvah gradenj, uporabe objektov ter opravljanja dejavnosti v območju varovalnega pasu elektroenergetskih omrežij (Uradni list RS, št.: 101/10 in 17/14 – EZ-1).

[50] Energetski zakon EZ-1, (Uradni list RS, št.: 17/14 in 81/15).

[51] Pravilnik o tehničnih pogojih za graditev podzemnih elektroenergetskih vodov izmenične nazivne napetosti nad 1 kV do 400 kV (Uradni list RS, št. 42/2021)

[52] Pravilnik o tehničnih pogojih za graditev, obratovanje in vzdrževanje plinovodov z največjim delovnim tlakom do vključno 16 barov, (Uradni list RS, št.: 26/2002, 54/2002)

[53] Pravilnik o tehničnih pogojih za graditev, obratovanje in vzdrževanje plinovodov z delovnim tlakom nad 16 barov, Uradni list RS, št.: 60/2001

[54] Hand Book on EHV Overhead Line & Underground Cable Protective Regulations, Dubai Electricity Water Authority, 2016

[55] Installation of Underground Cables-LV to 132 kV, Networks EPN, LPN & SPN, 22.7.2015

[56] Uredba o razvrščanju objektov glede na zahtevnost gradnje, (Uradni list RS, št. 18/13, 24/13 in 26/13)

[57] Ostala zakonodaja RS, dostopna na portalu PIS MZ Upravo

[58] ITU-T K.68 (04/2008) Operator responsibilities in the management of electromagnetic interference by power systems on telecommunication systems

[59] Trižilni SN kabli, njihova uporaba v distribucijskih vodih in smernice za pripravo pravilnika o tehničnih normativih za graditev vodov z univerzalnimi in trižilnimi kabli za napetosti od 1 do 35 kV, EIMV, Študija 1652, marec 2004

[60] Strokovna analiza uporabnosti posameznih tipov trižilnih kablov 20 kV na trgih EU in njihove konstrukcijske posebnosti za zagotavljanje obratovalne zanesljivosti, EIMV, Študija 2361, julij 2018

[61] Dimenzioniranje in polaganje 110 kV kablov za doseganje optimalnega obratovanja, , EIMV, Študija 1836, marec 2006

[62] CIGRE 841 After laying tests on AC and DC cable systems with new technologies

[63] Surge arresters for cable sheath preventing power losses in m.v. networks, A. Heiß Energie-AG (EAM), Kassel, Germany, G. Balzer Darmstadt University of Technology, Germany, O. Schmitt ABB Calor Emag, Schaltanlagen, Mannheim, Germany, B. Richter ABB Hochspannungstechnik, Baden, (Switzerland - http://www.cired.net/publications/cired2001/1_34.pdf

11 TABELE

Tabela 1 Nazivne napetosti U_o/U kablov v SN trifaznem sistemu 244
Tabela 2 Osnovni podatki za okrogle in sektorske večžične in enožične vodnike razreda 2 244
Tabela 3 Nazivne napetosti omrežja, nazivne napetosti kabla in največje napetosti kabla U_m v SN trifaznem sistemu 244
Tabela 4 Najvišja dopustna trajna delovna temperatura vodnika in najvišja dopustna temperatura vodnika SN kablov v kratkem stiku 245
Tabela 5 Nazivni prerezi faznih vodnikov v odvisnosti od nazivne napetosti kabla za enožilne in trižilne kable (HD 620 S2 Part 10-C-29 tabela 1b) 245
Tabela 6 Dopustne delovne temperature vodnika in specifične toplotne upornosti izolacije 245
Tabela 7 Obratovalni pogoji pri polaganju kablov v zemljo (VDE 276-1000 tabela 2) 246
Tabela 8 Obratovalni pogoji pri polaganja kablov na prostem (VDE 276-1000 tabela 3) 247
Tabela 9 Tokovna obremenitev kablov U_o/U = 0,6/1 kV z vodniki iz bakra in aluminija za polaganje v zemljo VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G) 248
Tabela 10 Tokovna obremenitev kablov U_o/U = 0,6/1 kV z vodniki iz bakra in aluminija za nadzemno polaganje VDE 276-603:2010-03 (German verison HD 603 S1:1994/A3:2007 Parts 0,1, 3G and 5G) 249
Tabela 11 Tokovna obremenitev kablov U_o/U = 6/10 kV, 12/20 kV in 18/30 kV z vodniki iz bakra in aluminija za polaganje v zemljo (SIST HD 620 S2 Part 10-C tabela 7) 250
Tabela 12 Tokovna obremenitev kablov U_o/U = 6/10 kV, 12/20 kV in 18/30 kV z vodniki iz bakra in aluminija za nadzemno polaganje (v zraku) (SIST HD 620 S2 Part 10-C tabela 8) 251
Tabela 13 Tokovna obremenitev trižilnih SN kablov U_o/U = 6/10 kV z vodniki iz bakra in aluminija za polaganje v zemljo (SIST HD 620 S2 Part 10-C tabela 9) 252
Tabela 14 Tokovna obremenitev trižilnih kablov U_o/U = 6/10 kV z vodniki iz bakra in aluminija za nadzemno polaganje (v zraku) (SIST HD 620 S2 Part 10-C tabela 10) 252
Tabela 15 Korekcijski faktor "f_1" za preračunavanje tokovne obremenitve kablov položenih v zemljo v odvisnosti od specifične toplotne upornosti in temperature zemljišča za različne faktorje obremenitve in za vse konstrukcije kablov razen PVC-kabel 6/10 kV (VDE 276-1000 tabela 4) 253
Tabela 16 Korekcijski faktor "f_2" za preračunavanje tokovne obremenitve trižilnih[1]) kablov v trifaznem sistemu v odvisnosti od števila kablov v istem jarku, specifične toplotne upornosti zemljišča in faktorja obremenitve pri linijski razporeditvi z medsebojnim razmikom kablov 7 cm(VDE 276-1000 tabela 9) 255
Tabela 17 Korekcijski faktor "f_2" za preračunavanje tokovne obremenitve enožilnih kablov trifaznega sistema položenih v obliki trikotnika z medsebojnim razmikom sistemov 25 cm v odvisnosti od števila sistemov v istem jarku specifične upornosti zemljišča in faktorja obremenitve (VDE 276-1000 tabela 7) 256
Tabela 18 Korekcijski faktor "f_2" za preračunavanje tokovne obremenitve enožilnih kablov trifaznega sistema, položenih v obliki trikotnika z medsebojnim razmikom sistemov 7 cm, v odvisnosti od števila sistemov v istem rovu, specifične upornosti zemljišča in faktorja obremenitve (VDE 276-1000 tabela 6) 257
Tabela 19 Korekcijski faktor "f_2" za preračunavanje tokovne obremenitve enožilnih kablov trifaznega sistema, položenih v liniji z medsebojnim razmikom sistemov 7 cm, v odvisnosti od števila sistemov v istem jarku, specifične upornosti zemljišča in faktorja obremenitve (VDE 276-1000 tabela 8) 258
Tabela 20 Faktor obremenitve v odvisnosti od temperature zemljine f_{Tze} 259
Tabela 21 Faktor obremenitve v odvisnosti od toplotne upornosti zemljine f_R 259
Tabela 22 Koeficient absorbcije sončnega obsevanja 259
Tabela 23 Faktor obremenitve v odvisnosti od globine polaganja f_g. 259
Tabela 24 Dopustne vrednosti tokovnih gostot v bakrenem vodniku in zaslonu pri kratkem stiku .. 260

Tabela 25 Dopustne vrednosti tokovnih gostot v aluminijskem vodniku in zaslonu pri kratkem stiku 260
Tabela 26 Kritične vrednosti kratkostičnih tokov za dimenzioniranje vodnika in zaslona 260
Tabela 27 Primer zmanjšanja prenosne kapacitete obravnavanih 110 kV kablovodov zaradi obojestransko ozemljenih kovinskih zaslonov (brez korekcijskih faktorjev polaganja) ... 260
Tabela 28 Največje dopustne vrednosti ohmske upornosti vodnikov za NN in VN kable 261
Tabela 29 Orientacijski kataloški podatki za SN kable različnih konstrukcij pri obratovalni frekvenci 50 Hz. Pri enožilnih kablih veljajo podatki pri obojestransko ozemljenih kovinskih zaslonih 262
Tabela 30 Vrednosti obratovalne kapacitivnosti SN kablov 263
Tabela 31 Nična impedanca enožilnih SN kablov za izračun zemeljskih kratkih stikov v omrežju . 264
Tabela 32 Nična impedanca trižilnih SN kablov za izračun zemeljskih kratkih stikov v omrežju 265
Tabela 33 Najmanjše dopustne medsebojne oddaljenosti med SN kabli 265
Tabela 34 Velikost oznake o prepovedi sidranja v odvisnosti od širine vodotoka na mestu prehoda 265
Tabela 35 Dopustne vlečne sile pri SN kablih (SIST HD 620 S2 Part 10-C-25) 265
Tabela 36 Minimalni dopustni polmer krivljenja NN in SN kablov pri odvijanju in transportu kabla VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G) 266
Tabela 37 Pregled tipskih preskusov SN kablov v odvisnosti od vrste kablov 267
Tabela 38 Pregled kosovnih preskusov SN kablov v odvisnosti od vrste kablov 270
Tabela 39 Pregled vzorčnih preskusov SN kablov v odvisnosti od vrste kablov 270
Tabela 40 Kontrola dielektrične trdnosti novopoloženih NN in SN kablov z enosmerno napetostjo, ki jih prikazuje tabela po vrstnem redu priključevanja napetosti iz priloge št. 33 271
Tabela 41 Vrednosti izmenične preskusne napetosti za novopoložene NN in SN kable 271
Tabela 42 Vrednosti preskusne napetosti frekvence 0,1 Hz za SN kable z izolacijo iz XLPE 271
Tabela 43 Pregled preskusov kabelskega pribora za napetosti od 3,6/6(7,2) kV do 20,8/36(42) kV (SIST HD 629.1 S3 :2019) 272
Tabela 44 Korekcijski faktor f_9 za polaganje v zrak pri temperaturi zraka različni od 30°C (DIN VDE 0276- 1000, tabela 12 oz. knjiga “Kabel und Leitungen Teil 2” tabela 4.2.12) 273
Tabela 45 Minimalni odmiki pri približevanju in križanju ETK kabelske kanalizacije v lasti elektrodistribucijskih podjetij (EDP) z ostalimi podzemnim komunalnimi vodi 273
Tabela 46 Pregled predpisanih bistvenih zahtev v skladu z določbami predpisov pri gradnji kablovodov 273
Tabela 47 Koeficenti trenja (informativni) 275
Tabela 48 Korektivni faktorji vlečnih sil (informativni) zaradi preloma trase 275
Tabela 49 Priporočene minimalne vrednosti presekov kablov pri prehodu DV/KBV 275

Tabela 1 Nazivne napetosti U_o/U kablov v SN trifaznem sistemu

Nazivna napetost kabla U_o/U kV/kV	Nazivna napetost omrežja U_N v trifaznem sistemu $U_N = \sqrt{3}\, U_o$ (kV)
0,6/1	1
6/10	10
12/20	20
18/30 kV (20/35 kV)	35

Tabela 2 Osnovni podatki za okrogle in sektorske večžične in enožične vodnike razreda 2

Nazivni Prerez mm²	Najmanjše število žic v vodniku						**Največji zunanji premer okroglih vodnikov, mm**		Največja upornost vodnika pri 20 °C Ω/km	
	Nekompaktiran okrogli vodnik		Kompaktiran okrogli vodnik		Sektorski vodnik					
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	**Polni-večžični Cu**	**Večžični Cu in Al**	Cu	Al
16	7	-	6	-	-	-	**4,6 - 5,3**	**-**	1,15	-
25	7	7	6	6	-	-	**5,7 - 6,6**	**6,5**	0,727	1,20
35	7	7	6	6	6	-	**4,7 - 7,9**	**7,5**	0,524	0,868
50	19	19	6	6	6	6	**7,8 - 9,1**	**8,6**	0,387	0,641
70	19	19	12	12	12	12	**9,4 - 11,0**	**10,2**	0,268	0,443
95	19	19	15	15	15	15	**11 - 12,9**	**12,0**	0,193	0,320
120	37	37	18	15	18	15	**12,4-14,5**	**13,5**	0,153	0,253
150	37	37	18	15	18	15	**13,8-16,2**	**15,0**	0,124	0,206
185	37	37	30	30	30	30	**15,4-18,0**	**16,8**	0,0991	0,164
240	37	37	34	30	34	30	**17,6-20,6**	**19,2**	0,0754	0,125

Tabela 3 Nazivne napetosti omrežja, nazivne napetosti kabla in največje napetosti kabla U_m v SN trifaznem sistemu

Nazivna napetost omrežja U_N kV	Nazivna napetost kabla U_o/U kV/kV	Najvišja napetost kabla v trifaznem sistemu U_m kV
1	0,6/1	1,2
10	6/10	12,0
20	12/20	24,0
35	18/30 kV (20,8/36(42) kV) (20/35)	HD 620 S2 Part 10-C 36 kV (HD 620 S2 Part 10-B 42 kV))

Tabela 4 Najvišja dopustna trajna delovna temperatura vodnika in najvišja dopustna temperatura vodnika SN kablov v kratkem stiku

Vrsta izolacije	Najvišja dopustna temperatura vodnika (°C)	
	Trajno obratovanje	Kratki stik (trajanje največ 5 sek)
Polivinilklorid (PVC)	70	160
Omreženi polietilen (XLPE)	90	250

Tabela 5 Nazivni prerezi faznih vodnikov v odvisnosti od nazivne napetosti kabla za enožilne in trižilne kable (HD 620 S2 Part 10-C-29 tabela 1b)

Vodnik	Prerez vodnika [mm^2]		
Napetost [kV]	6/10	12/20	18/30
Bakreni okrogli, večžični : -enožilni kabli -trižilni kabli	 25 - 1000 25 – 300	 35 – 1000 -	 50 – 1000 -
Aluminijski okrogli, večžični : -enožilni kabli -trižilni kabli Sektorski polni	 50 – 1000 50 – 300 50 – 240	 50 – 1000 - -	 50 – 1000 - -

Tabela 6 Dopustne delovne temperature vodnika in specifične toplotne upornosti izolacije

Vrsta izolacije	Dopustna delovna temperatura vodnika °C	Dopustno segrevanje izolacije pri polaganju		Specifična toplotna upornost izolacije K.m/W
		v zemlji 20°C	v zraku 30°C	
PVC	70	50	40	6,0
PE	70	50	40	3,5
XLPE	90	70	60	3,5

Tabela 7 Obratovalni pogoji pri polaganju kablov v zemljo (VDE 276-1000 tabela 2)

Obratovalni pogoji pri polaganju kablov v zemlji (VDE 276-1000 tabela 2 *))		
Pogoji obratovanja za izračun obremenljivosti (Berechnung der Bemessungstrom)		Odstopanje od obratovalnih pogojev
Način obratovanja faktor obremenitve 0,7		Korekcijski faktorji: -VDE 276-1000 tabele 4 do 9
Pogoji polaganja globina polaganja 0,7 m		-VDE 276-1000 tč.5.3.1.2.1
Razporeditev - formacija: - 1 večžilni kabel		Korekcijski faktorji - za kopičenje: VDE 276-1000 tabele 4, 5, 9 - za večžilne kable: VDE 276-1000 tabela 13
- 1 enožilni kabel za enosmerni tok		-
- 3 enožilni kabli v trikotniku za izmeničen tok		- za kopičenje: VDE 276-1000 tabele 4 do 7
- 3 enožilni kabli v ravnini, za izmenični tok pri razdalji med kabli 7 cm		- za kopičenje: VDE 276-1000 tabele 4, 5, 8
Posteljica iz peska in pokritje iz opek, betonskih ali plastičnih plošč 		Korekcijski faktorji - pri pokrivnih ploščah z dostopom zraka: VDE 276-1000 tč.5.3.1.2.3 - pri polaganju v cevi: VDE 276-1000 tč.5.3.1.2.4
Okoliški pogoji Temperatura zemlje v globini polaganja kabla: 20°C Specifična toplotna upornost zemljišča: - vlažno zemljišče 1,0 K.m/W - suho zemljišče 2,5 K.m/W		Korekcijski faktorji: - VDE 276-1000 tabele 4 do 9 - VDE 276-1000 tabele 4 do 9 -
Obojestranska ozemljitev kovinskih zaslonov		glej VDE 276-1000 tč.5.2

*) ni SIST standarda

Tabela 8 Obratovalni pogoji pri polaganja kablov na prostem (VDE 276-1000 tabela 3)

Obratovalni pogoji pri nadzemnem polaganju kablov (VDE 276-1000 tabela 3 *))		
Poogoji obratovanja za izračun obremenljivosti (Berechnung der Bemessungstrom)		Odstopanje od obratovalnih pogojev
Način obratovanja Dolgotrajno obratovanje (faktor obremenitve 1,0) skladno s tabelo za nadzemno polaganje (v zraku)		Tudi pri odstopanju od obratovalnih pogojev se upošteva dolgotrajno obratovanje
Razporeditev - formacija: - 1 večžilni kabel - 3 enožilni kabli v trikotniku - 3 enožilni kabli v ravnini d = zunanji premer kabla		Korekcijski faktorji - za kopičenje: VDE 276-1000 tabela 11 - za večžilne kable: VDE 276-1000 tabela 13
Polaganje prosto v zraku pri neoviranem odvodu toplote - oddaljenost kablov od zida, tal ali stropa ≥ d		-
- razmik kablov položenih drug do drugega ≥ d - razmik kablov položenih drug nad drugim ≥ d		- za kopičenje: VDE 276-1000 tabela 10
razmik med vrstami kablov na kabelskih policah ≥ d (d= zunanji premer kabla)		- za kopičenje: VDE 276-1000 tabela 10
Okoliški pogoji: - temperatura okolice 30°C - dovolj veliki ali prezračevani prostori, kjer ne prihaja do povišanja temperature zaradi izgub - zaščita pred direktnim sončnim obsevanjem		Korekcijski faktorji: - VDE 276-1000 tabela 12 - VDE 276-1000 tabela 12 - -
Obojestranska ozemljitev kovinskih zaslonov		glej VDE 276-1000 tč.5.2

*) ni SIST standarda

Tabela 9 Tokovna obremenitev kablov U_0/U = 0,6/1 kV z vodniki iz bakra in aluminija za polaganje v zemljo VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G)

Vrsta izolacije	PVC					XLPE				
Razporeditev	1)					1)				
Oznaka konstrukcije (VDE)	NYY			NYCWY NYCY		N2XY N2X2Y			N2XCWY N2XCW2Y	
Nazivni prerez vodnika iz bakra (mm²)	Tokovna obremenitev v (A) za polaganje v zemljo									
16	160	102	107	102	108	176	112	115	113	117
25	208	133	138	133	139	229	145	148	146	150
35	250	159	164	160	166	275	174	177	176	179
50	296	188	195	190	196	326	206	209	208	211
70	365	232	238	234	238	400	254	256	256	257
95	438	280	286	280	281	480	305	307	307	304
120	501	318	286	319	315	548	348	349	349	341
150	563	359	365	357	347	616	392	393	391	377
185	639	406	413	402	385	698	444	445	442	418
240	746	473	479	463	432	815	517	517	509	469
Oznaka konstrukcije (VDE)	NAYY			NAYCWY NAYCY		NA2XY NA2X2Y			NA2XCWY NA2XCW2Y	
Nazivni prerez vodnika iz aluminija (mm²)	Tokovna obremenitev v (A) za polaganje v zemljo									
25	160	102	106	103	108	177	112	114	113	116
35	193	123	127	123	129	212	135	136	136	138
50	230	144	151	145	153	252	158	162	159	164
70	283	179	185	180	187	310	196	199	197	201
95	340	215	222	216	223	372	234	238	236	240
120	389	245	253	246	252	425	268	272	269	272
150	436	275	284	276	280	476	300	306	302	303
185	496	313	322	313	314	541	342	347	342	340
240	578	364	375	362	358	631	398	404	397	387

1) obremenitev v enofaznem sistemu

Tabela 10 Tokovna obremenitev kablov U_0/U = 0,6/1 kV z vodniki iz bakra in aluminija za nadzemno polaganje VDE 276-603:2010-03 (German verison HD 603 S1:1994/A3:2007 Parts 0,1, 3G and 5G)

Vrsta izolacije	PVC					XLPE				
Razporeditev	1)					1)				
Oznaka konstrukcije (VDE)	NYY			NYCWY NYCY		N2XY N2X2Y			N2XCWY N2XCW2Y	
Nazivni prerez vodnika iz bakra (mm²)	Tokovna obremenitev v (A) za nadzemno polaganje (v zraku)									
16	107	79	84	80	89	131	98	102	100	109
25	144	106	114	108	119	177	133	138	136	146
35	176	129	139	132	146	217	162	170	165	179
50	214	157	169	160	177	265	197	207	201	218
70	270	199	213	202	221	336	250	263	255	275
95	334	246	264	249	270	415	308	325	314	336
120	389	285	307	289	310	485	359	380	364	388
150	446	326	352	329	350	557	412	437	416	438
185	516	374	406	377	399	646	475	507	480	501
240	618	445	483	443	462	774	564	604	565	580
	NAYY			NAYCWY NAYCY		NA2XY NA2X2Y			NA2XCWY NA2XCW2Y	
Nazivni prerez vodnika iz aluminija (mm²)	Tokovna obremenitev v (A) za nadzemno polaganje (v zraku)									
25	110	82	87	83	91	136	102	106	104	112
35	135	100	107	101	112	166	126	130	128	137
50	166	119	131	121	137	205	149	161	152	169
70	210	152	166	155	173	260	191	204	194	214
95	259	186	205	189	212	321	234	252	239	263
120	302	216	239	220	247	376	273	296	278	308
150	345	246	273	249	280	431	311	339	316	349
185	401	285	317	287	321	501	360	395	365	401
240	479	338	378	339	374	600	427	472	430	469

1) obremenitev v enofaznem sistemu

Tabela 11 Tokovna obremenitev kablov U_o/U = 6/10 kV, 12/20 kV in 18/30 kV z vodniki iz bakra in aluminija za polaganje v zemljo (SIST HD 620 S2 Part 10-C tabela 7)

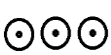
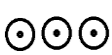
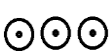
1	2	3	4	5	6	7
Izolacija	XLPE					
U_o/U [kV]	6/10 kV		12/20 kV		18/30 kV	
Dovoljena obrat. temperatura	90°C					
Razporeditev						
Nazivni prerez vodnika iz bakra (mm²)	Oznaka konstrukcije N2XS2Y, N2XSY Tokovna obremenitev v (A) za polaganje v zemljo					
25	157	179	-	-		
35	187	212	189	213	-	-
50	220	249	222	250	225	251
70	268	302	271	303	274	304
95	320	359	323	360	327	362
120	363	405	367	407	371	409
150	405	442	409	445	414	449
185	456	493	461	498	466	502
240	526	563	532	568	539	574
300	591	626	599	633	606	640
400	662	675	671	685	680	695
500	744	748	754	760	765	773
Nazivni prerez vodnika iz aluminija (mm²)	Oznaka konstrukcije NA2XS2Y, NA2XSY Tokovna obremenitev v (A) za polaganje v zemljo					
25	-	-	-	-		
35	-	-	-	-	-	-
50	171	194	172	195	174	195
70	208	236	210	237	213	238
95	248	281	251	282	254	283
120	283	318	285	319	289	321
150	315	350	319	352	322	354
185	357	394	361	396	364	399
240	413	452	417	455	422	458
300	466	506	471	510	476	ž514
400	529	558	535	564	541	570
500	602	627	609	634	616	642

Tabela 12 Tokovna obremenitev kablov U_o/U = 6/10 kV, 12/20 kV in 18/30 kV z vodniki iz bakra in aluminija za nadzemno polaganje (v zraku) (SIST HD 620 S2 Part 10-C tabela 8)

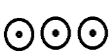
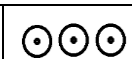
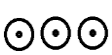
1	2	3	4	5	6	7
Izolacija	XLPE					
U_o/U [kV]	6/10 kV		12/20 kV		18/30 kV	
Dovoljena obrat. temperatura	90					
Razporeditev						
Nazivni prerez vodnika iz bakra (mm²)	Oznaka konstrukcije N2XS2Y, N2XSY Tokovna obremenitev v (A) za nadzemno polaganje (v zraku)					
25	163	194	-	-		
35	197	235	200	235	-	-
50	236	282	239	282	241	282
70	294	350	297	351	299	350
95	358	426	361	426	363	425
120	413	491	416	491	418	488
150	468	549	470	549	472	548
185	535	625	538	625	539	624
240	631	731	634	731	635	728
300	722	831	724	830	725	828
400	827	920	829	923	831	922
500	949	1043	953	1045	953	1045
Nazivni prerez vodnika iz aluminija (mm²)	Oznaka konstrukcije NA2XS2Y, NA2XSY Tokovna obremenitev v (A) za nadzemno polaganje (v zraku)					
25	-	-	-	-		
35	-	-	-	-	-	-
50	183	219	185	219	187	219
70	228	273	231	273	232	273
95	278	333	280	332	282	331
120	321	384	323	384	325	382
150	364	432	366	432	367	429
185	418	496	420	494	421	492
240	494	583	496	581	496	578
300	568	666	569	663	568	659
400	660	755	660	753	659	750
500	767	868	766	866	764	861

Tabela 13 Tokovna obremenitev trižilnih SN kablov U_o/U = 6/10 kV z vodniki iz bakra in aluminija za polaganje v zemljo (SIST HD 620 S2 Part 10-C tabela 9)

Obremenitev trižilnih kablov pri polaganju v zemljo		
1	2	3
Izolacijski material	XLPE	
U_o/U [kV]	6/10 kV	
Dovoljena temp. obrat.	90°C	
Oznaka	N2XSE2Y, N2XSEY N2XS2Y, N2XSY	NA2XSE2Y, NA2XSEY NA2XS2Y, NA2XSY
Formacija		
Prerez v mm^2	Bakreni vodnik Nazivni tok v A	Aluminijski vodnik Nazivni tok v A
25	151	-
35	181	-
50	213	165
70	261	203
95	312	242
120	355	276
150	399	309
185	451	351
240	523	408
300	590	463

Tabela 14 Tokovna obremenitev trižilnih kablov U_o/U = 6/10 kV z vodniki iz bakra in aluminija za nadzemno polaganje (v zraku) (SIST HD 620 S2 Part 10-C tabela 10)

Obremenitev trižilnih SN kablov pri nadzemnem polaganju (v zraku)		
1	2	3
Izolacijski material	XLPE	
U_o/U [kV]	6/10 kV	
Dovoljena temp. obrat.	90°C	
Oznaka	N2XSE2Y, N2XSEY N2XS2Y, N2XSY	NA2XSE2Y, NA2XSEY NA2XS2Y, NA2XSY
Formacija		
Prerez v mm^2	Bakreni vodnik Nazivni tok v A	Aluminijski vodnik Nazivni tok v A
25	147	-
35	178	-
50	213	165
70	265	206
95	322	249
120	370	288
150	420	326
185	481	375
240	566	442
300	648	507

Tabela 15 Korekcijski faktor "f_1" za preračunavanje tokovne obremenitve kablov položenih v zemljo v odvisnosti od specifične toplotne upornosti in temperature zemljišča za različne faktorje obremenitve in za vse konstrukcije kablov razen PVC-kabel 6/10 kV (VDE 276-1000 tabela 4)

1	2	3					4					5					6
Dopustna delovna temperat. vodnika	Temp. zemljišča	Specifična toplotna upornost zemljišča v K.m/W															
		0,7					1,0					1,5					2,5
		Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve
° C	° C	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5 do 1,0
90	5	1,24	1,21	1,18	1,13	1,07	1,11	1,09	1,07	1,03	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,89
	10	1,23	1,19	1,16	1,11	1,05	1,09	1,07	1,05	1,01	1,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,86
	15	1,21	1,17	1,14	1,08	1,03	1,07	1,05	1,02	0,99	0,95	0,95	0,93	0,92	0,91	0,89	0,84
	20	1,19	1,15	1,12	1,06	1,00	1,05	1,02	1,00	0,96	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,86	0,81
	25						1,02	1,00	0,98	0,94	0,90	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84	0,78
	30								0,95	0,91	0,88	0,87	0,86	0,84	0,83	0,81	0,75
	35													0,82	0,80	0,78	0,72
	40																0,68
80	5	1,27	1,23	1,20	1,14	1,08	1,12	1,10	1,07	1,04	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,88
	10	1,25	1,21	1,17	1,12	1,06	1,10	1,07	1,05	1,01	0,97	0,97	0,95	0,94	0,92	0,91	0,85
	15	1,23	1,19	1,15	1,09	1,03	1,07	1,05	1,03	0,99	0,95	0,94	0,93	0,92	0,90	0,88	0,82
	20	1,20	1,17	1,13	1,07	1,01	1,05	1,03	1,00	0,96	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,78
	25						1,03	1,00	0,97	0,93	0,89	0,88	0,87	0,86	0,84	0,82	0,75
	30								0,95	0,91	0,86	0,85	0,84	0,83	0,81	0,78	0,72
	35													0,80	0,77	0,75	0,68
	40								0,95	0,91	0,86						0,64

70	5	1,29	1,26	1,22	1,15	1,09	1,13	1,11	1,08	1,04	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,86
	10	1,27	1,23	1,19	1,13	1,06	1,11	1,08	1,06	1,01	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,89	0,83
	15	1,25	1,21	1,17	1,10	1,03	1,08	1,06	1,03	0,99	0,94	0,93	0,92	0,91	0,88	0,86	0,79
	20	1,23	1,18	1,14	1,08	1,01	1,06	1,03	1,00	0,96	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,83	0,76
	25						1,03	1,00	0,97	0,93	0,88	0,87	0,85	0,84	0,82	0,79	0,72
	30								0,94	0,89	0,85	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,68
	35													0,77	0,74	0,72	0,63
	40																0,59
65	5	1,31	1,27	1,23	1,16	1,09	1,14	1,11	1,09	1,04	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,85
	10	1,29	1,24	1,20	1,14	1,06	1,11	1,09	1,06	1,02	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,89	0,82
	15	1,26	1,22	1,18	1,11	1,04	1,09	1,06	1,03	0,98	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,85	0,78
	20	1,24	1,20	1,15	1,08	1,01	1,06	1,03	1,00	0,95	0,90	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,74
	25						1,03	1,00	0,97	0,92	0,87	0,86	0,84	0,83	0,80	0,78	0,70
	30								0,94	0,89	0,83	0,82	0,81	0,79	0,77	0,74	0,65
	35													0,75	0,72	0,70	0,60
	40																0,55
60	5	1,33	1,28	1,24	1,17	1,10	1,15	1,12	1,09	1,05	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,84
	10	1,30	1,26	1,21	1,14	1,07	1,12	1,09	1,06	1,02	0,97	0,96	0,94	0,93	0,90	0,88	0,80
	15	1,28	1,23	1,19	1,12	1,04	1,09	1,06	1,03	0,98	0,93	0,92	0,91	0,89	0,87	0,84	0,76
	20	1,25	1,21	1,16	1,09	1,01	1,06	1,03	1,00	0,95	0,90	0,89	0,87	0,86	0,83	0,80	0,72
	25						1,03	1,00	0,97	0,92	0,86	0,85	0,83	0,82	0,79	0,76	0,67
	30								0,93	0,88	0,82	0,81	0,79	0,78	0,75	0,72	0,62
	35													0,73	0,70	0,67	0,57
	40																0,51

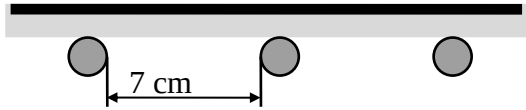


Tabela 16 Korekcijski faktor "f_2" za preračunavanje tokovne obremenitve trižilnih[1]) kablov v trifaznem sistemu v odvisnosti od števila kablov v istem jarku, specifične toplotne upornosti zemljišča in faktorja obremenitve pri linijski razporeditvi z medsebojnim razmikom kablov 7 cm(VDE 276-1000 tabela 9)

1	2	3					4					5					6				
Vrsta izolac. kabla	Štev. kablov	Specifična toplotna upornost zemljišča v K.m/W																			
		0,7					1,0					1,5					2,5				
		Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve				
		0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0
XLPE kabel[2]) 0,6/1kV in 6/10kV	1	1,02	1,03	0,99	0,94	0,89	1,06	1,05	1,00	0,94	0,89	1,09	1,06	1,01	0,94	0,89	1,11	1,07	1,02	0,95	0,89
	2	0,95	0,89	0,84	0,77	0,72	0,98	0,91	0,85	0,78	0,72	0,99	0,92	0,86	0,78	0,72	1,01	0,94	0,87	0,79	0,72
	3	0,86	0,80	0,74	0,68	0,62	0,89	0,81	0,75	0,68	0,62	0,90	0,83	0,77	0,69	0,62	0,92	0,84	0,77	0,69	0,62
	4	0,82	0,75	0,69	0,63	0,57	0,84	0,76	0,70	0,63	0,57	0,85	0,78	0,71	0,63	0,57	0,86	0,78	0,72	0,64	0,57
	5	0,78	0,71	0,65	0,59	0,53	0,80	0,72	0,66	0,59	0,53	0,81	0,73	0,67	0,59	0,53	0,82	0,74	0,67	0,60	0,53
	6	0,75	0,68	0,63	0,56	0,51	0,77	0,69	0,63	0,56	0,51	0,78	0,70	0,64	0,57	0,51	0,79	0,71	0,65	0,57	0,51
	8	0,71	0,64	0,59	0,52	0,47	0,72	0,65	0,59	0,52	0,47	0,73	0,66	0,60	0,52	0,47	0,74	0,66	0,60	0,53	0,47
	10	0,68	0,61	0,56	0,49	0,44	0,69	0,62	0,56	0,50	0,44	0,70	0,63	0,57	0,50	0,44	0,71	0,63	0,57	0,50	0,44
PVC kabel[2]) 0,6/1 kV		Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve				
		0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0
	1	0,91	0,92	0,94	0,94	0,89	0,97	0,97	1,00	0,94	0,89	1,04	1,03	1,01	0,94	0,89	1,13	1,07	1,02	0,95	0,89
	2	0,86	0,87	0,85	0,77	0,72	0,91	0,90	0,86	0,78	0,72	0,97	0,93	0,87	0,78	0,72	1,01	0,94	0,88	0,79	0,72
	3	0,82	0,80	0,75	0,68	0,62	0,86	0,82	0,76	0,68	0,62	0,91	0,84	0,77	0,69	0,62	0,92	0,84	0,78	0,69	0,62
	4	0,80	0,76	0,70	0,63	0,57	0,84	0,77	0,71	0,63	0,57	0,86	0,78	0,72	0,63	0,57	0,87	0,79	0,73	0,64	0,57
	5	0,78	0,72	0,66	0,59	0,53	0,81	0,73	0,67	0,59	0,53	0,81	0,74	0,68	0,59	0,53	0,82	0,75	0,68	0,60	0,53
	6	0,76	0,69	0,64	0,56	0,51	0,77	0,70	0,64	0,56	0,51	0,78	0,71	0,65	0,57	0,51	0,79	0,72	0,65	0,57	0,51
	8	0,72	0,65	0,59	0,52	0,47	0,73	0,66	0,60	0,52	0,47	0,74	0,67	0,61	0,52	0,47	0,75	0,67	0,61	0,53	0,47
	10	0,69	0,62	0,57	0,49	0,44	0,70	0,63	0,57	0,50	0,44	0,71	0,64	0,58	0,50	0,44	0,71	0,64	0,58	0,50	0,44

[1]) v trifaznem sistemu veljajo te vrednosti tudi za 4 in 5 žilne kable¸

[2]) v enofaznem sistemu veljajo te vrednosti tudi za enožilne kable 0,6/1 kV

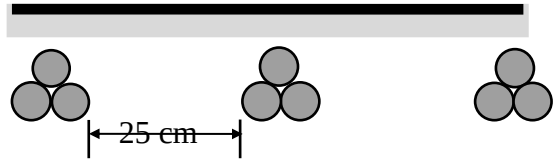


Tabela 17 Korekcijski faktor "f_2" za preračunavanje tokovne obremenitve enožilnih kablov trifaznega sistema položenih v obliki trikotnika z medsebojnim razmikom sistemov 25 cm v odvisnosti od števila sistemov v istem jarku specifične upornosti zemljišča in faktorja obremenitve (VDE 276-1000 tabela 7)

1	2	3					4					5					6				
Vrsta izolac. Kabla	Štev. sistemov	Specifična toplotna upornost zemljišča v K.m/W																			
		0,7					1,0					1,5					2,5				
		Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve				
		0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0
XLPE Kabel 0,6/1kV do 18/30kV	1	1,09	1,04	0,99	0,93	0,87	1,11	1,05	1,00	0,93	0,87	1,13	1,07	1,01	0,94	0,87	1,17	1,09	1,03	0,94	0,87
	2	1,01	0,94	0,89	0,82	0,75	1,02	0,95	0,89	0,82	0,75	1,04	0,97	0,90	0,82	0,75	1,06	0,98	0,91	0,83	0,75
	3	0,94	0,87	0,81	0,74	0,67	0,95	0,88	0,82	0,74	0,67	0,97	0,89	0,82	0,74	0,67	0,99	0,90	0,83	0,74	0,67
	4	0,91	0,84	0,78	0,70	0,64	0,92	0,84	0,78	0,70	0,64	0,93	0,85	0,79	0,70	0,64	0,95	0,86	0,79	0,71	0,64
	5	0,88	0,80	0,74	0,67	0,60	0,89	0,81	0,75	0,67	0,60	0,90	0,82	0,75	0,76	0,60	0,91	0,83	0,76	0,67	0,60
	6	0,86	0,79	0,72	0,65	0,59	0,87	0,79	0,73	0,65	0,59	0,88	0,80	0,73	0,65	0,59	0,89	0,81	0,74	0,65	0,59
	8	0,83	0,76	0,70	0,62	0,56	0,84	0,76	0,70	0,62	0,56	0,85	0,77	0,70	0,62	0,56	0,86	0,78	0,71	0,62	0,56
	10	0,81	0,74	0,68	0,60	0,54	0,82	0,74	0,68	0,60	0,54	0,83	0,75	0,68	0,61	0,54	0,84	0,76	0,69	0,61	0,54
		Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve				
		0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0
PVC Kabel 0,6/1k do 6/10kV	1	1,01	1,02	0,99	0,93	0,87	1,04	1,05	1,00	0,93	0,87	1,07	1,06	1,01	0,94	0,87	1,11	1,08	1,01	0,94	0,87
	2	0,97	0,95	0,89	0,82	0,75	1,00	0,96	0,90	0,82	0,75	1,03	0,97	0,91	0,82	0,75	1,06	0,98	0,92	0,83	0,75
	3	0,94	0,88	0,82	0,74	0,67	0,97	0,88	0,82	0,74	0,67	0,97	0,89	0,83	0,74	0,67	0,98	0,90	0,84	0,74	0,67
	4	0,91	0,84	0,78	0,70	0,64	0,92	0,85	0,79	0,70	0,64	0,93	0,86	0,79	0,70	0,64	0,95	0,87	0,80	0,71	0,64
	5	0,88	0,81	0,75	0,67	0,60	0,89	0,81	0,75	0,67	0,60	0,90	0,82	0,76	0,76	0,60	0,91	0,83	0,77	0,67	0,60
	6	0,86	0,79	0,73	0,65	0,59	0,87	0,79	0,73	0,65	0,59	0,88	0,81	0,74	0,65	0,59	0,89	0,81	0,75	0,65	0,59
	8	0,83	0,76	0,70	0,62	0,56	0,84	0,76	0,70	0,62	0,56	0,85	0,78	0,71	0,62	0,56	0,86	0,78	0,72	0,62	0,56
	10	0,82	0,75	0,69	0,60	0,54	0,82	0,74	0,68	0,60	0,54	0,83	0,76	0,69	0,61	0,54	0,84	0,76	0,70	0,61	0,54

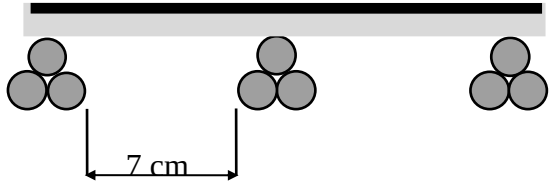


Tabela 18 Korekcijski faktor "f_2" za preračunavanje tokovne obremenitve enožilnih kablov trifaznega sistema, položenih v obliki trikotnika z medsebojnim razmikom sistemov 7 cm, v odvisnosti od števila sistemov v istem rovu, specifične upornosti zemljišča in faktorja obremenitve (VDE 276-1000 tabela 6)

1	2	3					4					5					6				
Vrsta izolac. Kabla	Št. siste mov	Specifična toplotna upornost zemljišča v K.m/W																			
		0,7					1,0					1,5					2,5				
		Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve				
		0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0
XLPE Kabel 0,6/1kV Do 18/30kV	1	1,09	1,04	0,99	0,93	0,87	1,11	1,05	1,00	0,93	0,87	1,13	1,07	1,01	0,94	0,87	1,17	1,09	1,03	0,94	0,87
	2	0,97	0,90	0,84	0,77	0,71	0,98	0,91	0,85	0,77	0,71	1,00	0,92	0,86	0,77	0,71	1,02	0,94	0,87	0,78	0,71
	3	0,88	0,80	0,74	0,67	0,61	0,89	0,82	0,75	0,67	0,61	0,90	0,82	0,76	0,68	0,61	0,92	0,83	0,76	0,68	0,61
	4	0,83	0,75	0,69	0,62	0,56	0,84	0,76	0,70	0,62	0,56	0,85	0,77	0,70	0,62	0,56	0,82	0,78	0,71	0,63	0,56
	5	0,79	0,71	0,65	0,58	0,52	0,80	0,72	0,66	0,58	0,52	0,80	0,73	0,66	0,58	0,52	0,81	0,73	0,67	0,59	0,52
	6	0,76	0,68	0,62	0,55	0,50	0,77	0,69	0,63	0,55	0,50	0,77	0,70	0,63	0,56	0,50	0,78	0,70	0,64	0,56	0,50
	8	0,72	0,64	0,58	0,51	0,46	0,72	0,65	0,59	0,52	0,46	0,73	0,65	0,59	0,52	0,46	0,74	0,66	0,59	0,52	0,46
	10	0,69	0,61	0,56	0,49	0,44	0,69	0,62	0,56	0,49	0,44	0,70	0,62	0,56	0,49	0,44	0,70	0,63	0,57	0,49	0,44
		Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve				
		0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0
PVC Kabel 0,6/1kV Do 6/10kV	1	1,01	1,02	0,99	0,93	0,87	1,04	1,05	1,00	0,93	0,87	1,07	1,06	1,01	0,94	0,87	1,11	1,08	1,01	0,94	0,87
	2	0,94	0,89	0,84	0,77	0,71	1,97	0,91	0,85	0,77	0,71	0,99	0,92	0,86	0,77	0,71	1,01	0,93	0,87	0,78	0,71
	3	0,86	0,79	0,74	0,67	0,61	0,89	0,81	0,75	0,67	0,61	0,90	0,83	0,76	0,68	0,61	0,91	0,83	0,77	0,68	0,61
	4	0,82	0,75	0,69	0,62	0,56	0,84	0,76	0,70	0,62	0,56	0,85	0,77	0,71	0,62	0,56	0,86	0,78	0,71	0,63	0,56
	5	0,78	0,71	0,65	0,58	0,52	0,80	0,72	0,66	0,58	0,52	0,80	0,73	0,66	0,58	0,52	0,81	0,73	0,67	0,59	0,52
	6	0,75	0,68	0,62	0,55	0,50	0,77	0,69	0,63	0,55	0,50	0,77	0,70	0,64	0,56	0,50	0,78	0,70	0,64	0,56	0,50
	8	0,71	0,64	0,58	0,51	0,46	0,72	0,65	0,59	0,52	0,46	0,73	0,65	0,59	0,52	0,46	0,73	0,66	0,60	0,52	0,46
	10	0,68	0,61	0,55	0,49	0,44	0,69	0,62	0,56	0,49	0,44	0,69	0,62	0,56	0,49	0,44	0,70	0,63	0,57	0,49	0,44

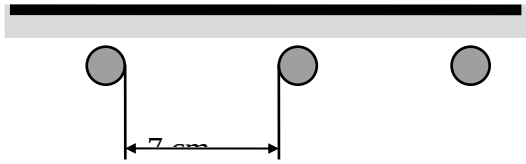


Tabela 19 Korekcijski faktor "f_2" za preračunavanje tokovne obremenitve enožilnih kablov trifaznega sistema, položenih v liniji z medsebojnim razmikom sistemov 7 cm, v odvisnosti od števila sistemov v istem jarku, specifične upornosti zemljišča in faktorja obremenitve (VDE 276-1000 tabela 8)

1	2	3					4					5					6				
Vrsta izolac. Kabla	Št. siste mov	Specifična toplotna upornost zemljišča v K.m/W																			
		0,7					1,0					1,5					2,5				
		Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve				
		0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0
XLPE Kabel 0,6/1kV Do 18/30kV	1	1,08	1,05	0,99	0,91	0,85	1,13	1,07	1,00	0,92	0,85	1,18	1,09	1,01	0,92	0,85	1,19	1,11	1,03	0,93	0,85
	2	1,01	0,93	0,86	0,77	0,71	1,03	0,94	0,87	0,78	0,71	1,05	0,95	0,88	0,78	0,71	1,06	0,96	0,88	0,79	0,71
	3	0,92	0,84	0,77	0,69	0,62	0,93	0,85	0,77	0,69	0,62	0,95	0,86	0,78	0,69	0,62	0,96	0,86	0,79	0,69	0,62
	4	0,88	0,80	0,73	0,65	0,58	0,89	0,80	0,73	0,65	0,58	0,90	0,81	0,74	0,65	0,58	0,91	0,82	0,74	0,65	0,58
	5	0,84	0,76	0,69	0,61	0,55	0,85	0,77	0,70	0,61	0,55	0,87	0,78	0,70	0,62	0,55	0,87	0,78	0,71	0,62	0,55
	6	0,82	0,74	0,67	0,59	0,53	0,83	0,75	0,68	0,60	0,53	0,84	0,75	0,68	0,60	0,53	0,85	0,76	0,69	0,60	0,53
	8	0,79	0,71	0,64	0,57	0,51	0,80	0,71	0,65	0,57	0,51	0,81	0,72	0,65	0,57	0,51	0,81	0,72	0,65	0,57	0,51
	10	0,77	0,69	0,62	0,55	0,49	0,78	0,69	0,63	0,55	0,49	0,78	0,70	0,63	0,55	0,49	0,79	0,70	0,63	0,55	0,49
		Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve					Faktor obremenitve				
		0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0
PVC Kabel 0,6/1kV Do 6/10kV	1	0,96	0,97	0,98	0,91	0,85	1,01	1,01	1,00	0,92	0,85	1,07	1,05	1,01	0,92	0,85	1,16	1,10	1,02	0,93	0,85
	2	0,92	0,89	0,86	0,77	0,71	1,96	0,94	0,87	0,78	0,71	1,00	0,95	0,88	0,78	0,71	1,05	0,97	0,89	0,79	0,71
	3	0,88	0,84	0,77	0,69	0,62	0,91	0,85	0,78	0,69	0,62	0,95	0,86	0,79	0,69	0,62	0,96	0,87	0,79	0,69	0,62
	4	0,86	0,80	0,73	0,65	0,58	0,89	0,81	0,74	0,65	0,58	0,90	0,82	0,74	0,65	0,58	0,91	0,82	0,75	0,65	0,58
	5	0,84	0,76	0,70	0,61	0,55	0,85	0,77	0,70	0,61	0,55	0,87	0,78	0,71	0,62	0,55	0,87	0,79	0,71	0,62	0,55
	6	0,82	0,74	0,68	0,59	0,53	0,83	0,75	0,68	0,60	0,53	0,84	0,76	0,69	0,60	0,53	0,85	0,76	0,69	0,60	0,53
	8	0,79	0,71	0,65	0,57	0,51	0,80	0,72	0,65	0,57	0,51	0,81	0,72	0,65	0,57	0,51	0,81	0,73	0,66	0,57	0,51
	10	0,77	0,69	0,63	0,55	0,49	0,78	0,70	0,63	0,55	0,49	0,79	0,70	0,63	0,55	0,49	0,79	0,71	0,64	0,55	0,49

Tabela 20 Faktor obremenitve v odvisnosti od temperature zemljine f_{Tze}

Faktor obremenitve v odvisnosti od temperature zemljine f_{Tze}								
Temperatura vodnika [°C]	Temperatura zemljine [°C]							
	10	15	20	25	30	35	40	45
90	1,07	1,04	1	0,95	0,93	0,89	0,84	0,80
65	1,11	1,05	1	0,94	0,88	0,82	0,74	0,66

Tabela 21 Faktor obremenitve v odvisnosti od toplotne upornosti zemljine f_R

Faktor obremenitve v odvisnosti od toplotne upornosti zemljine $f_{R\vartheta}$							
Toplotna upornost [K m/W]	0,7	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
$f_{R\vartheta}$	1,14	1,00	0,93	0,84	0,74	0,67	0,61

Tabela 22 Koeficient absorbcije sončnega obsevanja

Koeficient absorbcije sončnega obsevanja različnih materialov	
Material	α_o
Bitumen / juta	0.8
PVC	0.6
PE	0.4
Svinec	0.6

Tabela 23 Faktor obremenitve v odvisnosti od globine polaganja f_g.

Faktor obremenitve v odvisnosti od globine polaganja f_g	
globina [m]	faktor obrem.
0,50	1,10
0,70	1,05
0,90	1,01
1,00	1,00
1,20	0,98
1,50	0,95

Tabela 24 Dopustne vrednosti tokovnih gostot v bakrenem vodniku in zaslonu pri kratkem stiku

Vrednosti tokovnih gostot v bakrenih vodnikih in zaslonih pri kratkem stiku v trajanju 1 s J [A/mm^2]							
Dovoljena temperature		Temperatura vodnika					
v obratovanju	pri kratkem stiku	ob začetku kratkega stika					
		90°C	80°C	70°C	65°C	60°C	50°C
90°C (vodnik)	250°C (vodnik)	143	149	154	157	159	165
(70-80)°C (zaslon)	350°C (zaslon)		178	183	185	187	192

Tabela 25 Dopustne vrednosti tokovnih gostot v aluminijskem vodniku in zaslonu pri kratkem stiku

Vrednosti tokovnih gostot v aluminijskih vodnikih pri kratkem stiku v trajanju 1 s J [A/mm^2]							
Dovoljena temperature		Temperatura vodnika					
v obratovanju	pri kratkem stiku	ob začetku kratkega stika					
		90°C	80°C	70°C	65°C	60°C	50°C
90°C (vodnik)	250°C (vodnik)	94	98	102	104	105	109
(70-80)°C (zaslon)	350°C (zaslon)		117	120	121	123	127

Tabela 26 Kritične vrednosti kratkostičnih tokov za dimenzioniranje vodnika in zaslona

Način ozemljitve nevtralne točke		Maksimalni kratkostični tok v zunanjih vodnikih	Maksimalni kratkostični tokv zaslonih in plaščih
omrežje izolirano nevtralno točko		I_{k3}”	tok dvojnega zemeljskega stika I_{kEE}”<=(√3/2) I_{k3}”
omrežje s kompenzirano nevtralno točko		I_{k3}”	tok dvojnega zemeljskega stikaI_{kEE}”<=(√3/2) I_{k3}”
omrežje z nevtralno točko ozemljeno preko nizkoohmskega upora	pri direktni ozemljitvi vseh transformatorjev	I_{k2}” < 1,5 I_{k3}”	I_{k1}” < 1,5 I_{k3}”
	pri direktni ozemljitvi enega ali večih transformatorjev	I_{k3}”	I_{k1}” <I_{k3}”
	pri ozemljitvi preko dodatnih impedanc	I_{k3}”	I_{k1}” = (1 do 2) kA

I_{k1}” tok enopolnega kratkega stika
I_{k2}” tok dvopolnega kratkega stika
I_{k3}” tok tripolnega kratkega stika (označen tudi z I_k”)
I_{kEE}” tok dvojnega zemeljskega stika

Tabela 27 Primer zmanjšanja prenosne kapacitete obravnavanih 110 kV kablovodov zaradi obojestransko ozemljenih kovinskih zaslonov (brez korekcijskih faktorjev polaganja)

110 kV kablovod XLPE				Način ozemljitve kovinskih zaslonov (95 mm^2)		Zmanjšanje prenosne zmogljivosti
vodnik Cu		formacija		enostransko	obojestransko	
630 mm^2	I_{max}[A]			925	700	24%
				865	805	9%

Tabela 28 Največje dopustne vrednosti ohmske upornosti vodnikov za NN in VN kable

Vrsta Izolacije	Naz.delovna temperatura vodnika v °C	Naz. napetost, oblika vodnikov in tip kabla	Število žil in prerez vodnika mm^2	Ohmska upornost vodnika R (Ω /km)	
				Cu	Al
PVC	70	0,6 / 1 kV; okrogli in sektorski[1)] vodniki; Tip N(A)YY	.... x 25	0,722	1,2
			.... x 35	0,524	0,876
			.... x 50	0,387	0,641
			.... x 70	0,268	0,443
			.... x 95	0,193	0,320
			.... x 120	0,153	0,253
			.... x 150	0,124	0,206
			.... x 185	0,0991	0,164
			.... x 240	0,0754	0,125
XLPE		6 / 10 kV; okrogli vodnik; Tip N(A)2XSY N(A)2XS2Y	1 x 25	0,9271	1,5385
			1 x 35	0,6680	1,1130
			1 x 50	0,4935	0,8220
			1 x 70	0,3420	0,5680
			1 x 95	0,2461	0,4105
			1 x 120	0,1956	0,3247
			1 x 150	0,1586	0,2643
			1 x 185	0,1270	0,2107
			1 x 240	0,0970	0,1608
XLPE	90	6 / 10 kV; okrogli vodniki; Tip N(A)2XSY N(A)2XS2Y	3 x 25	0,9271	1,5385
			3 x 35	0,6680	1,1130
			3 x 50	0,4935	0,8220
			3 x 70	0,3420	0,5680
			3 x 95	0,2468	0,4107
			3 x 120	0,1960	0,3249
			3 x 150	0,1593	0,2648
			3 x 185	0,1279	0,2113
			3 x 240	0,0984	0,1616
XLPE	90	12 / 20 kV, 18 / 30 kV (20 / 35 kV); okrogli vodnik Tip N(A)2XSY N(A)2XS2Y	1 x 25	0,927	1,540
			1 x 35	0,655	1,100
			1 x 50	0,483	0,804
			1 x 70	0,334	0,557
			1 x 95	0,241	0,401
			1 x 120	0,191	0,318
			1 x 150	0,156	0,259
			1 x 185	0,124	0,206
			1 x 240	0,0944	0,156

[1)] sektorski vodnik od 50 mm^2 dalje
.... - večžilni kabel

Tabela 29 Orientacijski kataloški podatki za SN kable različnih konstrukcij pri obratovalni frekvenci 50 Hz. Pri enožilnih kablih veljajo podatki pri obojestransko ozemljenih kovinskih zaslonih

Vrsta izolacije	Naz. napetost, oblika vodnika in tip kabla	Število žil in prerez vodnikov mm^2	Induktivna upornost kabla pri 50 Hz v Ω/km, faza	
PVC	0,6 / 1 kV; okrogli in sektorski[1)] vodniki; Tip N(A)YY	4 x 25	0,086	
		4 x 35	0,083	
		4 x 50	0,083	
		4 x 70	0,082	
		4 x 95	0,082	
		4 x 120	0,080	
		4 x 150	0,080	
		4 x 185	0,080	
		4 x 240	0,079	
XLPE	0,6 / 1 kV; okrogli in sektorski[1] vodniki; Tip N(A)2XY	4 x 25	0,081	
		4 x 35	0,081	
		4 x 50	0,076	
		4 x 70	0,075	
		4 x 95	0,073	
		4 x 120	0,073	
		4 x 150	0,072	
		4 x 185	0,072	
		4 x 240	0,072	
XLPE	6 / 10 kV; okrogli vodniki; Tip N(A)2XSY N(A)2XS2Y	3 x 25	0,125	
		3 x 35	0,118	
		3 x 50	0,110	
		3 x 70	0,104	
		3 x 95	0,099	
		3 x 120	0,096	
		3 x 150	0,093	
		3 x 185	0,090	
		3 x 240	0,087	
			linija	trikot
XLPE	12 / 20 kV; okrogli vodnik; Tip N(A)2XSY N(A)2XS2Y	1 x 25	0,25	0,17
		1 x 35	0,24	0,15
		1 x 50	0,23	0,13
		1 x 70	0,22	0,13
		1 x 95	0,20	0,12
		1 x 120	0,20	0,12
		1 x 150	0,19	0,11
		1 x 185	0,19	0,11
		1 x 240	0,18	0,10

XLPE	18 / 30 kV (20 / 35 kV); okrogli vodnik; Tip N(A)2XSY N(A)2XS2Y	1 x 25	0,25	0,18
		1 x 35	0,24	0,18
		1 x 50	0,23	0,15
		1 x 70	0,22	0,14
		1 x 95	0,21	0,13
		1 x 120	0,20	0,13
		1 x 150	0,20	0,13
		1 x 185	0,19	0,12
		1 x 240	0,19	0,12

[1]) sektorski vodnik od 50 mm^2 dalje¸

Tabela 30 Vrednosti obratovalne kapacitivnosti SN kablov

Vrsta izolacije	Naz. napetost, oblika vodnikov in tip kabla	Število žil in prerez vodnika mm^2	Obratovalna kapacitivnost µF/km
XLPE	6 / 10 kV; okrogli vodniki; Tip N(A)2XSY N(A)2XS2Y	3 x 25	0,21
		3 x 35	0,23
		3 x 50	0,25
		3 x 70	0,29
		3 x 95	0,32
		3 x 120	0,35
		3 x 150	0,39
		3 x 185	0,42
		3 x 240	0,47
XLPE	12 / 20 kV; okrogli vodnik; Tip N(A)2XSY N(A)2XS2Y	1 x 25	0,14
		1 x 35	0,16
		1 x 50	0,18
		1 x 70	0,20
		1 x 95	0,22
		1 x 120	0,24
		1 x 150	0,26
		1 x 185	0,28
		1 x 240	0,31
XLPE	18 / 30 kV (20 / 35 kV); okrogli vodnik; Tip N(A)2XSY N(A)2XS2Y	1 x 25	0,11
		1 x 35	0,12
		1 x 50	0,12
		1 x 70	0,14
		1 x 95	0,16
		1 x 120	0,18
		1 x 150	0,19
		1 x 185	0,20
		1 x 240	0,22

Tabela 31 Nična impedanca enožilnih SN kablov za izračun zemeljskih kratkih stikov v omrežju

Vrsta izola-cije	Naz. napetost, oblika vodnikov in tip kabla	Število žil in prerez vodnika	Nična impedanca za enožilne kable			
		mm²	Cu		Al	
			linija	trikot	linija	trikot
XLPE	6 / 10 kV okrogli vodnik Tip N(A)2XSY N(A)2XS2Y	1 x 25	1,88 + j 0,68	1,86 + j 0,63	2,49 + j 0,68	2,48 + j 0,63
		1 x 35	1,61 + j 0,67	1,61 + j 0,63	2,06 + j 0,67	2,05 + j 0,63
		1 x 50	1,44 + j 0,66	1,43 + j 0,62	1,77 + j 0,66	1,63 + j 0,62
		1 x 70	1,28 + j 0,66	1,27 + j 0,61	1,50 + j 0,66	1,50 + j 0,61
		1 x 95	1,18 + j 0,65	1,17 + j 0,61	1,34 + j 0,65	1,34 + j 0,61
		1 x 120	1,12 + j 0,65	1,12 + j 0,61	1,25 + j 0,65	1,25 + j 0,61
		1 x 150	0,97 + j 0,38	0,91 + j 0,33	1,07 + j 0,38	1,01 + j 0,33
		1 x 185	0,93 + j 0,37	0,87 + j 0,33	1,02 + j 0,37	0,96 + j 0,33
		1 x 240	0,90 + j 0,37	0,85 + j 0,33	0,96 + j 0,37	0,90 + j 0,33
XLPE	12 / 20 kV okrogli vodnik Tip N(A)2XSY N(A)2XS2Y	1 x 25	1,86 + j 0,69	1,87 + j 0,65	2,47 + j 0,69	2,47 + j 0,65
		1 x 35	1,50 + j 0,70	1,57 + j 0,68	1,96 + j 0,70	2,01 + j 0,68
		1 x 50	1,32 + j 0,69	1,39 + j 0,67	1,64 + j 0,69	1,71 + j 0,67
		1 x 70	1,18 + j 0,69	1,24 + j 0,66	1,39 + j 0,69	1,46 + j 0,66
		1 x 95	1,06 + j 0,69	1,15 + j 0,66	1,24 + j 0,69	1,30 + j 0,66
		1 x 120	1,03 + j 0,68	1,09 + j 0,66	1,15 + j 0,68	1,22 + j 0,66
		1 x 150	0,84 + j 0,39	0,86 + j 0,37	0,94 + j 0,39	0,96 + j 0,37
		1 x 185	0,80 + j 0,39	0,83 + j 0,37	0,88 + j 0,39	0,91 + j 0,37
		1 x 240	0,77 + j 0,39	0,80 + j 0,37	0,83 + j 0,39	0,86 + j 0,37
XLPE	18 / 30 kV (20 / 35 kV) okrogli vodnik Tip N(A)2XSY N(A)2XS2Y	1 x 25	1,84 + j 0,71	1,84 + j 0,67	2,46 + j 0,71	2,45 + j 0,67
		1 x 35	1,59 + j 0,71	1,58 + j 0,66	1,96 + j 0,78	2,02 + j 0,66
		1 x 50	1,31 + j 0,71	1,38 + j 0,69	1,63 + j 0,71	1,69 + j 0,69
		1 x 70	1,17 + j 0,71	1,23 + j 0,69	1,38 + j 0,71	1,44 + j 0,69
		1 x 95	1,06 + j 0,70	1,14 + j 0,68	1,24 + j 0,70	1,28 + j 0,68
		1 x 120	1,02 + j 0,70	1,09 + j 0,68	1,15 + j 0,70	1,21 + j 0,68
		1 x 150	0,84 + j 0,41	0,86 + j 0,39	0,94 + j 0,41	0,95 + j 0,39
		1 x 185	0,79 + j 0,41	0,83 + j 0,39	0,88 + j 0,41	0,90 + j 0,39
		1 x 240	0,77 + j 0,41	0,83 + j 0,38	0,83 + j 0,41	0,86 + j 0,38

Tabela 32 Nična impedanca trižilnih SN kablov za izračun zemeljskih kratkih stikov v omrežju

Vrsta izolacije	Naz. napetost, oblika vodnikov in tip kabla	Število žil, prerez in oblika vodnika	Nična impedanca za trižilne kable	
		mm^2	Cu	Al
XLPE	6 / 10 kV okrogli vodniki; Tip N(A)2XSY N(A)2XS2Y	3 x 25	1,85 + j 0,64	2,46 + j 0,64
		3 x 35	1,60 + j 0,62	2,05 + j 0,62
		3 x 50	1,43 + j 0,61	1,76 + j 0,61
		3 x 70	1,27 + j 0,61	1,50 + j 0,61
		3 x 95	1,17 + j 0,60	1,34 + j 0,60
		3 x 120	1,12 + j 0,60	1,25 + j 0,60
		3 x 150	0,89 + j 0,32	1,00 + j 0,32
		3 x 185	0,86 + j 0,32	0,95 + j 0,32
		3 x 240	0,83 + j 0,32	0,89 + j 0,32

Tabela 33 Najmanjše dopustne medsebojne oddaljenosti med SN kabli

Vrsta kabla	Medsebojna oddaljenost (cm)
TK poleg TK	-
Signalni poleg elektroenergetskega	-
Signalni poleg TK	5
Elektroenergetski NN kabli (do 1 kV) med seboj	7
Elektroenergetski kabli 10 kV poleg drugih elektroenergetskih kablov	15
Elektroenergetski kabli 20 kV in 30 kV poleg drugih elektroenergetskih kablov	20

Tabela 34 Velikost oznake o prepovedi sidranja v odvisnosti od širine vodotoka na mestu prehoda

Širina vodne poti	Širina oznake (mm)	Višina oznake (mm)
do 200 m	800	1000
od 200 do 500 m	1600	2000
nad 500 m	2400	3000

Tabela 35 Dopustne vlečne sile pri SN kablih (SIST HD 620 S2 Part 10-C-25)

Način polaganja	Tip kabla	Dopustna vlečna sila F_d in napetost σ
Uporaba vlečne nogavice	N(A)YY, N(A)YCWY, N(A)2XY, N(A)2XSY	$F_d = 3 \times D^2$ [N]
Uporaba vlečne Sponke	vodnik iz bakra	$\sigma = 50\ N/mm^2$ ($F_d = 50\ N/mm^2 \cdot A$)
	vodnik iz aluminija	$\sigma = 30\ N/mm^2$ ($F_d = 30\ N/mm^2 \cdot A$)

D - zunanji premer kabla (mm)
A – prerez vodnika $(mm)^2$

Tabela 36 Minimalni dopustni polmer krivljenja NN in SN kablov pri odvijanju in transportu kabla VDE 276-603:2010-03 (German version HD 603 S1 1994/A3:2007 Parts 0, 1, 3G and 5G)

Kabli	Nazivna napetost (kV)	Vrsta izolacije	
		PVC	XLPE
Enožilni kabli	0,6/1 6/10 -18/30	15 x D (Part 3G-15)	15 x D (Part 5G-15) 15 x D (Part 10 C-24)
Večžilni kabli	0,6/1 6/10 -18/30	12 x D (Part 3G-15) -	12 x D (Part 5G-15 15 x D (Part 10 C-24)

(D - zunanji premer kabla v mm)

Tabela 37 Pregled tipskih preskusov SN kablov v odvisnosti od vrste kablov

Št.	Vrsta kabla in nazivna napetost	Vrsta tipskega preskusa	Standardi za preskuse		
			SIST	IEC	DIN EN/VDE
1.	Kabel z izolacijo in zunanjim plaščem iz termoplastičnega PVC U_o/U = 0,6/1 kV	Osnovni standard	HD 603 S1/A3	60502-1 60502 SER	DIN VDE 276-603
		Odpornost izolacije	HD 605 S3		DIN VDE 276-605
		Visokonapetostni preskus	HD 605 S3		DIN VDE 276-605
		Površinska odpornost zunanjega plašča	HD 605 S3		DIN VDE 276-605
		PRESKUŠANJE IZOLACIJE			
		Preskus mehanskih lastnosti izolacije pred staranjem in po staranju v toplotni komori	EN 60811-501 EN 60811-401	60811-501 60811-401	DIN EN 60811-501 VDE 473-811-501 DIN EN 60811-401 VDE 473-811-401
		Izguba mase v peči	EN 60811-409	60811-409	DIN EN 60811-409 VDE 473-811-409
		Preskus termične stabilnosti	EN 60811-409	60811-409	DIN EN 60811-409 VDE 473-811-409
		Preskus pretržnega raztezka	EN 60811-506	60811-506	DIN EN 60811-506 VDE 473-811-506
		PRESKUŠANJE PLASTI			
		Preskus termoplastičnosti Preskus na toplotni udar	EN 60811-501 EN 60811-508	60811-501 60811-508	DIN EN 60811-501 VDE 473-811-501 DIN EN 60811-508 VDE 473-811-508
		Preskus upogibanja pri 20°C	EN 60811-506	60811-506	DIN EN 60811-506 VDE 473-811-506
		Preskus vpijanja vode	EN 60811-502	60811-502	DIN EN 60811-502 VDE 473-811-502
		PRESKUŠANJE ZUNANJEGA PLAŠČA			
		Preskusi zunanjega plašča pred in po staranju	EN 60811-501 EN 60811-401	60811-501 60811-401	DIN EN 60811-501 VDE 473-811-501 DIN EN 60811-401 VDE 473-811-401
		Preskus termoplastičnosti	EN 60811-508	60811-508	DIN EN 60811-508 VDE 473-811-508
		Raztezek plašča pri nizki temp.	EN 60811-506	60811-506	DIN EN 60811-506 VDE 473-811-506
		Izguba mase PVC plašča	EN 60811-409	60811-409	DIN EN 60811-409 VDE 473-811-409
		Toplotni šok PVC plašča	EN 60811-508	60811-508	DIN EN 60811-508 VDE 473-811-508
		Preskus termične stabilnosti PVC plašča	EN 60811-409	60811-409	DIN EN 60811-409 VDE 473-811-409
		Odpornost pred pokanjem PE plašča	EN 60811-605	60811-605	DIN VDE 276-605
		Vsebnost ogljika PE plašča	EN 60811-605	60811-605	DIN VDE 276-605
		PRESKUSI NA IZDELANEM KABLU			
		Odpornost na udarce pri nizki temp. pri kablih s PVC plaščem	EN 60811-506	60811-506	DIN EN 60811-506 VDE 473-811-506

		Preskus staranja celotnega kabla			
		Preskus trdote PE plašča	HD 605 S3		DIN VDE 276-605
		Preskus gorenja Širjenje ognja (pri kablu s PVC plaščem)	EN 60332-1-2		DIN EN 60332-1-2
		Preskus upogibanja pri 20°C za kable s PVC plaščem	EN 60811-506	60811-506	DIN EN 60811-506 VDE 473-811-506
		Preskus pri visoki temperaturi za kable s PVC plaščem	HD 605 S3		DIN VDE 276-605
2.	Kabel z izolacijo iz omreženega polietilena (XLPE) in zunanjim plaščem iz PVC ali PE U_o/U = 6/10 kV do 18/30 kV	Osnovni standard	HD 605 S3	60502-2	DIN VDE 276-620
		Preskus delnih razelektrenj	EN 60885-3	60885-3	481-885-3
		Preskus upogibanja in merjenje delnih razelektrenj	HD 605 S3 EN 60885-3	60885-3	276-605 481-885-3-3
		Merjenje dielektričnih izgub (tan δ) v odvisnosti od temp.	HD 620 S2	60502-2	276-620
		Preskus s cikličnim segrevanjem merjenjem delnih razelektrenj	HD 620 S2	60502-2	276-620
		Preskus z udarno napetostjo in preskus z izmenično napetostjo	EN 60230	60502-2	276-620
		Preskus z izmenično napetostjo		60502-2	
		Dolgotrajno preskušanje staranja določanjem prebojne trdnosti	HD 605 S3	60502-2	276-605
		PRESKUŠANJE IZOLACIJE			
		Preskus mehanskih lastnosti izolacije pred in po staranju v toplotni komori	EN 60811-501 EN 60811-401	60811-501 60811-401	DIN EN 60811-501 473-60811-501 DIN EN 60811-401 473-60811-401
		Preskus vpijanja vode izolacije	EN 60811-402	60811-401	DIN EN 60811-402 473-60811-402
		PRESKUŠANJE NA SLOJIH			
		Preskus krčenja izolacije	EN 60811-502	60811-502	DIN EN 60811-502 473-60811-502
		Preskus stopnje omreženosti polprevodnih slojev	EN 60811-507	60811-507	DIN EN 60811-507 473-60811-507
		PRESKUŠANJE ZUNANJEGA PLAŠČA			
		Preskusi zunanjega plašča pred in po staranju	EN 60811-501 EN 60811-508	60811-501 60811-508	DIN EN 811-501 473-60811-501 DIN EN 60811-508 473-60811-508
		Preskus termoplastičnosti			
		Preskus krčenja PE plaščev	EN 60811-503	60811-503	DIN EN 811-503 473-60811-503
		Raztezek plašča pri nizki temperaturi	EN 60811-505	60811-505	DIN EN 811-505 473-60811-505
		Izguba mase v pečici pri PVC plašču	EN 60811-409	60811-409	DIN EN 811-409 473-60811409
		Toplotni šok PVC plašča	EN 60811-509	60811-509	DIN EN 60811-509 473-60811-509
		Preskus termič. stabilnosti PVC plašča	EN 60811-405	60811-405	DIN EN 811-405 473-60811-509
		Odpornost pred pokanjem PE plašča	EN 60811-504	60811-504	DIN EN 60811-504 473-811-504

		Vsebnost ogljika PE plašča	EN 60811-605	60811-605	DIN EN 60811-605 473-0811-605
		PRESKUSI IZDELANEGA KABLA			
		Odpornost na udarce pri nizkih temperaturah pri kablih PVC plaščem	EN 60811-506	60811-506	DIN EN 60811-506 473-811-506
		Preskus staranja celotnega kabla	EN 60811-412	60811-412	DIN EN 60811-412 473-811-412
		Preskus trdote PE plašča	HD 605 S3		DIN VDE 276- 605
		Preskus gorenja Širjenje ognja (samo pri kablu s PVC plaščem)	EN 60332-1-2 +AMD 1:2015		DIN EN 60332-1-2 E DIN EN 60332-1-2/A12 VDE 482-332-1-2 VDE 482-332-1-2/A12
		Preskus vpijanja vode	HD 605 S3		DIN VDE 276- 605

Tabela 38 Pregled kosovnih preskusov SN kablov v odvisnosti od vrste kablov

Št.	Vrsta kabla in nazivna napetost	Vrsta kosovnega preskusa	Standardi za preskuse		
			SIST	IEC	DIN EN /VDE
1.	Kabel z izolacijo in zunanjim plaščem iz termoplastičnega PVC U_o/U = 0,6/1 kV	Osnovni standard	HD 603 S1/A3	60502-1 60502: SER	DIN VDE 276-603
		Meritev električne upornosti vodnika	HD 605 S3 EN 60228	60228	DIN EN 60228 VDE 295
		Preskus dielektrične trdnosti	HD 603 S1/A3 HD 605 S3	60502-1 60502: SER	DIN VDE 276-605
2.	Kabel z izolacijo omreženega polietilena (XLPE) in zunanjim plaščem iz PVC ali PE U_o/U = 6/10 kV do 18/30 kV	Osnovni standard	HD 620 S2	60502-2 60502: SER	DIN VDE 276-620
		Meritev električne upornosti vodnika	HD 605 S3 EN 60228	60228 60502: SER	DIN VDE 276-605 VDE 295
		Preskus dielektrične trdnosti	HD 605 S3		DIN VDE 276-605
		Meritev parcialnih praznitev	EN 60885-3	60885-3	DIN EN 60885-3 VDE 481-885-3

* pri kablih s PVC izolacijo črtana nazivna napetost 6/10 kV * črtana navedba (20/35 kV)

Tabela 39 Pregled vzorčnih preskusov SN kablov v odvisnosti od vrste kablov

Št.	Vrsta kabla in nazivna napetost	Vrsta vzorčnega preskusa	Predpisi za preskuse		
			SIST	IEC	DIN EN / VDE
1.	Kabel z izolacijo in zunanjim plaščem iz termoplastičnega PVC U_o/U = 0,6/1 kV	Osnovni standard	HD 603 S1/A3	60502-1 60502: SER	DIN VDE 276-603
		Preverjanje konstrukcije vodnika	EN 60811-501	60811-501	DIN EN 60811-501 VDE 473-811-501
		Preverjanje debeline izolacije in polprevodnih slojev	EN 60811-501	60811-501	DIN EN 60811-501 VDE 473-811-501
		Preverjanje kovinskega zaslona	HD 605 S2	60502-1 60502: SER	DIN VDE 276-605 DIN VDE 276-605
		Preverjanje zunanjega plašča	HD 605 S2 EN 60811-501	60811-501 +A1+A2	DIN VDE 276-605 DIN VDE 276-605 DIN EN 60811-501 VDE 473-811-501
2.	Kabel z izolacijo iz omreženega polietilena (XLPE) in zunanjim plaščem iz PVC ali PE U_o/U = 6/10 kV do 18/30 kV	Osnovni standard	HD 620 S2	60502-2 60502: SER	DIN VDE 276-620
		Preverjanje konstrukcije vodnika	HD 605 S2 EN 60811-501	60811-501 +A1+A2	DIN VDE 276-605 DIN VDE 276-605 DIN EN 60811-501 VDE 473-811-501
		Preverjanje debeline izolacije in polprevodnih slojev Meritev premera preko zunanjega polprevod. sloja	HD 605 S2 EN 60811-501	60811-501 +A1+A2	DIN VDE 276-605 DIN VDE 276-605 DIN EN 60811-501 VDE 473-811-501

		Preverjanje kovinskega zaslona	HD 605 S3		DIN VDE 276-605 DIN VDE 276-605
		Preverjanje zunanjega plašča	EN 60811-501	60811-501 +A1+A2	DIN EN 811-501 VDE 473-811-501
		Preskus stopnje omreženosti XLPE izolacije	EN 60811-507	60811-507	DIN EN 60811-507 VDE 473-811-507
		Preskušanje krčenja PE plašča	HD 605 S3		DIN VDE 276-605 DIN VDE 276-605
		Dolgotrajno preskušanje umetnega staranja na vzorcih ki se kontinuirano odvzemajo s proizvodnega procesa	HD 605 S3		DIN VDE 276-605 DIN VDE 276-605

Tabela 40 Kontrola dielektrične trdnosti novo položenih NN in SN kablov z enosmerno napetostjo, ki jih prikazuje tabela po vrstnem redu priključevanja napetosti iz priloge št. 33

Nazivna napetost kabla U_o/U (kV)	0,6/1	0,6/1	6/10	12/20	18/30 (20/35)
Preskusna napetost	Enosmerna preskusna napetost (kV) /Čas preskušanja (min)				
Vrsta izolacije	PVC	XLPE	XLPE	XLPE	XLPE
Standard					
VDE 276-603:2010-03 SIST HD 603 S1/A3:2007	15-30	15-30			
IEC60502-1, 60502: SER	15	15			
HD 620 S2 10-C			ni predvideno	ni predvideno	ni predvideno
IEC 60502-2: 60502: SER			15	15	15

Tabela 41 Vrednosti izmenične preskusne napetosti za novopoložene NN in SN kable

Nazivna napetost kabla U_o/U (kV)	0,6/1	0,6/1	6/10	12/20	18/30 (20/35)
Vrsta izolacije	PVC	XLPE	XLPE	XLPE	XLPE
Izmenična preskusna napetost 50 Hz(kV)	-	-	2 U_o	2 U_o	2 U_o
Čas preskušanja AC	-		60 min	60 min	60 min

(PVC kabli 0,6/1 kV v skladu s HD 603 S1/A3 Part 3 Section G)
(XLPE kabli 0,6/1 kV v skladu s HD 603 S1/A3 Part 5 Section G)
(XLPE kabli 6/10 kV – 18/30 kV v skladu z HD 620 S2 Part 10 Section C)

Tabela 42 Vrednosti preskusne napetosti frekvence 0,1 Hz za SN kable z izolacijo iz XLPE

Nazivna napetost kabla U_o/U (kV)	6/10	12/20	18/30 (20/35)
Vrsta izolacije	XLPE	XLPE	XLPE
Izmenična preskusna napetost ($3U_o$) frekvence 0,1 Hz (kV)	18	36	54(60)
Čas preskušanja (min)	60	60	60

Tabela 43 Pregled preskusov kabelskega pribora za napetosti od 3,6/6(7,2) kV do 20,8/36(42) kV (SIST HD 629.1 S3 :2019)

Zap št.	Vrstni red preskusov v skladu z: SIST HD 629.1 S3 PART 10-C	Spojke nad 6 kV*	Spojke 6 kV	Notranji končniki nad 6 kV	Zunanji končniki nad 6 kV	Vtični pribor nad 6 kV
1	Preskus z enosmerno napetostjo	x		x	x	x
2	Preskus z izmenično napetostjo v suhem	x		x	x	x
3	Preskus z izmenično napetostjo v mokrem	-	x	-	x	x
4	Preskus parcialnih praznitev	x		x	x	x
5	Preskus z udarno napetostjo pri povišani temperature	x		x	x	x
6	Preskus obremenitve v zraku s spremembami ciklusa	x 63 x	x	x 126 x	x 126 x	x 63 x
7	Preskus obremenitve v vodi s spremembami ciklusa	x 63 x	x	-	x 10 x	x 63 x
8	Preskus parcialnih praznitev pri povišani temperature	-			x	x
9	Preskus termične zdržljivosti kovinskega zaslona pri toku kratkega stika	x		x	x	x
10	Preskus termične zdržljivosti vodnika pri toku kratkega stika	x		x	x	x
11	Preskus dinamične zdržljivosti pri toku kratkega stika	x		x	x	x
12	Preskus z udarno napetostjo pri temperature okolice	x		x	x	x
13	Preskus v slani megli	-		-	x	-
14	Preskus razstavljivosti 5-krat	-				x
15	Preverjanje gotovih izdelkov	-	x	x	x	x
16	Meritev upornosti kovinskega zaslona					x
17	Meritev odvodnega toka	-				x
18	Meritev sile delovanja (operating force)	-				x
19	Meritev kapacitivnosti (Capacitive test point performance)	-				x

Tabela 44 Korekcijski faktor f_ϑ za polaganje v zrak pri temperaturi zraka različni od 30°C (DIN VDE 0276- 1000, tabela 12 oz. knjiga "Kabel und Leitungen Teil 2" tabela 4.2.12)

Korekcijski faktor f_ϑ zaradi odstopanja temperature zraka od nazivne vrednosti 30°C									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dovoljena obratovalna temperatura / ° C /	temperatura zraka / ° C /								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
90	1.15	1.12	1.08	1.04	1.00	0.96	0.91	0.87	0.82
80	1.18	1.14	1.10	1.05	1.00	0.95	0.89	0.84	0.77
70	1.22	1.17	1.12	1.06	1.00	0.94	0.87	0.79	0.71
65	1.25	1.20	1.13	1.07	1.00	0.93	0.85	0.76	0.65
60	1.29	1.22	1.15	1.08	1.00	0.91	0.82	0.71	0.58

Tabela 45 Minimalni odmiki pri približevanju in križanju ETK kabelske kanalizacije v lasti elektrodistribucijskih podjetij (EDP) z ostalimi podzemnim komunalnimi vodi

Vrsta objekta	Horizontalna oddaljenost (m)	Vertikalna oddaljenost (m)
TK kabel (tuj lastnik)	0,5	0,3
Optični TK kabel (last EDP)	0,07	0,1
EE kabel 0,4 kV(last EDP)	0,07	0,1
EE kabel do 20 kV (last EDP)	0,07	0,07
EE ozemljitev	0,5	0,5
Vodovod	0,6	0,5
Toplovod	0,5	0,8
Meteorna in fekalna kanalizacija	0,5	0,5
Plinovod s pritiskom do 1 bar	0,4	0,4
Plinovod s pritiskom do 16 bar	0,6	0,4
Plinovod s pritiskom nad 16 bar	1,5	0,4

Tabela 46 Pregled predpisanih bistvenih zahtev v skladu z določbami predpisov pri gradnji kablovodov

Bistvena zahteva po GZ in splošne zahteve	Predpis
Mehanska odpornost in stabilnost objektov	Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov (Ur. l. RS, št. 101/05 in 61/17 – GZ)
	Pravilnik o tehničnih predpisih za vzdrževanje jeklenih konstrukcij med eksploatacijo pri jeklenih nosilnih konstrukcijah (Ur. l. SFRJ, št. 6/65 in Uradni list RS, št. 61/17 – GZ)
Higienska in zdravstvena zaščita ter zaščita okolja	Zakon o varstvu okolja (Ur. l. RS, št. 39/06 – uradno prečiščeno besedilo, 49/06 – ZMetD, 66/06 – odl. US, 33/07 – ZPNačrt, 57/08 – ZFO-1A, 70/08, 108/09, 108/09 – ZPNačrt-A, 48/12, 57/12, 92/13, 56/15, 102/15, 30/16, 61/17 – GZ, 21/18 – ZNOrg in 84/18 – ZIURKOE)
	Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu za vire elektromagnetnega sevanja ter o pogojih za njegovo izvajanje (Ur. l. RS, št. 70/96, 41/04 – ZVO-1 in 17/11 – ZTZPUS-1)

	Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju (Ur. l. RS, št. 70/96 in 41/04 – ZVO-1)
	Uredba o odpadkih (Ur. l. RS, št. 37/15 in 69/15)
	Uredba o ravnanju z odpadki, ki nastanejo pri gradbenih delih (Ur. l. RS, št. 34/08)
	Uredba o ravnanju z embalažo in odpadno embalažo (Ur. l. RS, št. 84/06, 106/06, 110/07, 67/11, 68/11 – popr., 18/14, 57/15, 103/15, 2/16 – popr., 35/17, 60/18, 68/18 84/18 – ZIURKOE)
	Uredba o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov (Ur. l. RS, št. 34/08 in 61/11)
	Uredba o preprečevanju in zmanjševanju emisije delcev iz gradbišč (Ur. l. RS, št. 21/11)
Varnost pri uporabi	Pravilnik o obratovanju elektroenegetskih postrojev (Ur. l. RS, št. 56/16),
	Pravilnik o elektroenergetskih postrojih izmenične napetosti nad 1 kV (Ur. l. RS, št. 63/16)
	Pravilnik o tehničnih normativih za zaščito elektroenergetskih postrojev pred prednapetostjo (Ur. l. SFRJ, št. 7/71, 44/76 in Ur. l. RS, št. 61/17 – GZ)
	Pravilnik o zaščiti nizkonapetostnih omrežij in pripadajočih transformatorskih postaj (Ur. l. RS, št. 90/15)
	Pravilnik o spremembah pravilnika o tehničnih ukrepih za zaščito elektroenergetskih postrojev pred prednapetostjo (Ur. l. SFRJ, št. 44/76)
	Pravilnik o elektromagnetni združljivosti (Ur. l. RS, št. 39/16 in 9/20)
Zaščita pred hrupom	Pravilnik o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje (Ur. l. RS, št. 105/08)
	Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Ur. l. RS, št. 43/18 in 59/19)
Vgrajevanje preizkušenih in skladnih proizvodov	Zakon o gradbenih proizvodih (Ur. l. RS, št. 82/13)
	Zakon o tehničnih zahtevah za proizvode in o ugotavljanju skladnosti (Ur. l. RS, št. 17/11)
	Pravilnik o omogočanju dostopnosti električne opreme na trgu, ki je načrtovana za uporabo znotraj določenih napetostnih mej : Ur. l. RS, št. 39/16
Umeščanje v prostor in vzdrževanje	Pravilnik o pogojih in omejitvah gradenj, uporabe objektov ter opravljanja dejavnosti v območju varovalnega pasu elektroenergetskih omrežij (Ur. l. RS, št. 101/10 in 17/14 – EZ-1)

Tabela 47 Koeficenti trenja (informativni)

Material cevi	Material kab plašča	*K*t (kabel)	*K*t (kabelski snop)
PVC	PE ali PEHD	0,40	0,45
	PVC	0,50	0,60
	PCP (neopren guma)	0,90	1,50
PE ali PEHD	PE ali PEHD	0,25	0,85
	PVC	0,30	0,45
	PCP (neopren guma)	0,65	0,65
Fe	PE ali PEHD	0,50	0,50
	PVC	0,65	0,65
	PCP (neopren guma)	1,05	1,75
beton, steklo-cement	PE ali PEHD	0,70	0,70
	PVC	0,70	0,70
	PCP (neopren guma)	1,00	1,80

Tabela 48 Korektivni faktorji vlečnih sil (informativni) zaradi preloma trase

Kot preloma	15	30	45	60	75	90	105	120
*K*p	1,14	1,30	1,48	1,70	1,94	2,20	2,50	2,86

Tabela 49 Priporočene minimalne vrednosti presekov kablov pri prehodu DV/KBV

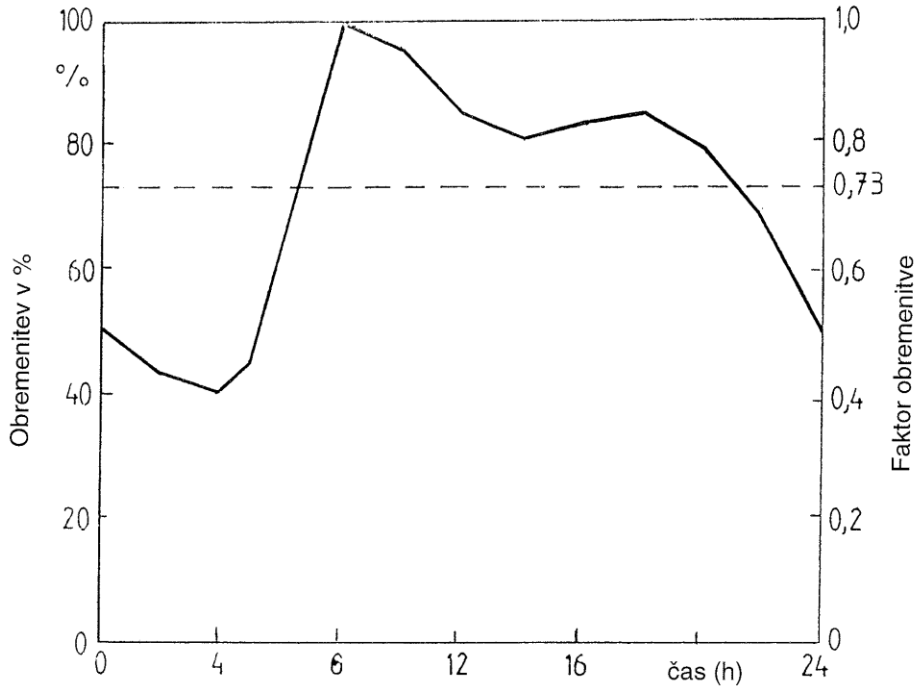
Nadzemni vodi	Podzemni kabel	Nadzemni kabel
Goli vodniki	Al	AlMgSI
Vodnik Al/Fe 35/6 mm^2	50 mm^2	70 mm^2
Vodnik Al/Fe 70/12 mm^2	95 mm^2	95 mm^2
Vodnik Al/Fe 95/15 mm^2 Vodniki Al/Fe 120/20 mm^2	150 mm^2	-

12 PRILOGA A

Priloga A 1 Konstrukcijske oznake kablov z izolacijo iz umetnih mas 278
Priloga A 2 Dnevni diagram obremenitve in faktor obremenitve 279
Priloga A 3 Običajna razporeditev vodov in postrojev na javnih površinah 280
Priloga A 4 Običajna razporeditev vodov in postrojev na javnih površinah 281
Priloga A 5 Običajna razporeditev pločnika v cone 282
Priloga A 6 Prerez kabelskega jarka za polaganje kabla nazivne napetosti U_o/U = 0,6/1 kV 283
Priloga A 7 Prerez kabelskega jarka za polaganje dveh ali več kablov U_o/U = 0,6/1 kV 284
Priloga A 8 Prerez kabelskega jarka za polaganje treh enožilnih kablov v en kabelski sistem nazivne napetosti U_o/U = 6/10 kV, 12/20 kV in 18/30 kV (20/35) kV 285
Priloga A 9 Prerez kabelskega jarka za polaganje dveh ali več kabelskih sistemov nazivne napetosti U_o/U = 6/10 kV, 12/20 kV in 18/30 kV (20/35) kV 286
Priloga A 10 Prerez kabelskega jarka za polaganje kablov nazivne napetosti U_o/U = 0,6/1 kV, 6/10 kV, 12/20 kV v skupni jarek 287
Priloga A 11 Prerez kabelskega jarka za polaganje treh enožilnih kablov nazivne napetosti U_o/U = 12/20 kV in PE cevi 2 x 50 mm za optični kabel 288
Priloga A 12 Prerez kabelskega jarka pri križanju s prometnimi potmi 289
Priloga A 13 Primer vzdolžnega prereza kabelskega jarka pri križanju s prometnimi potmi 290
Priloga A 14 Paralelni potek in približevanje elektroenergetskih kablov in vodovoda 291
Priloga A 15 Križanje elektroenergetskih kablov in vodovoda - kabel pod vodovodom 292
Priloga A 16 Križanje elektroenergetskih kablov in vodovoda - kabel nad vodovodom 293
Priloga A 17 Paralelni potek in približevanje elektroenergetskih kablov in plinovoda 294
Priloga A 18 Križanje elektroenergetskih kablov in plinovoda - kabel pod plinovodom 295
Priloga A 19 Križanje elektroenergetskih kablov in plinovoda - kabel nad plinovodom 296
Priloga A 20 Paralelni potek in približevanje elektroenergetskih kablov in toplovoda 297
Priloga A 21 Križanje elektroenergetskih kablov in toplovoda 298
Priloga A 22 Paralelni potek in približevanje elektroenergetskih kablov in kanalizacije (primarne in sekundarne) 299
Priloga A 23 Križanje elektroenergetskih kablov in kanalizacije (primarne in sekundarne) 300
Priloga A 24 Primeri poteka elektroenergetskih kablov v bližini drugih objektov 301
Priloga A 25 Križanje elektroenergetskih kablov in telekomunikacijskih vodov 302
Priloga A 26 Primeri medsebojnega spajanja kovinskih cevi kot dodatne zaščite kablov 303
Priloga A 27 Primer mehanske zaščite pri polaganju kablov v montažne betonske profile 304
Priloga A 28 Primeri paralelnega poteka elektroenergetskih kablov ob železniški progi 305
Priloga A 29 Primeri križanja elektroenergetskih kablov z železniško progo 306
Priloga A 30 Dvigovanje, premeščanje in zavarovanje kabelskih bobnov 307
Priloga A 31 Primer polaganja in pričvrstitve kablov 308
Priloga A 32 Preizkušanje zunanjega plašča kabla z induktorjem (vezalna shema) 309
Priloga A 33 Način priključitve preizkusne napetosti 310
Priloga A 34 Priporočljive razporeditve elektroenergetskih kablov posameznih faz v primeru večjega števila kablov v posamezni fazi v odvisnosti od načina razmestitve 311
Priloga A 35 Sočasno polaganje SN kablov v vseh treh fazah 312

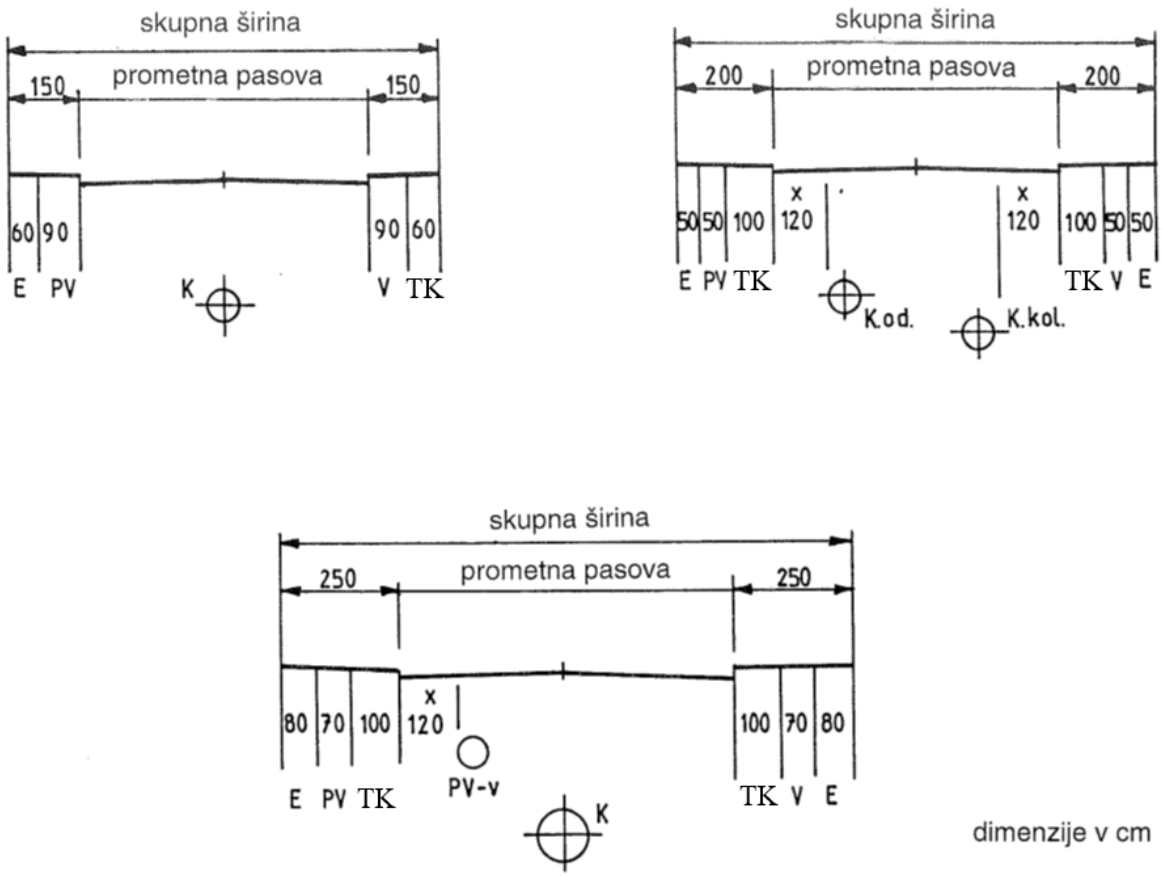
Oznaka VDE	**Oznaka JUS**	**N A Z I V**
A	A	Vodnik iz aluminija
Y	P	Izolacija iz termoplastičnega polivinilklorida (PVC)
2Y	E	Izolacija iz termoplastičnega polietilena (PE)
-	Ep	Izolacija iz etilenpropilena (EPR)
2X	X	Izolacija iz omreženega polietilena (PE-X)
C	40	Koncentrični vodnik iz bakra
(H)[1]	H	Polprevodni sloj pod izolacijo in nad njo
S	48	Električna zaščita iz bakra (trakov ali žic)
SE	48	Polprevodni sloj in električna zaščita iz bakra pri trižilnem kablu okrog vsake žile posebej
Y	Y	Zunanji plašč iz termoplastičnega polivinilklorida (PVC)
2Y	E	Zunanji plašč iz termoplastičnega polietilena (PE)
-	Eh	Zunanji plašč iz polprevodnega termoplastičnega polietilena (PE)
-	Ph	Zunanji plašč iz polprevodnega polivinilklorida (PVC)
-	00	Kabel brez armature in drugih zaščitnih plasti
B	41	Armatura iz dveh jeklenih trakov
FG	45	Armatura iz pocinkanih ploščatih žic in špirala iz pocinkanega traku
RG	44	Armatura iz pocinkanih okroglih žic in špirala iz pocinkanega traku
SEB	81	Električna zaščita okrog vsake žile in armatura iz dveh jeklenih trakov
SERG	84	Električna zaščita okrog vsake žile in armatura iz pocinkanih okroglih žic ter špirala iz pocinkanega traku
SEFG	85	Električna zaščita okrog vsake žile in armatura iz pocinkanih ploščatih žic ter špirala iz pocinkanega traku
S(F)	49	Električna zaščita iz bakra z vzdolžno neprepustnostjo kabla za vodo
-	91	Dodatna električna zaščita nad polprevodnim plaščem iz PVC ali PE-X
Kabli nazivne napetosti U_o/U = 0,6/1 kV vsebujejo tudi dodatno oznako za označevanje nevtralnega vodnika		
Y	J	Kabel z označeno rumeno/zeleno žilo
-	0	Kabel brez označene rumeno/zelene žile

Priloga A 1 Konstrukcijske oznake kablov z izolacijo iz umetnih mas



——— Krivulja obremenitve
- - - - - Povprečna obremenitev

Priloga A 2 Dnevni diagram obremenitve in faktor obremenitve



LEGENDA:

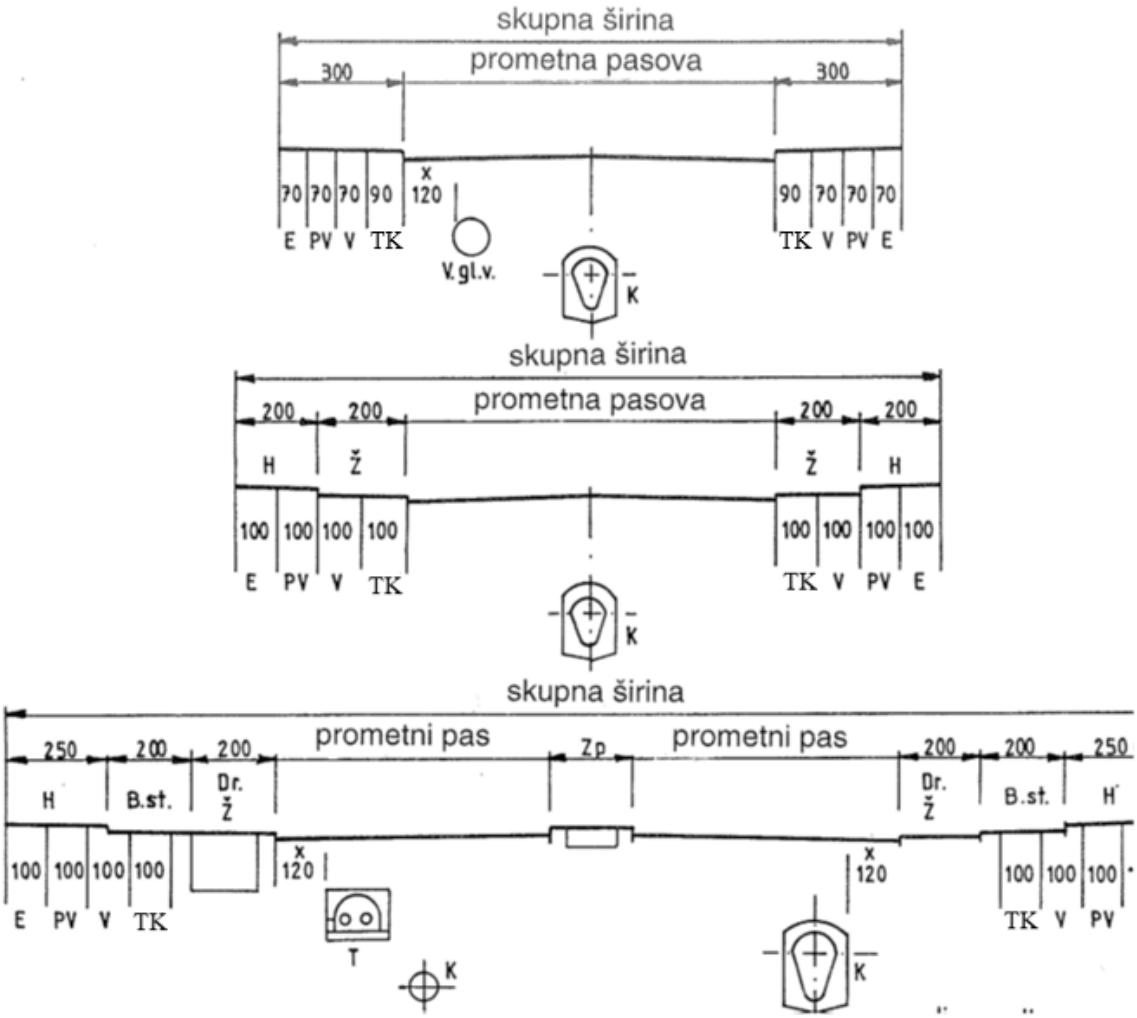
TK -	telekomunikacijski vod
E -	elektroenerrgetski vod
PV -	plinovod
V -	vodovod
PV-v -	visokotlačni plinovod
K.od.-	kanalizacija - odvod
K.kol.-	kanalizacija-kolektor
X -	najmanjši razmik od roba cestišča do posameznih vodov v cestišču

OPOMBA:

Najmanjša globina za:

TK -	0,5 m
E -	0,6 m
PV -	1,1 m
V -	1,0 m

Priloga A 3 Običajna razporeditev vodov in postrojev na javnih površinah



LEGENDA:

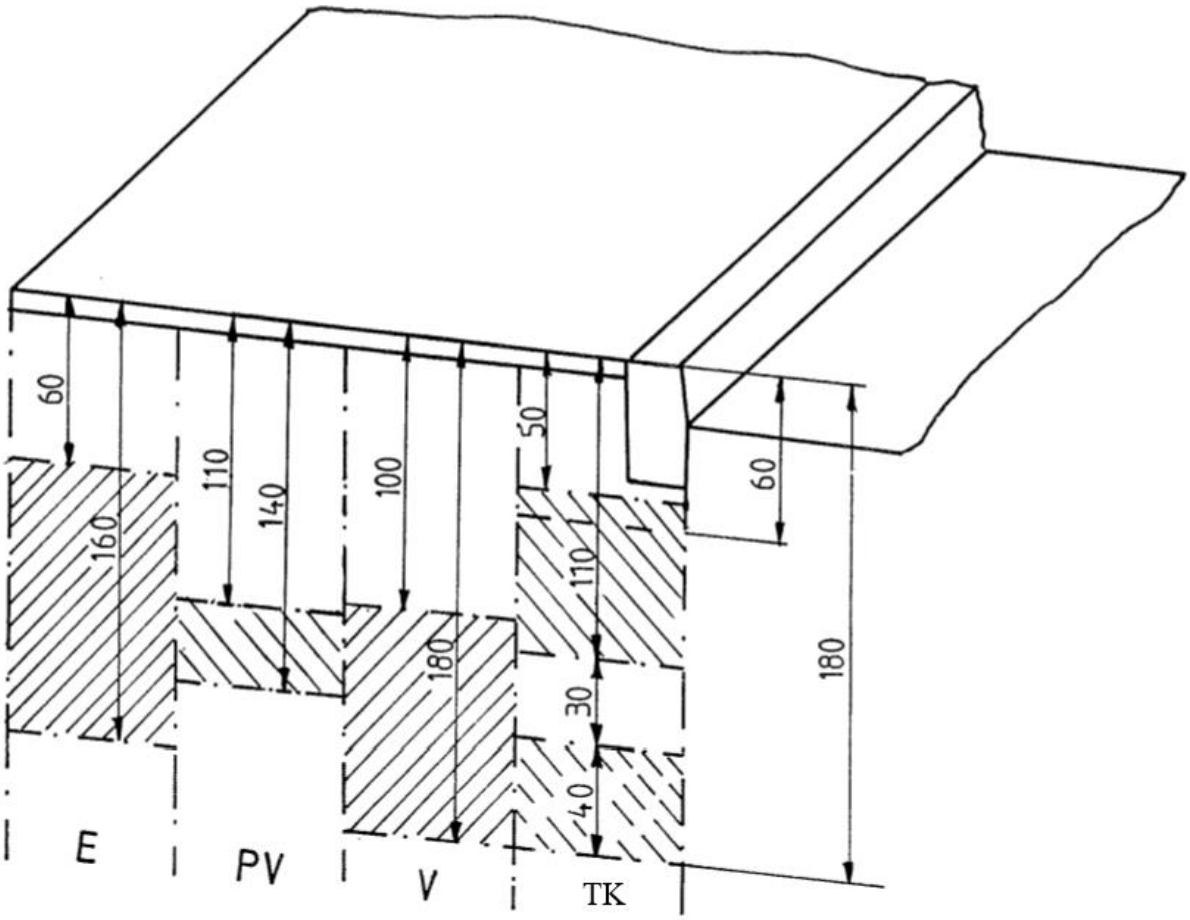
H -	hodnik za pešce
TK -	telekomunikacijski vod
E -	elektroenergetski vod
PV -	plinovod
V -	vodovod
V.gl.v.-	vodovod-glavni vod
K -	kanalizacija
T -	toplovod
P -	pločnik
K.st.-	kolesarska steza
Dr.-	drevored
Ž -	živa meja
Z.p. -	zeleni pas
X -	najmanjši razmik od roba cestišča do posameznih vodov v cestišču

OPOMBA: najmanjša globina za:

TK	-	0,5 m
E	-	0,6 m
PV	-	1,1 m
V	-	1,0 m

Priloga A 4 Običajna razporeditev vodov in postrojev na javnih površinah

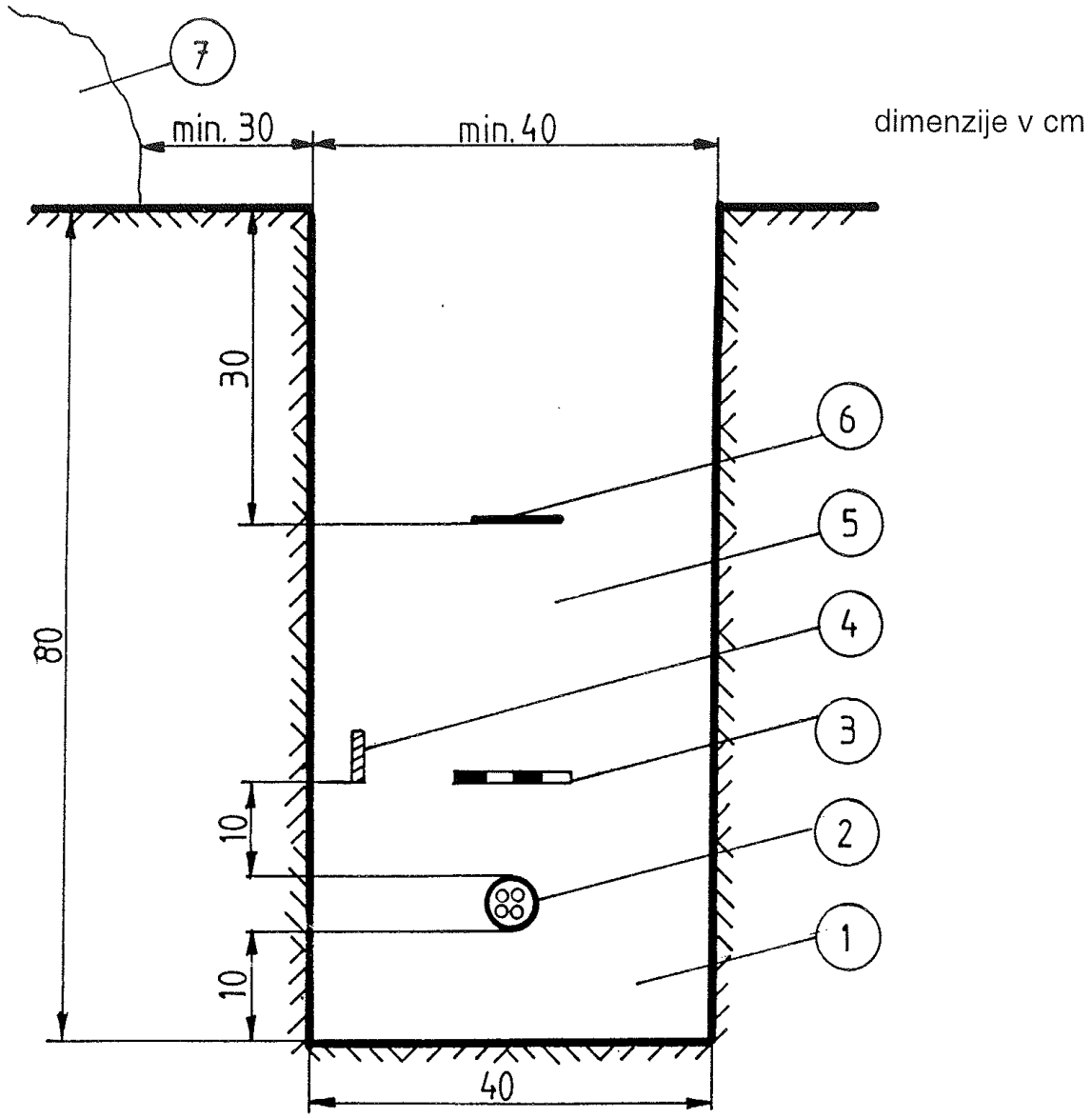
rob ulice dimenzije v cm



LEGENDA:

E -	elektroenergetski vod
PV -	plinovod
V -	vodovod
TK-	telekomunikacijski vod

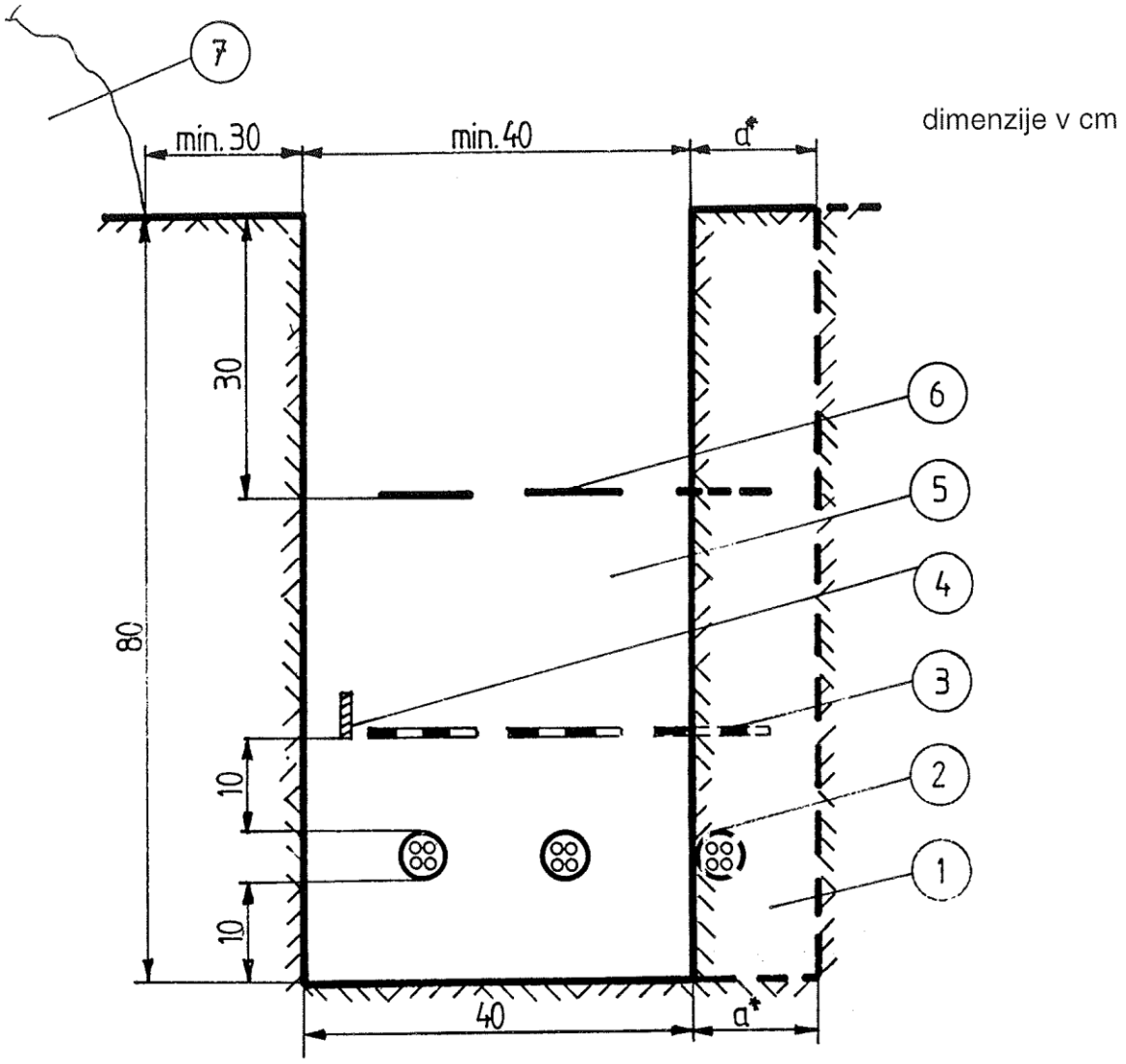
Priloga A 5 Običajna razporeditev pločnika v cone



LEGENDA:

1 - zdrobljena zemlja ali pesek
2 - kabel U_o/U = 0,6/1 kV
3 - dodatna mehanska - opozorilna zaščita
4 - ozemljilni trak
5 - nabita zemlja
6 - opozorilni trak
7 - izkopana zemlja

Priloga A 6 Prerez kabelskega jarka za polaganje kabla nazivne napetosti U_o/U = 0,6/1 kV

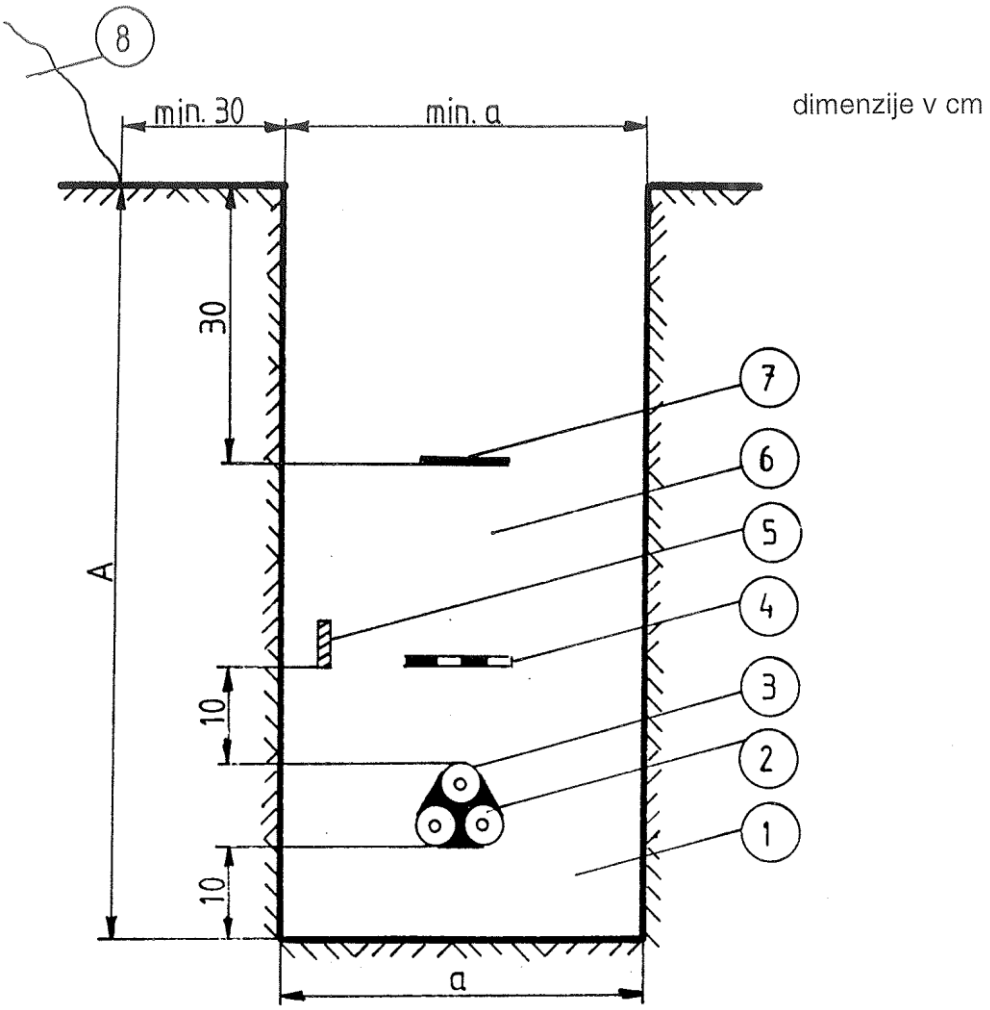


a* = za vsak nov kabel je potrebno jarek razširiti za 15 cm

LEGENDA:

1 - zdrobljena zemlja ali pesek
2 - kabel U_o/U = 0,6/1 kV
3 - dodatna mehanska - opozorilna zaščita
4 - ozemljilni trak
5 - nabita zemlja
6 - opozorilni trak
7 - izkopana zemlja

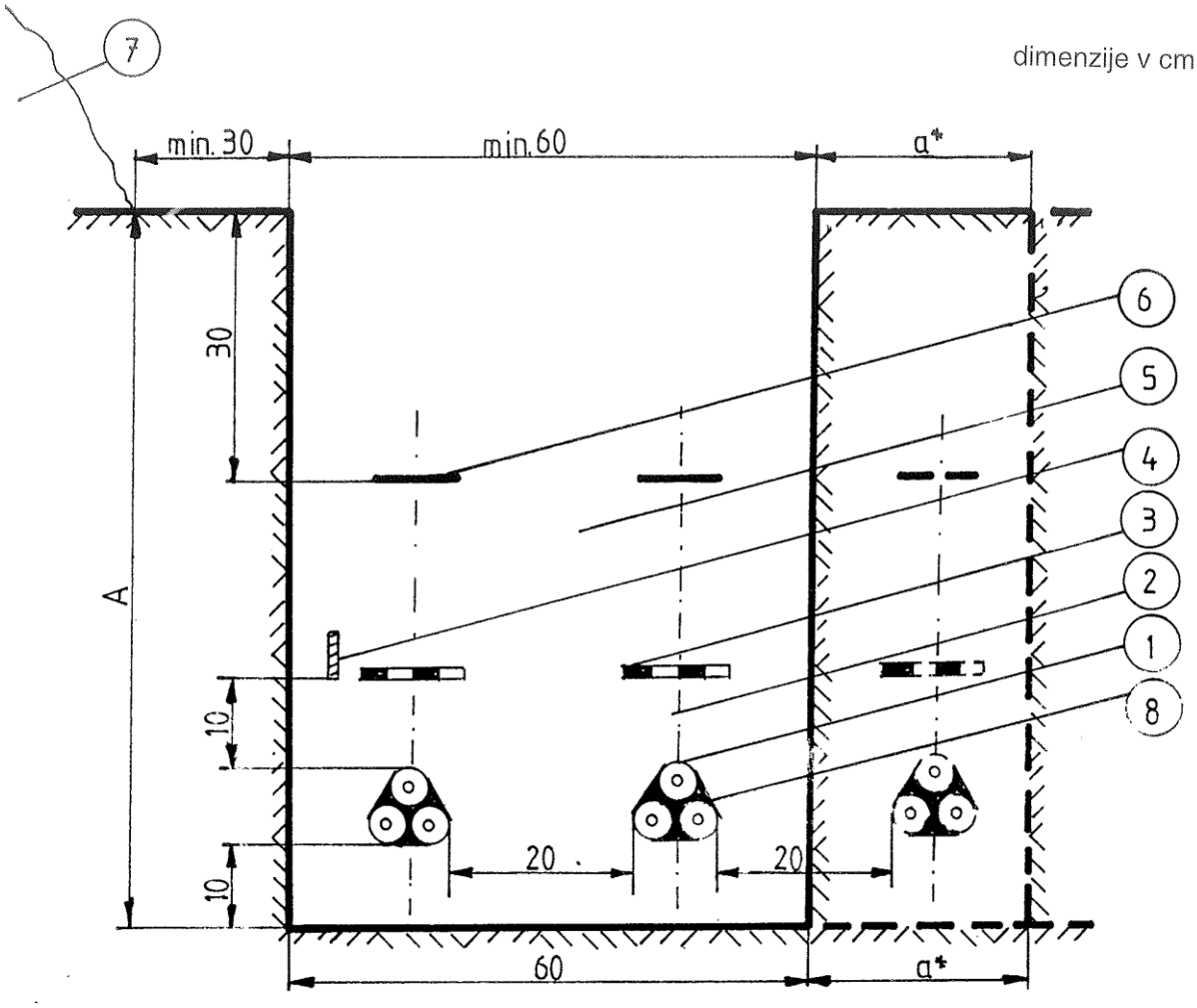
Priloga A 7 Prerez kabelskega jarka za polaganje dveh ali več kablov U_o/U = 0,6/1 kV



Nazivna napetost kabla U_o/U (kV)	Dimenzijejarka (cm)	
	Širina a	Globina A
6/10	40	80
12/20	40	80
18/30 (20/35)	50	100

LEGENDA:
1 - zdrobljena zemlja ali pesek
2 - kabel U_o/U = 6/10 kV, 12/20 kV in 18/30 kV (20/35) kV
3 - objemka
4 - dodatna mehanska - opozorilna zaščita
5 - ozemljilni trak
6 - nabita zemlja
7 - opozorilni trak
8 - izkopana zemlja

Priloga A 8 Prerez kabelskega jarka za polaganje treh enožilnih kablov v en kabelski sistem nazivne napetosti U_o/U = 6/10 kV, 12/20 kV in 18/30 kV (20/35) kV

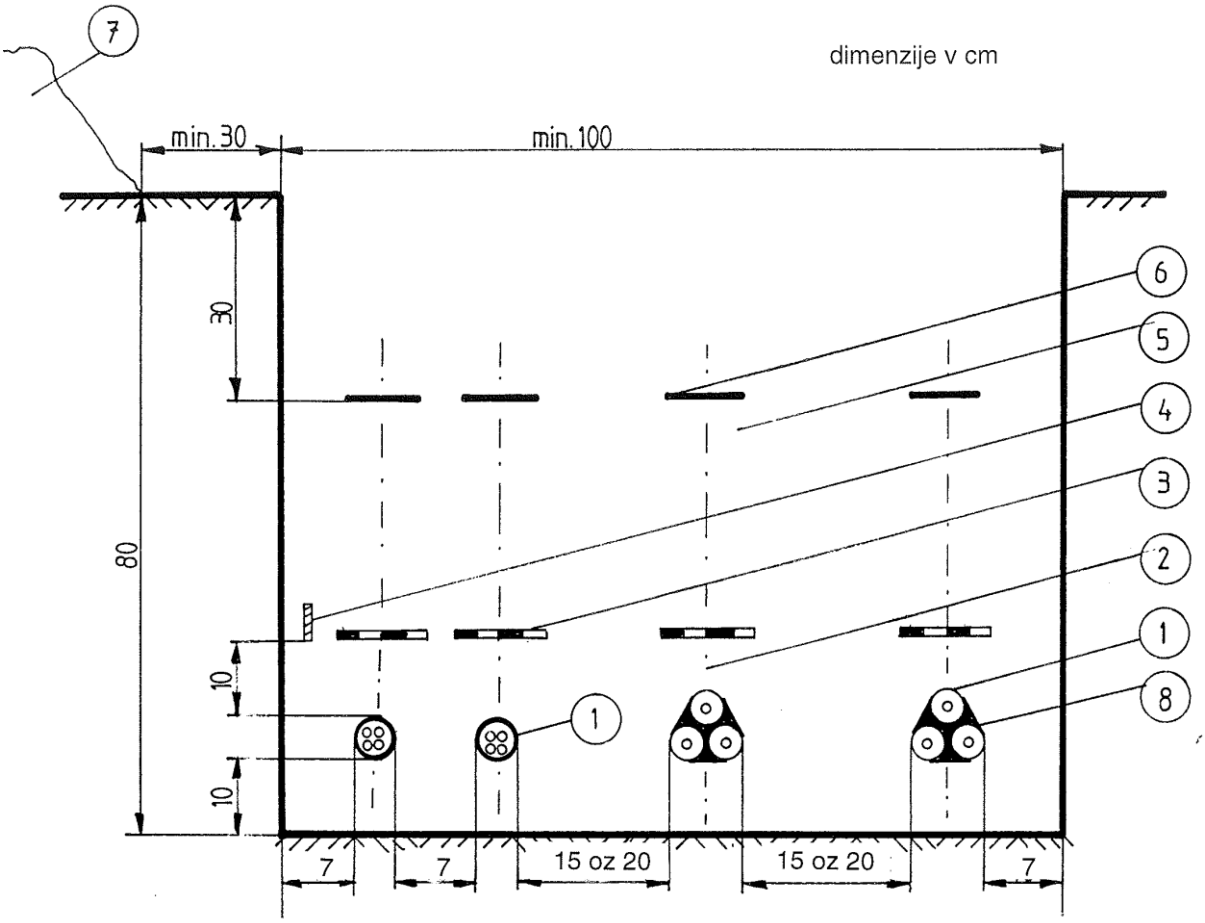


a*= za vsak nov kabel je potrebno jarek razširiti za 25 cm
A = 80 cm za kabel U_o/U = 6/10 kV in 12/20 kV
A = 100 cm za kabel U_o/U = 18/30 kV (20/35) kV

LEGENDA:

1 - kabel U_o/U = 6/10 kV, 12/20 kV in 18/30 kV (20/35) kV
2 - zdrobljena zemlja ali pesek
3 - dodatna mehanska - opozorilna zaščita
4 - ozemljilni trak
5 - nabita zemlja
6 - opozorilni trak
7 - izkopana zemlja
8 - objemka kabla

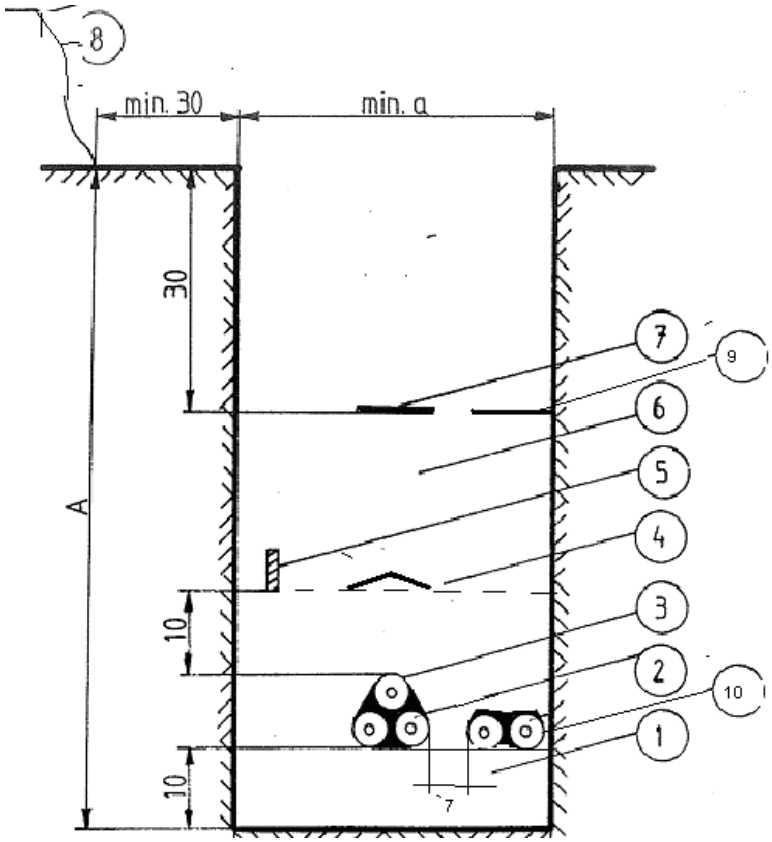
Priloga A 9 Prerez kabelskega jarka za polaganje dveh ali več kabelskih sistemov nazivne napetosti U_o/U = 6/10 kV, 12/20 kV in 18/30 kV (20/35) kV



LEGENDA:

1 - kabel U_o/U = 0,6/1 kV in kabel U_o/U = 6/10 kV ali 12/20 kV
2 - zdrobljena zemlja ali pesek
3 - dodatna mehanska - opozorilna zaščita
4 - ozemljilni trak
5 - nabita zemlja
6 - opozorilni trak
7 - izkopana zemlja
8 - objemka

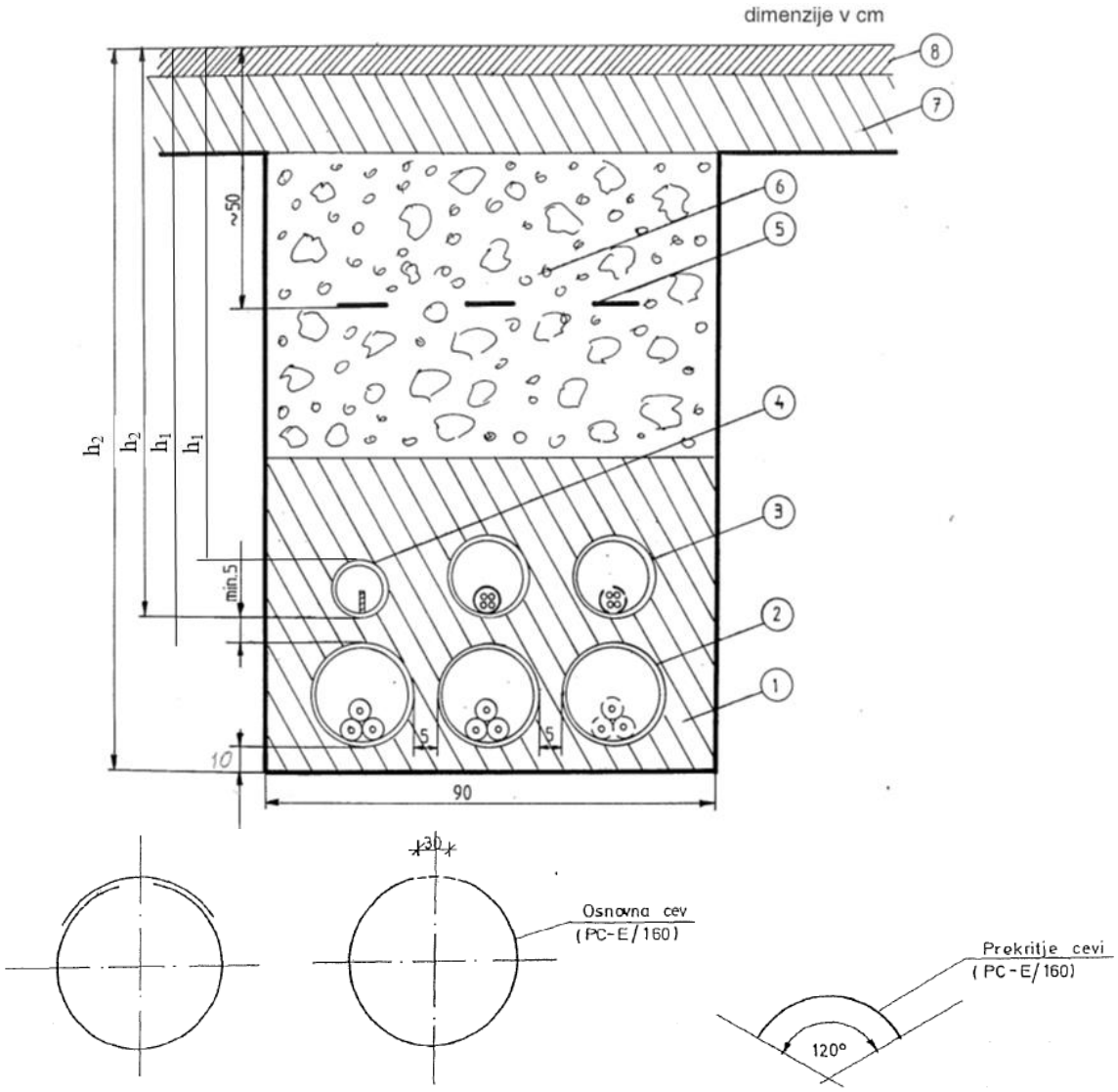
Priloga A 10 Prerez kabelskega jarka za polaganje kablov nazivne napetosti U_o/U = 0,6/1 kV, 6/10 kV, 12/20 kV v skupni jarek



LEGENDA:

1 - mivka ali pesek granulacije 0 do 0,4
2 - kabel U_o/U = 12/20 kV
3 - plastična vezica
4 - opozorilna zaščita - GAL ščitnik
5 - ozemljilni trak
6 - nabita zemlja
7 - opozorilni trak- Pozor energetski kabel, rdeče barve
8 - izkopana zemlja
9 - TK- rumen opozorilni trak - Pozor optični kabel
10- PE cev 2x 50 mm za optični kabel

Priloga A 11 Prerez kabelskega jarka za polaganje treh enožilnih kablov nazivne napetosti U_o/U = 12/20 kV in PE cevi 2 x 50 mm za optični kabel

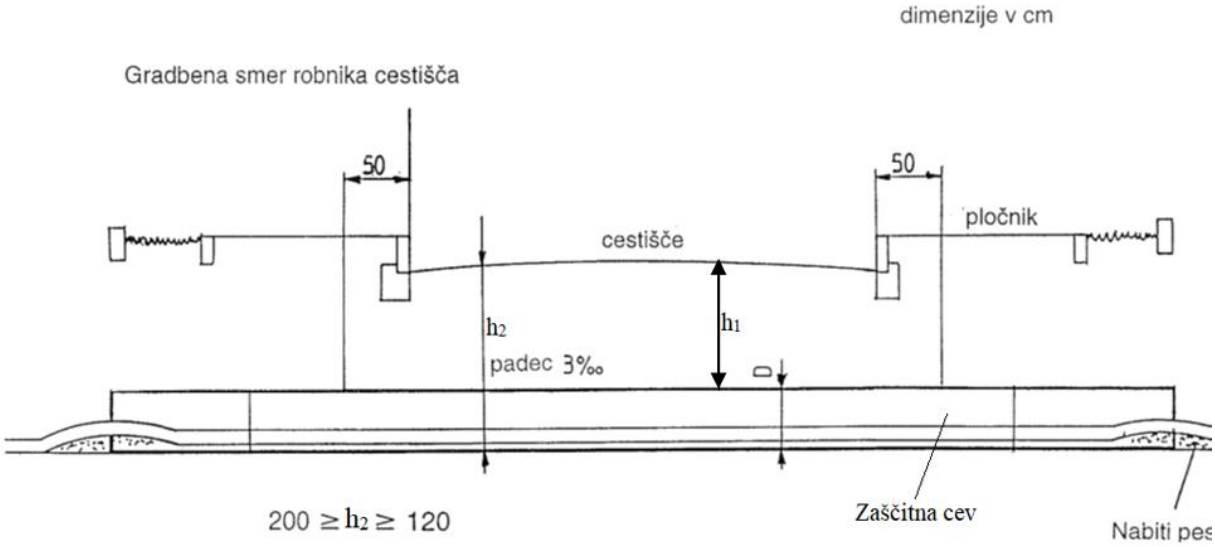


LEGENDA:

1 - suhi beton C 8/10
2 - TPE ali PVC cevi ∅ 200 mm
3 - TPE ali PVC cevi ∅ 160 mm
4 - PVC cev ∅ 110 mm za kabel JR ali ozemljilni trak
5 - opozorilni trak
6 - nabiti sloj proda ali debelejšega peska
7 - beton C 12/15 (sloj debeline 10-15 cm)
8 - asfalt (sloj debeline 3-6 cm)

$h_1 \geq 1{,}5$ m (avtoceste, državne ceste in lokalne ceste, $U > 45$ kV)
$h_1 \geq 1{,}0$ m (državne ceste in lokalne ceste, $U \leq 45$ kV)
$h_1 \geq 0{,}8$ m (lokalne ceste, $U \leq 45$ kV)
OPOMBA: Prekritje cevi (mehansko zaščito) vsakih 2 m obvezno povezati z osnovno cevjo

Priloga A 12 Prerez kabelskega jarka pri križanju s prometnimi potmi

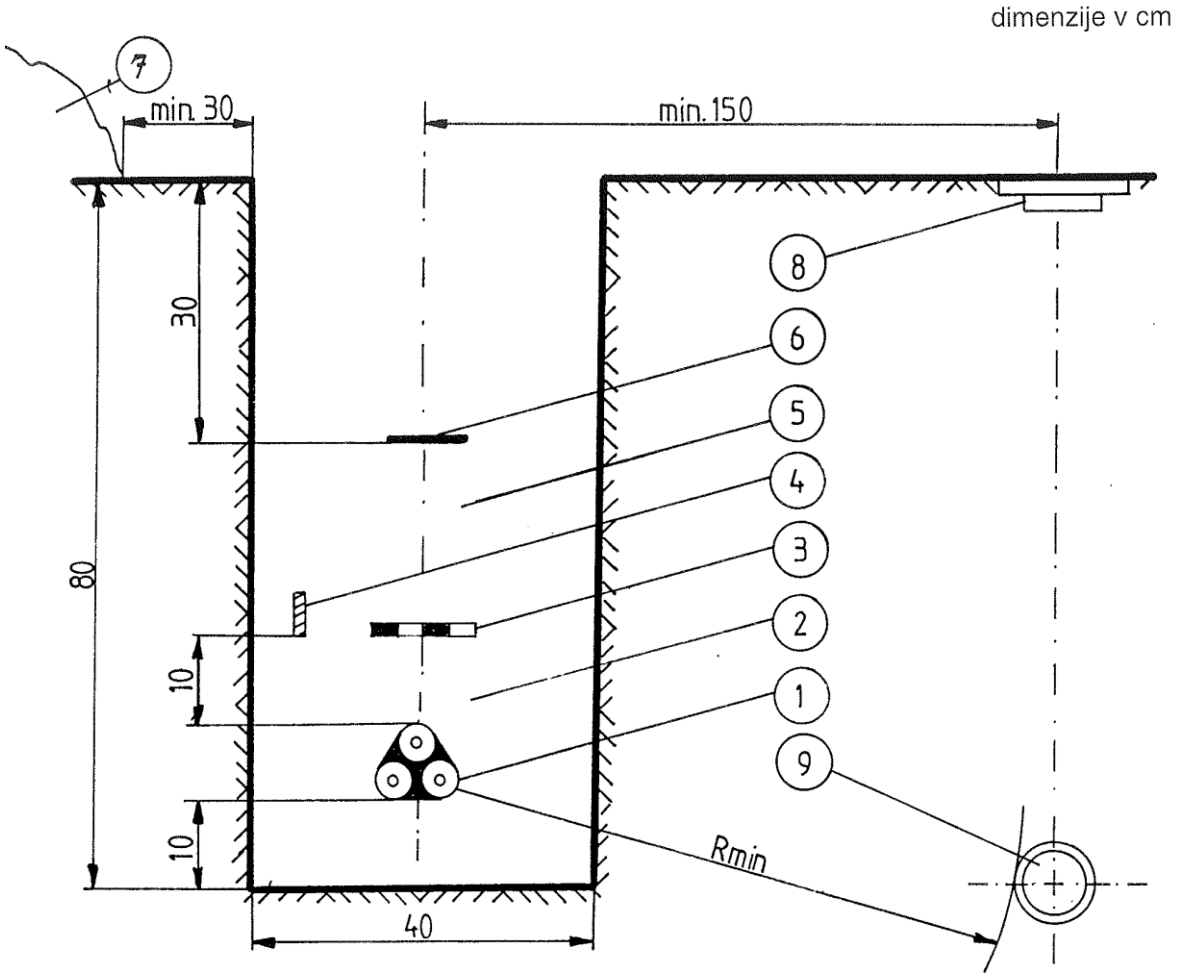


D = 160 mm za kable U = 1 kV
D = 200 mm za kable $U \leq 45$ kV

$h_1 \geq 1{,}5$ m (avtoceste in državne ceste), $U > 45$ kV
$h_1 \geq 1{,}0$ m (državne ceste), $U \leq 45$ kV
$h_1 \geq 1{,}5$ m (lokalne ceste), $U > 45$ kV
$h_1 \geq 0{,}8$ m (lokalne ceste), $U \leq 45$ kV

Zaščitna cev ≥ 1 m od roba vozišča (lokalne in državne ceste)
Zaščitna cev ≥ 1,5 m od roba vozišča (avtoceste)

Priloga A 13 Primer vzdolžnega prereza kabelskega jarka pri križanju s prometnimi potmi



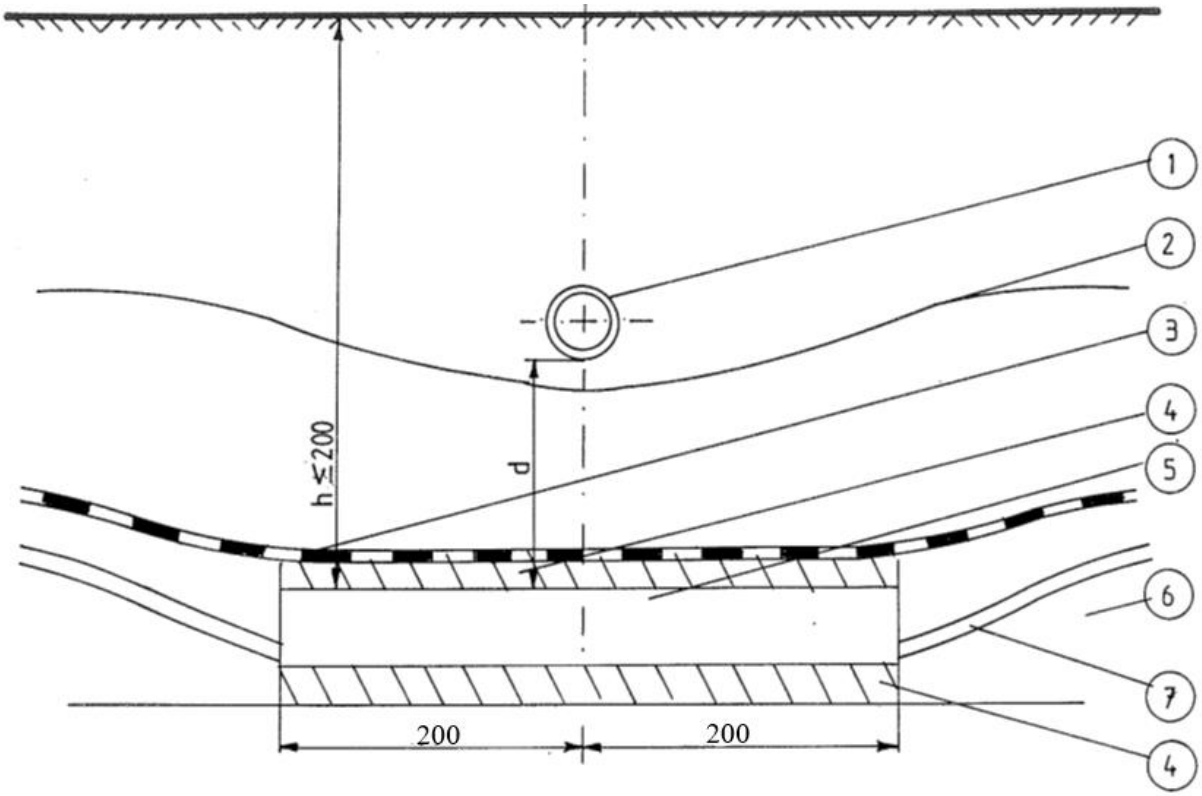
Vodovod (transportni in primarni): $R_{min} \geq 1{,}5$ m
Vodovod (sekundarni in priključki): $R_{min} \geq$ 0,5 m; nad 45 kV ≥ 1,0 m

LEGENDA:

1 - elektroenergetski kabel
2 - zdrobljena zemlja ali pesek
3 - dodatna mehanska - opozorilna zaščita
4 - ozemljilni trak
5 - nabita zemlja
6 - opozorilni trak
7 - izkopana zemlja
8 - jašek vodovoda (hidrant)
9 - vodovodna cev

Priloga A 14 Paralelni potek in približevanje elektroenergetskih kablov in vodovoda

dimenzije v cm



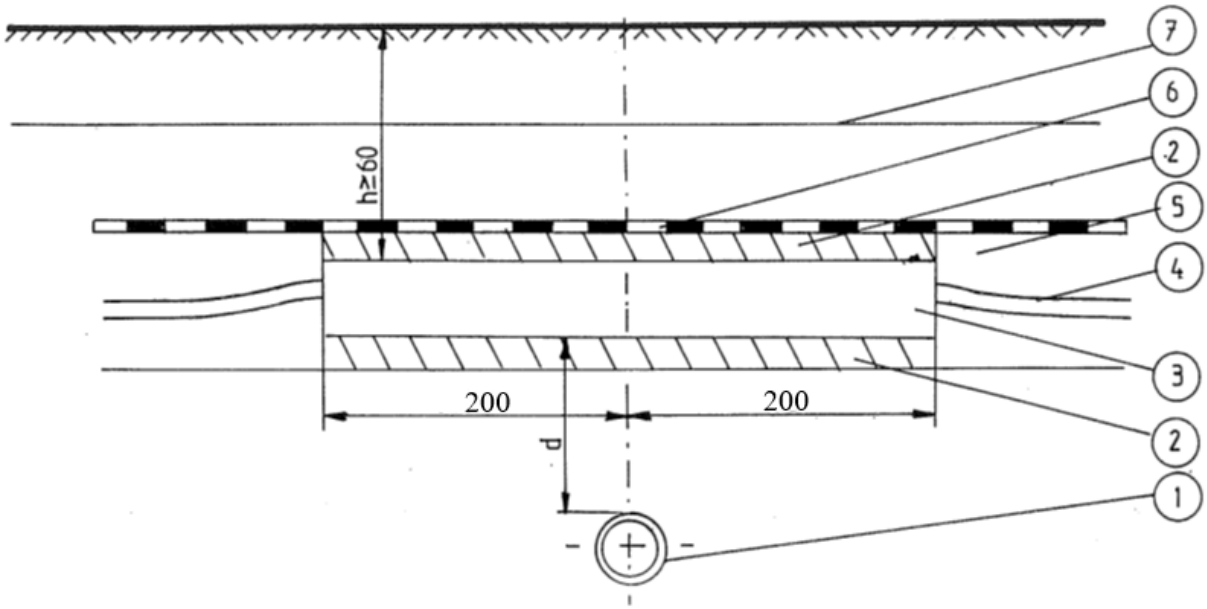
Vodovod (transportni in primarni): d ≥ 0,5 m, kot križanja ≥ 45°, zaščitna cev na vsako stran 2 m
Vodovod (sekundarni in priključki): d ≥ 0,3 m, kot križanja ≥ 30°; nad 45 kV ≥ 0,5 m, zaščitno cev na vsako stran najmanj 2 m.

LEGENDA:

1 - vodovodna cev
2 - opozorilni trak
3 - dodatna mehanska - opozorilna zaščita
4 - sloj suhega betona C 8/10 (cca 5 cm)
5 - PVC ali TPE zaščitna cev kabla
6 - zdrobljena zemlja ali pesek
7 - elektroenergetski kabel

Priloga A 15 Križanje elektroenergetskih kablov in vodovoda - kabel pod vodovodom

dimenzije v cm



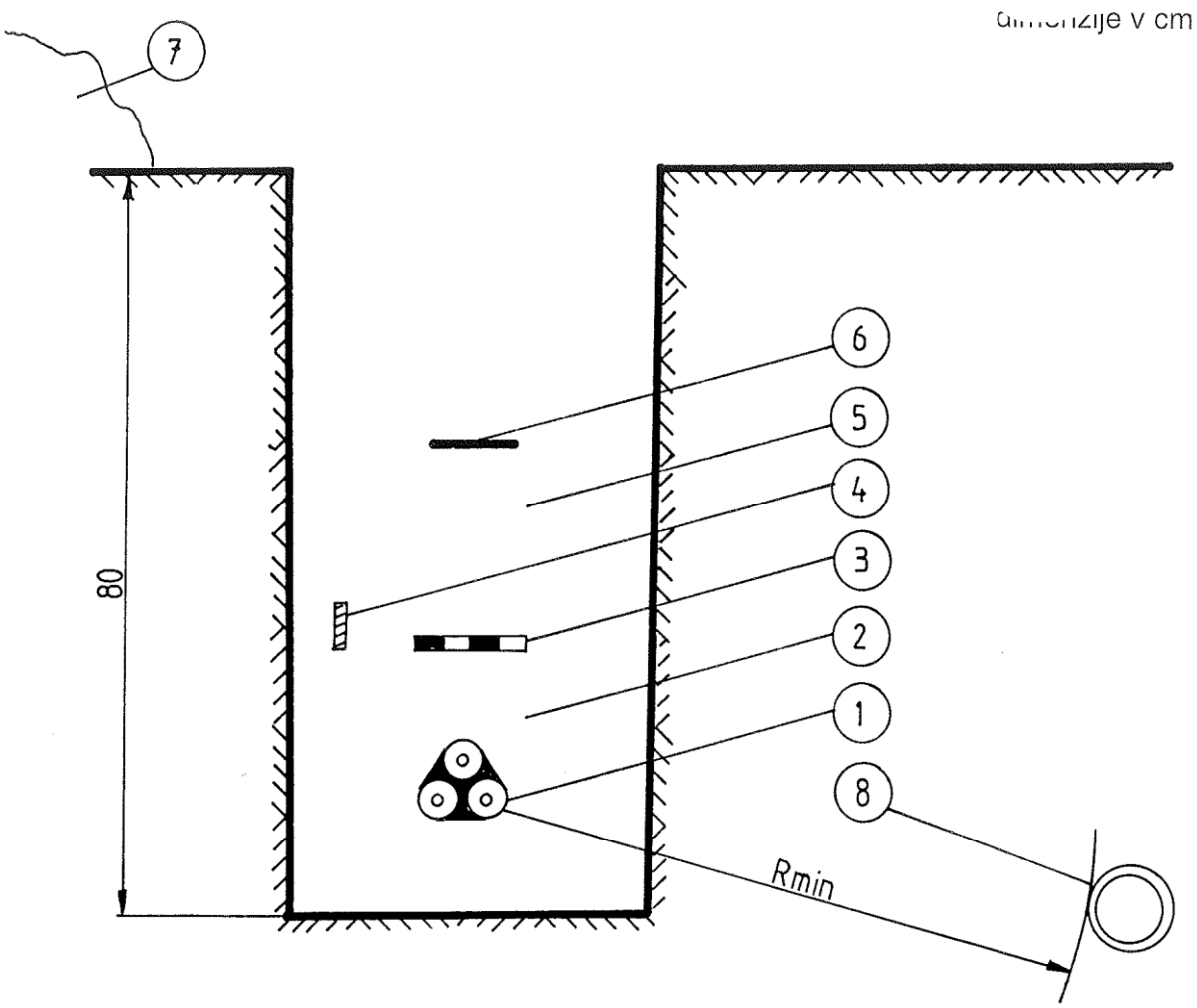
Vodovod (transportni in primarni): d ≥ 0,5 m, kot križanja ≥ 45°, zaščitna cev na vsako stran 2 m

Vodovod (sekundarni in priključki): d ≥ 0,3 m, kot križanja ≥ 30°; nad 45 kV ≥ 0,5 m, zaščitno cev na vsako stran najmanj 2 m.

LEGENDA:

1 - vodovodna cev
2 - sloj suhega betona C 8/10 (cca 5 cm)
3 - PVC ali TPE zaščitna cev kabla
4 - elektroenergetski kabel
5 - zdrobljena zemlja ali pesek
6 - dodatna mehanska - opozorilna zaščita
7 - opozorilni trak

Priloga A 16 Križanje elektroenergetskih kablov in vodovoda - kabel nad vodovodom



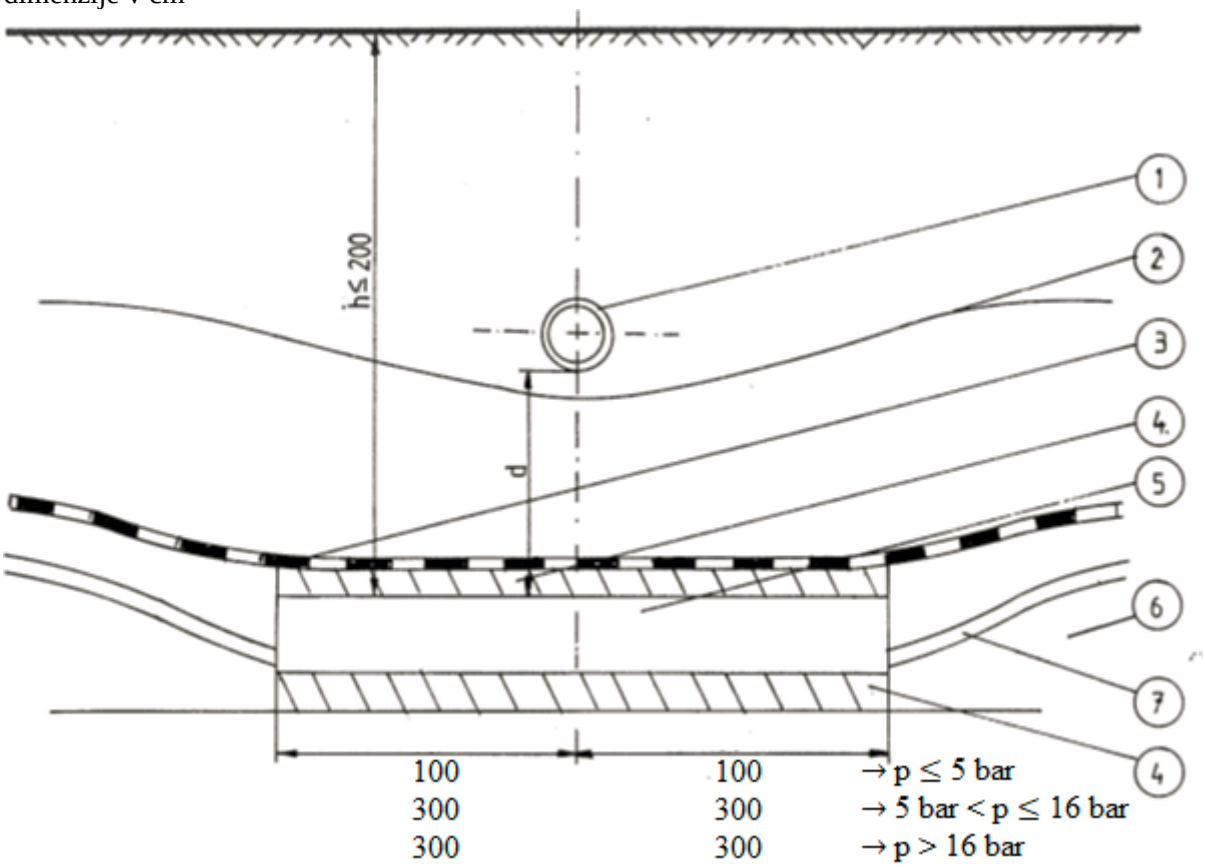
Plinovod nad 16 barov:	$R_{min} \geq 0{,}5$ m; nad 45 kV d ≥ 1,5 m in študija o vplivu blodečih tokov
Plinovod nad 5 do 16 barov:	$R_{min} \geq 0{,}5$ m; nad 45 kV d ≥ 1,5 m
Plinovod do 5 barov:	$R_{min} \geq 0{,}5$ m

LEGENDA:

1 - elektroenergetski kabel
2 - zdrobljena zemlja ali pesek
3 - dodatna mehanska - opozorilna zaščita
4 - ozemljilni trak
5 - nabita zemlja
6 - opozorilni trak
7 - izkopana zemlja
8 - plinovod

Priloga A 17 Paralelni potek in približevanje elektroenergetskih kablov in plinovoda

dimenzije v cm



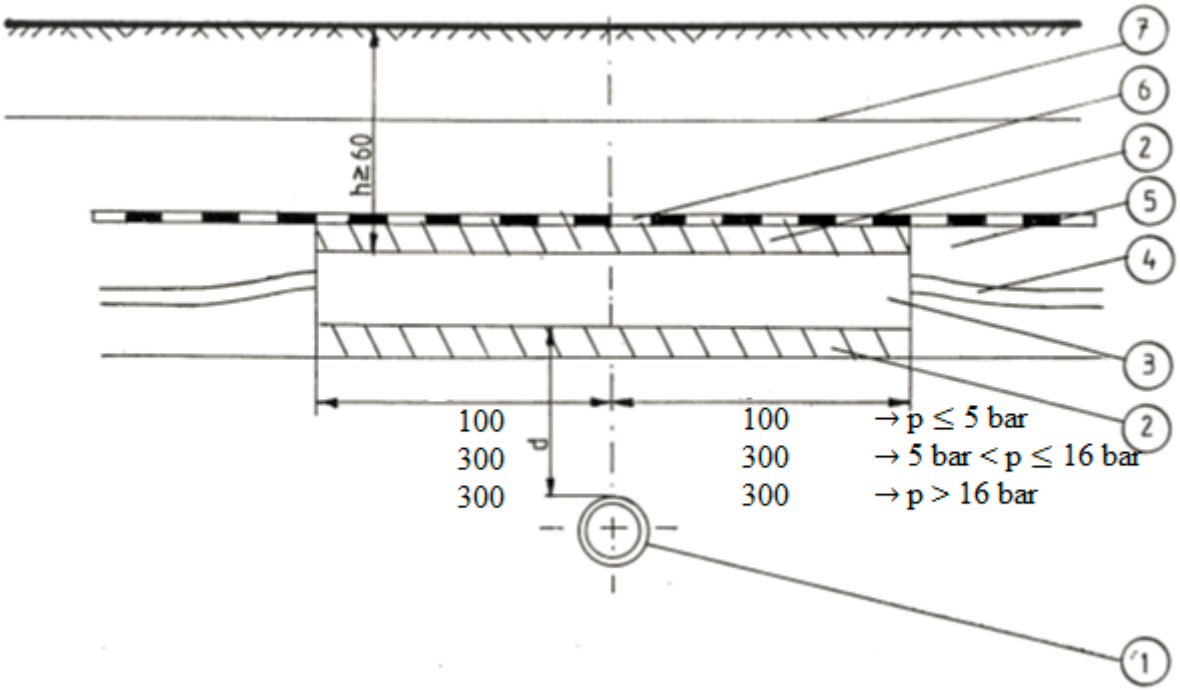
Plinovod nad 16 barov:	d ≥ 0,5 m kot križanja ≥ 45°, zaščitna cev na vsako stran ≥ 3 m
Plinovod nad 5 do 16 barov:	d ≥ 0,3 m, kot križanja ≥ 45°, zaščitna cev na vsako stran ≥ 3 m
Plinovod do 5 barov:	d ≥ 0,3 m, kot križanja ≥ 30°, zaščitna cev na vsako stran ≥ 1 m

LEGENDA:

1 - plinovod
2 - opozorilni trak
3 - dodatna mehanska - opozorilna zaščita
4 - sloj suhega betona C 8/10 (cca 5 cm)
5 - PVC ali TPE zaščitna cev kabla
6 - zdrobljena zemlja ali pesek
7 - elektroenergetski kabel

Priloga A 18 Križanje elektroenergetskih kablov in plinovoda - kabel pod plinovodom

dimenzije v cm

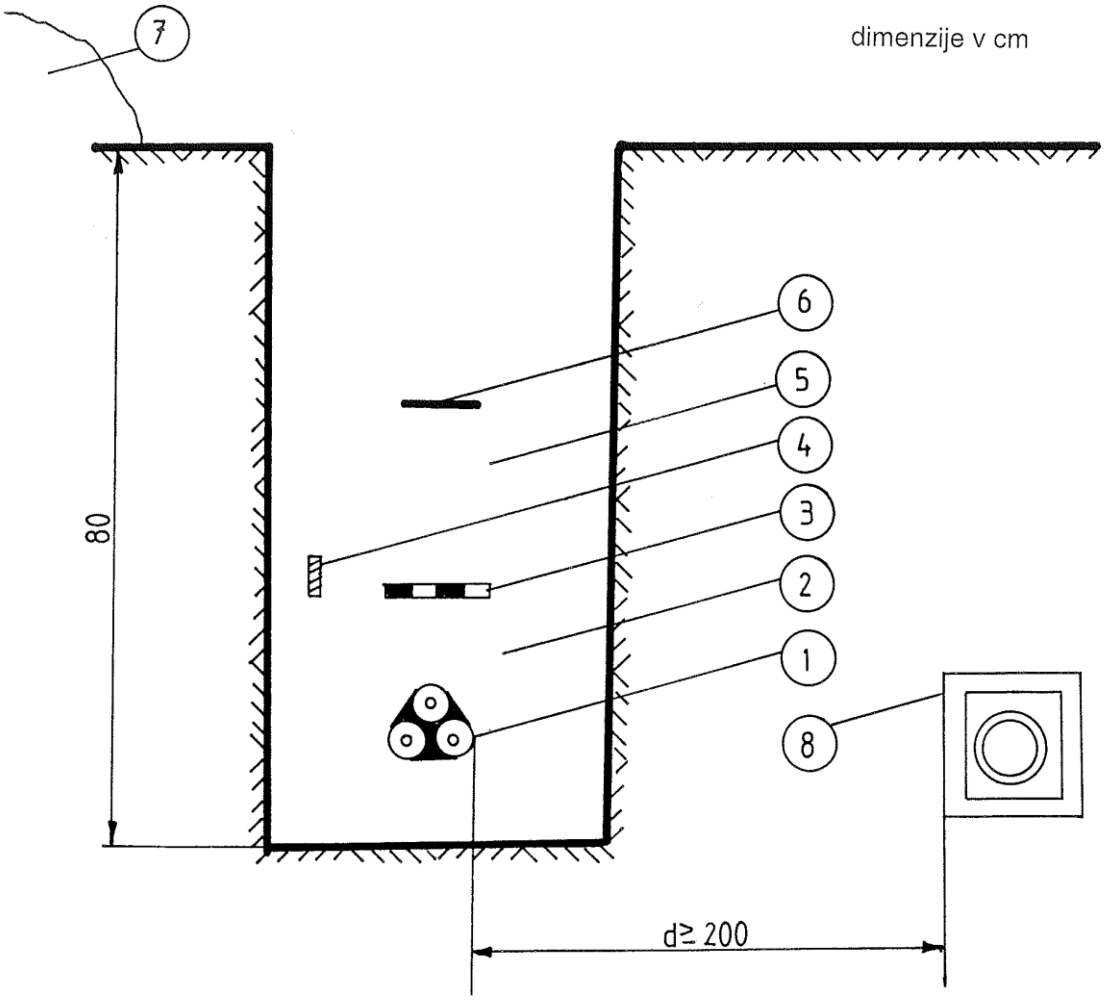


Plinovod nad 16 barov:	d ≥ 0,5 m, kot križanja ≥ 45°, zaščitna cev na vsako stran ≥ 3 m
Plinovod nad 5 do 16 barov:	d ≥ 0,3 m, kot križanja ≥ 45°, zaščitna cev na vsako stran ≥ 3 m
Plinovod do 5 barov:	d ≥ 0,3 m, kot križanja ≥ 30°, zaščitna cev na vsako stran ≥ 1 m

LEGENDA:

1 - plinovod
2 - sloj suhega betona C 8/10 (cca. 5 cm)
3 - PVC ali TPE zaščitna cev kabla
4 - elektroenergetski kabel
5 - zdrobljena zemlja ali pesek
6 - dodatna mehanska - opozorilna zaščita
7 - opozorilni trak

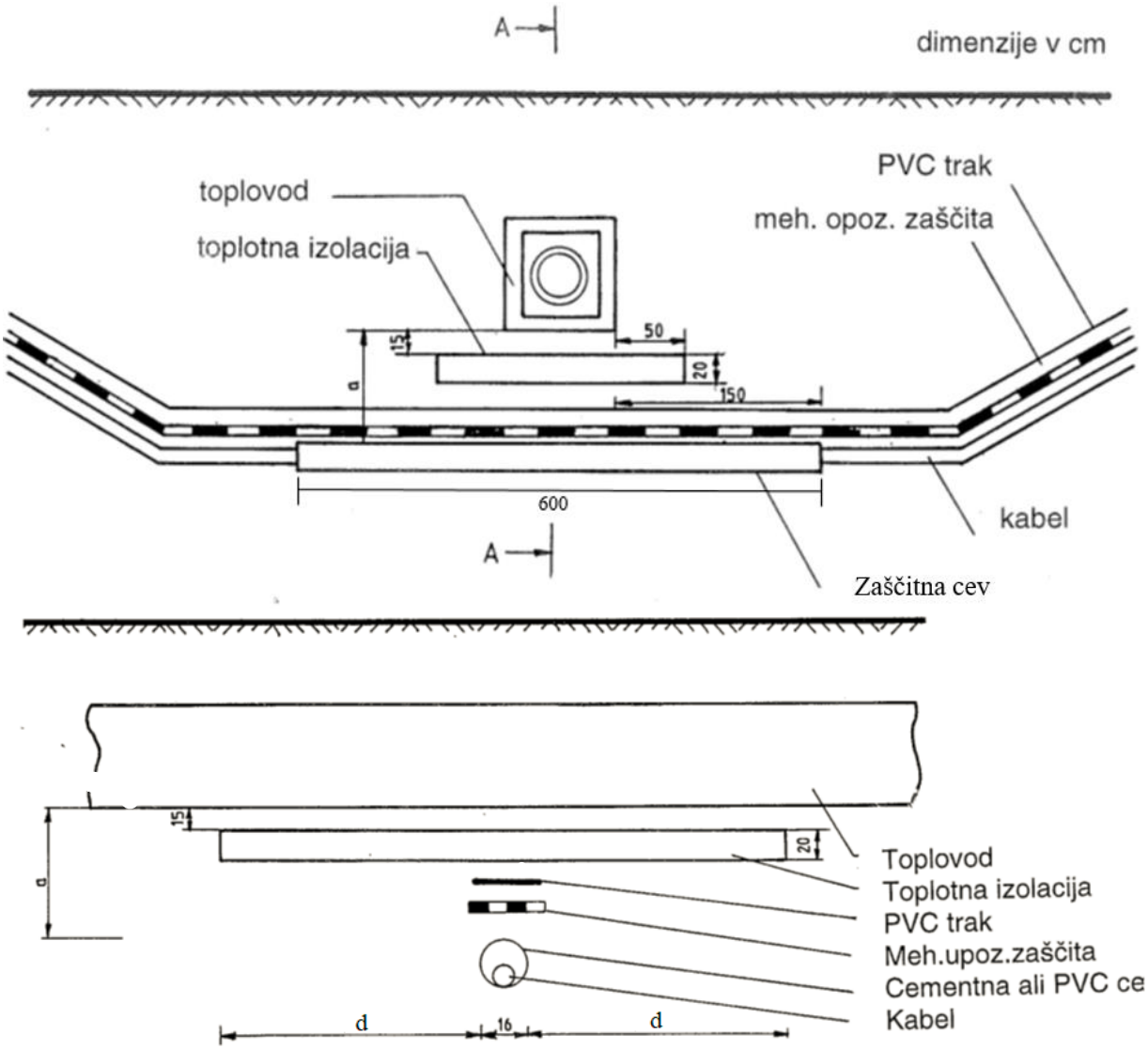
Priloga A 19 Križanje elektroenergetskih kablov in plinovoda - kabel nad plinovodom



LEGENDA:

1 - elektroenergetski kabel
2 - zdrobljena zemlja ali pesek
3 - dodatna mehanska - opozorilna zaščita
4 - ozemljilni trak
5 - nabita zemlja
6 - opozorilni trak
7 - izkopana zemlja
8 - toplovod

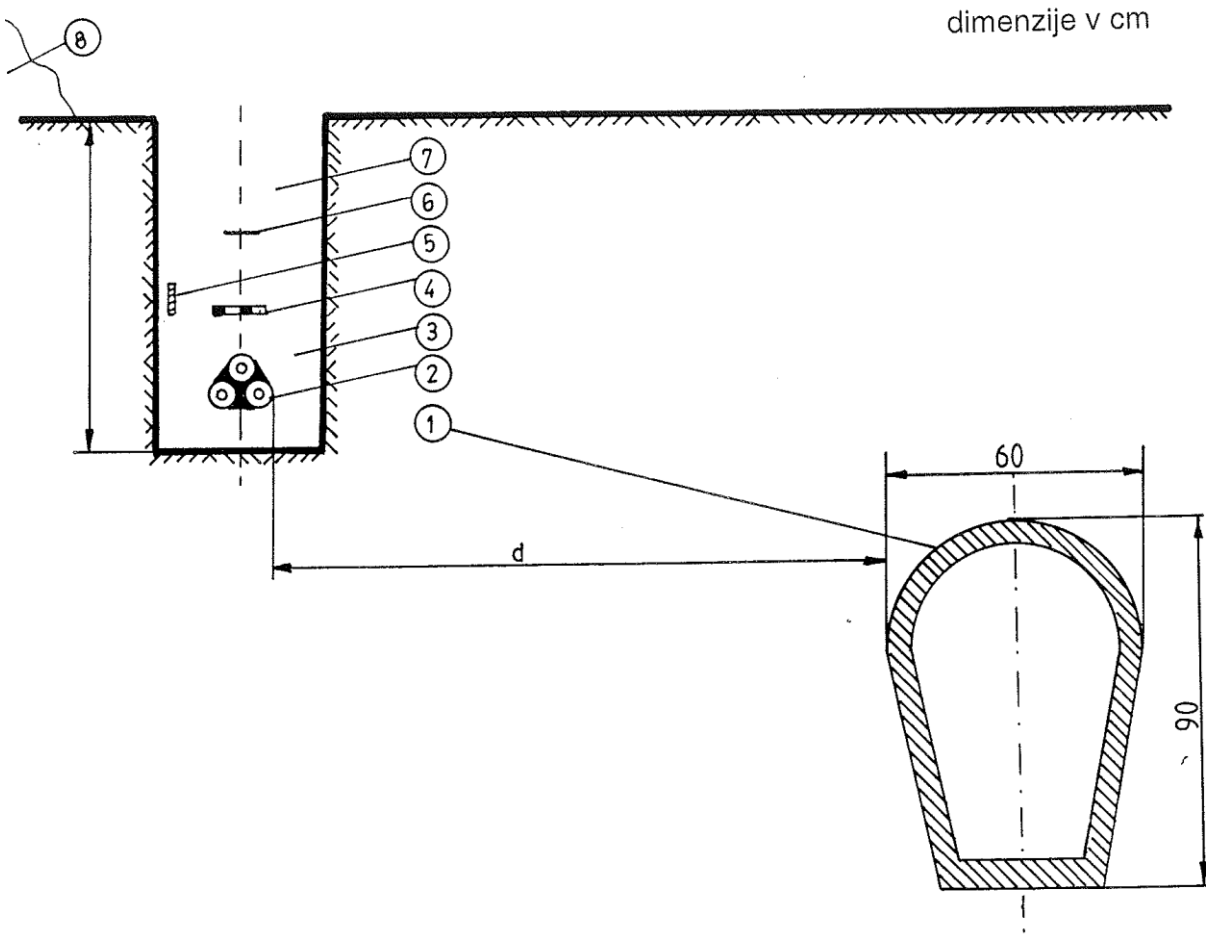
Priloga A 20 Paralelni potek in približevanje elektroenergetskih kablov in toplovoda



Velikost kote a - minimalni razmik

Toplovod: a ≥ 0,6 m, kot križanja ≥ 45°; nad 45 kV a ≥ 1,0 m, kabel pod toplovodom v zaščitni cevi, 3 m na vsako stran
d ≥ 2 m

Priloga A 21 Križanje elektroenergetskih kablov in toplovoda

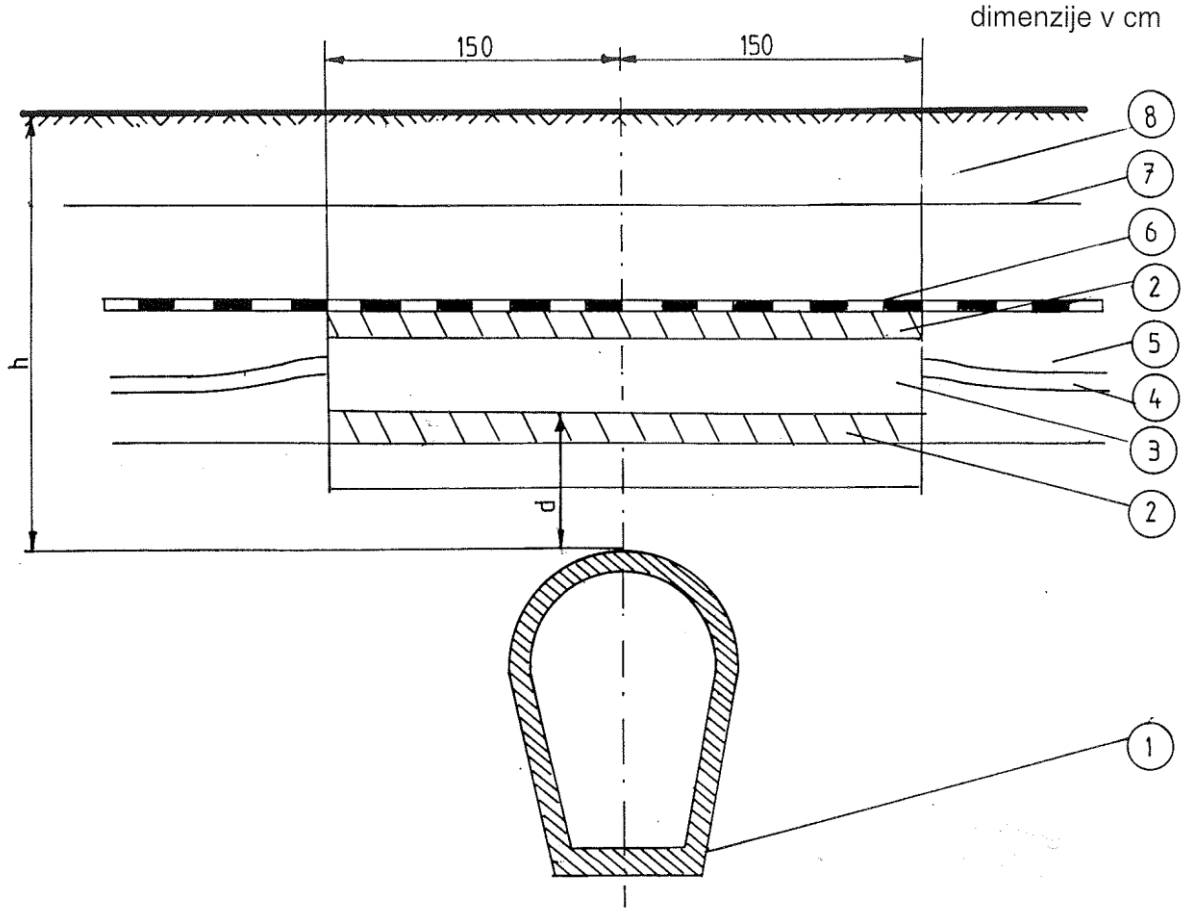


d ≥ globina kanalizacije v m x 0,4, minimalno 0,5 m
d ≥ 0,4 m za kable v kabelski kanalizaciji

LEGENDA:

1 - kanalizacijska cev
2 - elektroenergetski kabel
3 - zdrobljena zemlja ali pesek
4 - dodatna mehanska - opozorilna zaščita
5 - ozemljilni trak
6 - opozorilni trak
7 - nabita zemlja
8 - izkopana zemlja

Priloga A 22 Paralelni potek in približevanje elektroenergetskih kablov in kanalizacije (primarne in sekundarne)



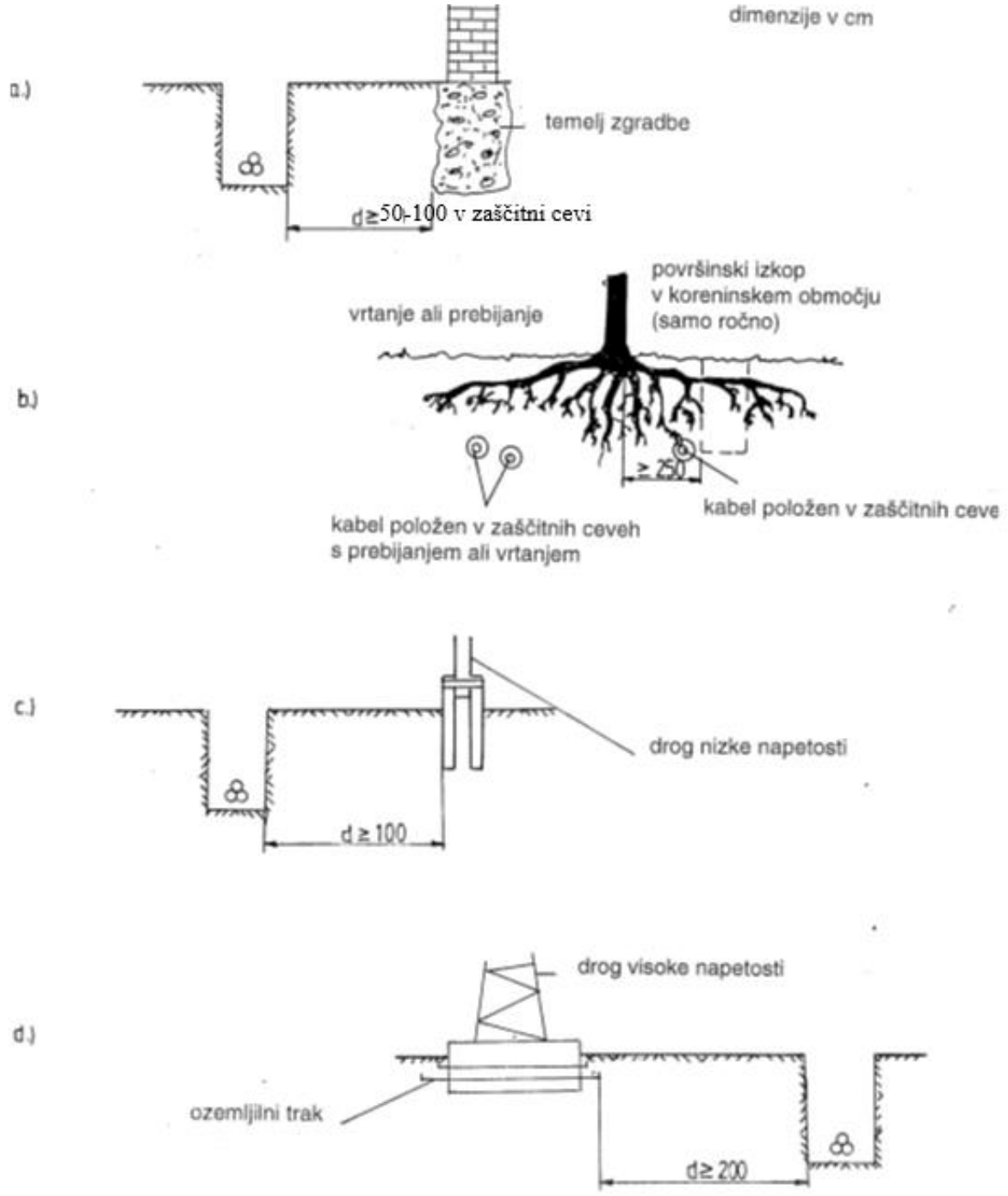
Kanalizacija (primarna in sekundarna) : d ≥ 0,5 m, kot križanja ≥ 30°, zaščitna cev na vsako stran najmanj v dolžini globine kanalizacije

za h ≥ 80 cm kot mehanska zaščita se polagajo TPE cevi ∅ 160 ali 200 mm v sloju 5 cm suhega betona
za h < 80 cm kot mehanska zaščita se polagajo Fe cevi ∅ 150 mm v sloju 5 cm suhega betona

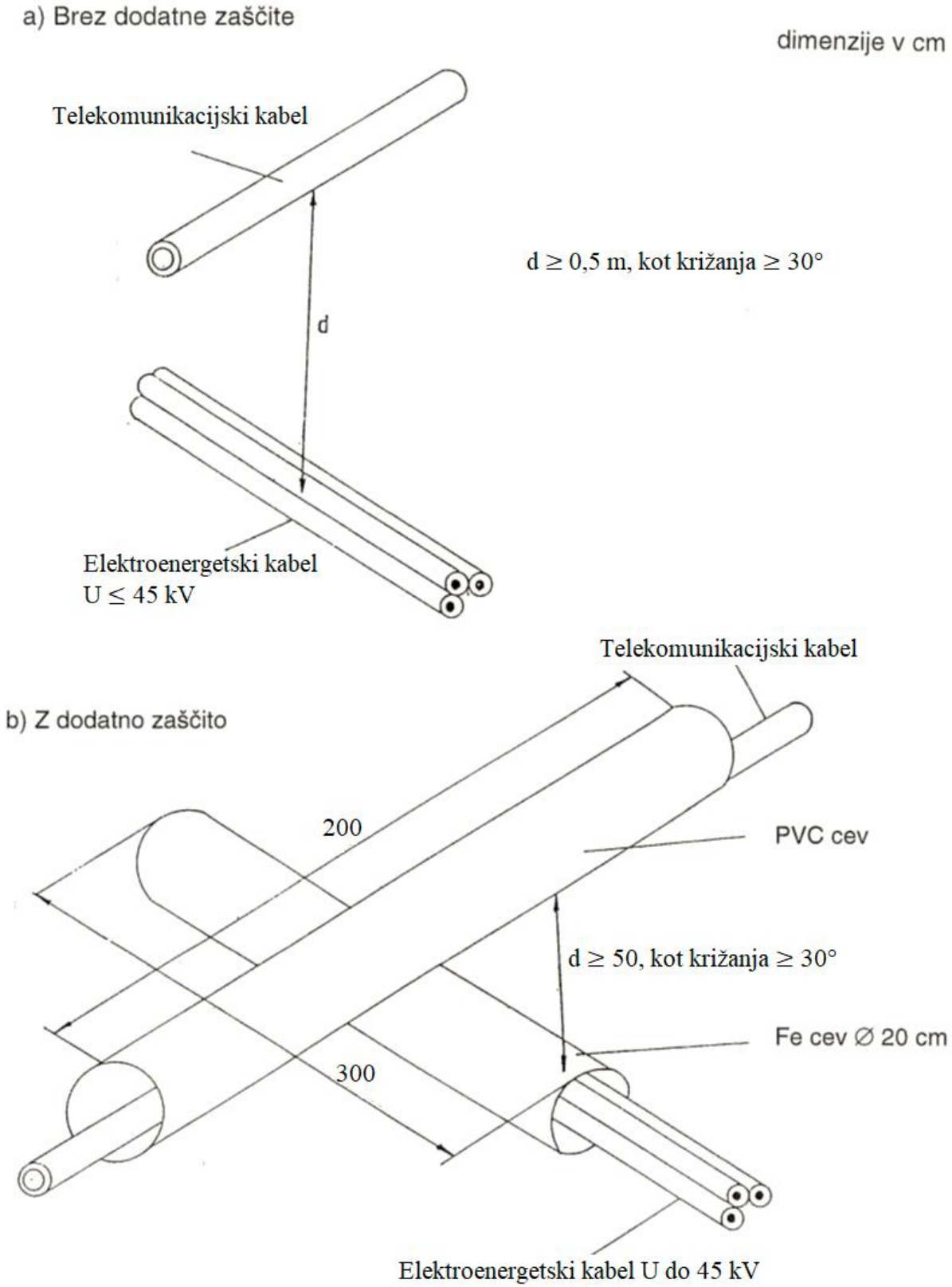
LEGENDA:

1 - kanalizacijska cev
2 - suhi beton C 8/10
3 - TPE ali Fe cev
4 - elektroenergetski kabel
5 - zdrobljena zemlja ali pesek
6 - dodatna mehanska - opozorilna zaščita
7 - opozorilni trak
8 - nabita zemlja

Priloga A 23 Križanje elektroenergetskih kablov in kanalizacije (primarne in sekundarne)

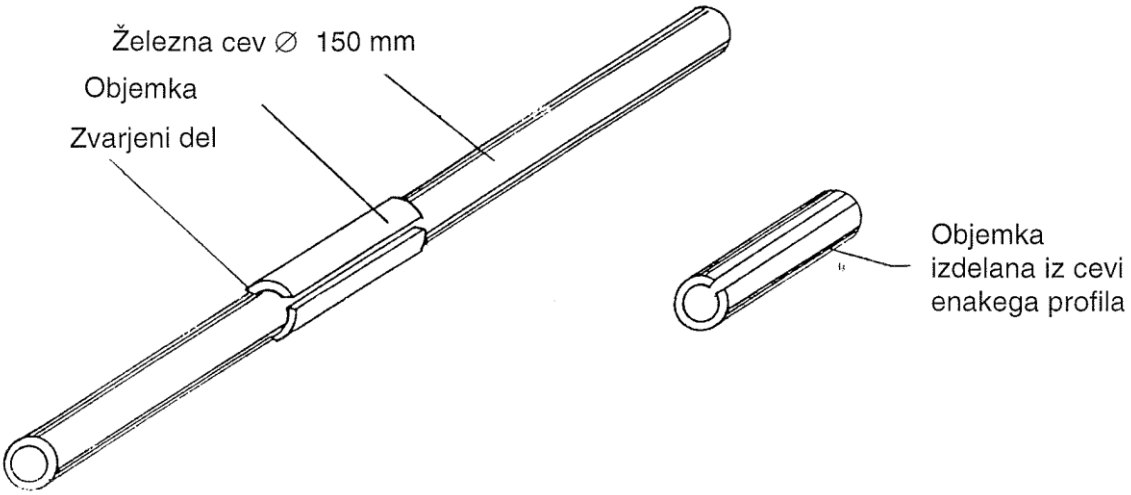


Priloga A 24 Primeri poteka elektroenergetskih kablov v bližini drugih objektov

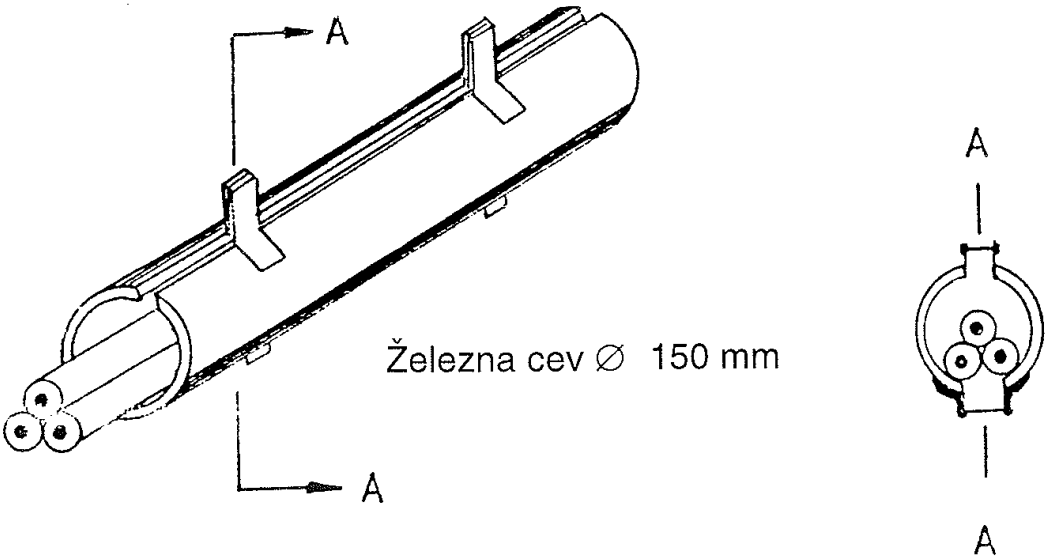


Priloga A 25 Križanje elektroenergetskih kablov in telekomunikacijskih vodov

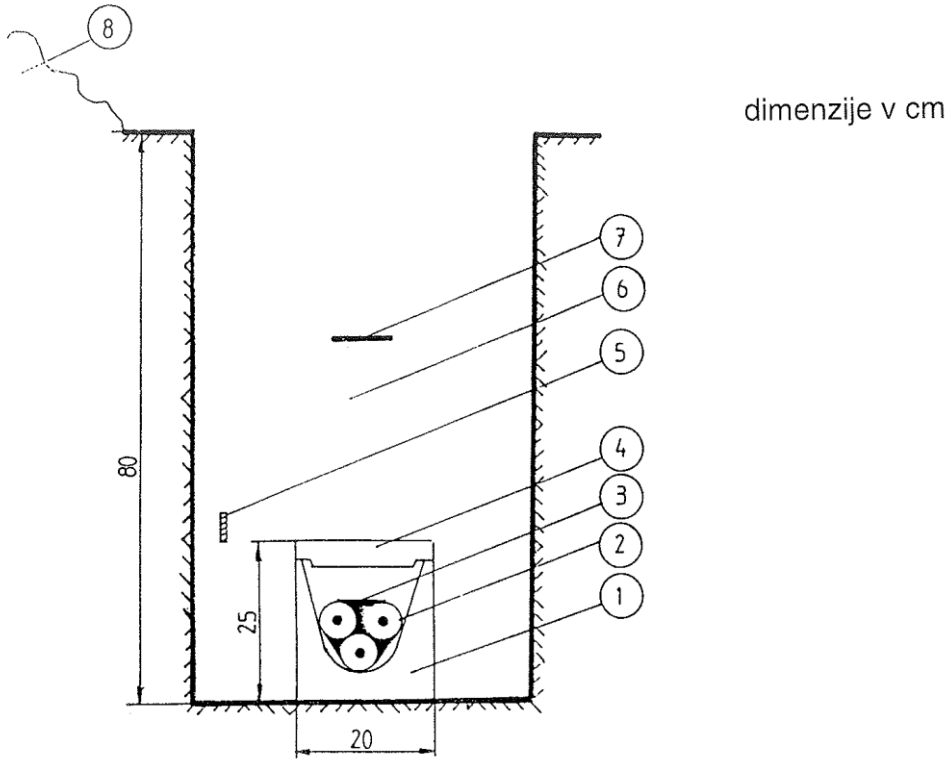
a) Spajanje novih cevi z varjenjem z vgradnjo objemke



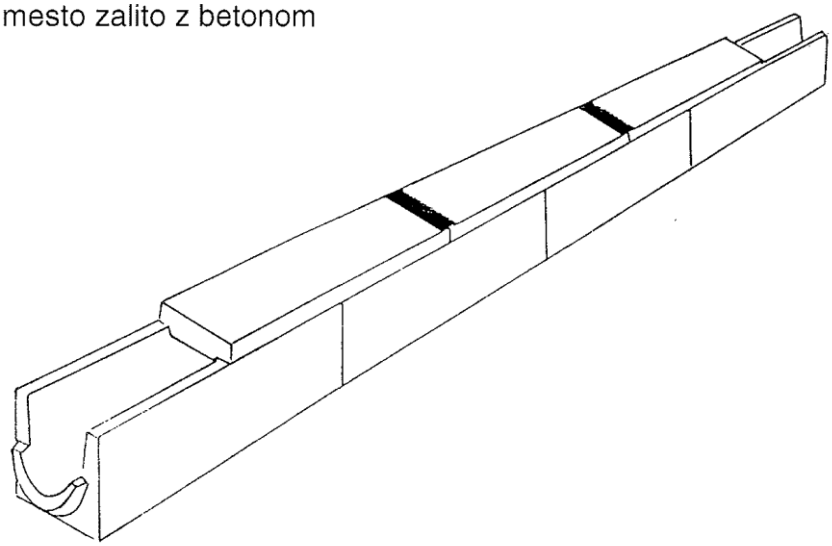
b) Primer naknadne namestitve kovinskih zaščitnih polcevi na že položene kabelske sisteme



Priloga A 26 Primeri medsebojnega spajanja kovinskih cevi kot dodatne zaščite kablov



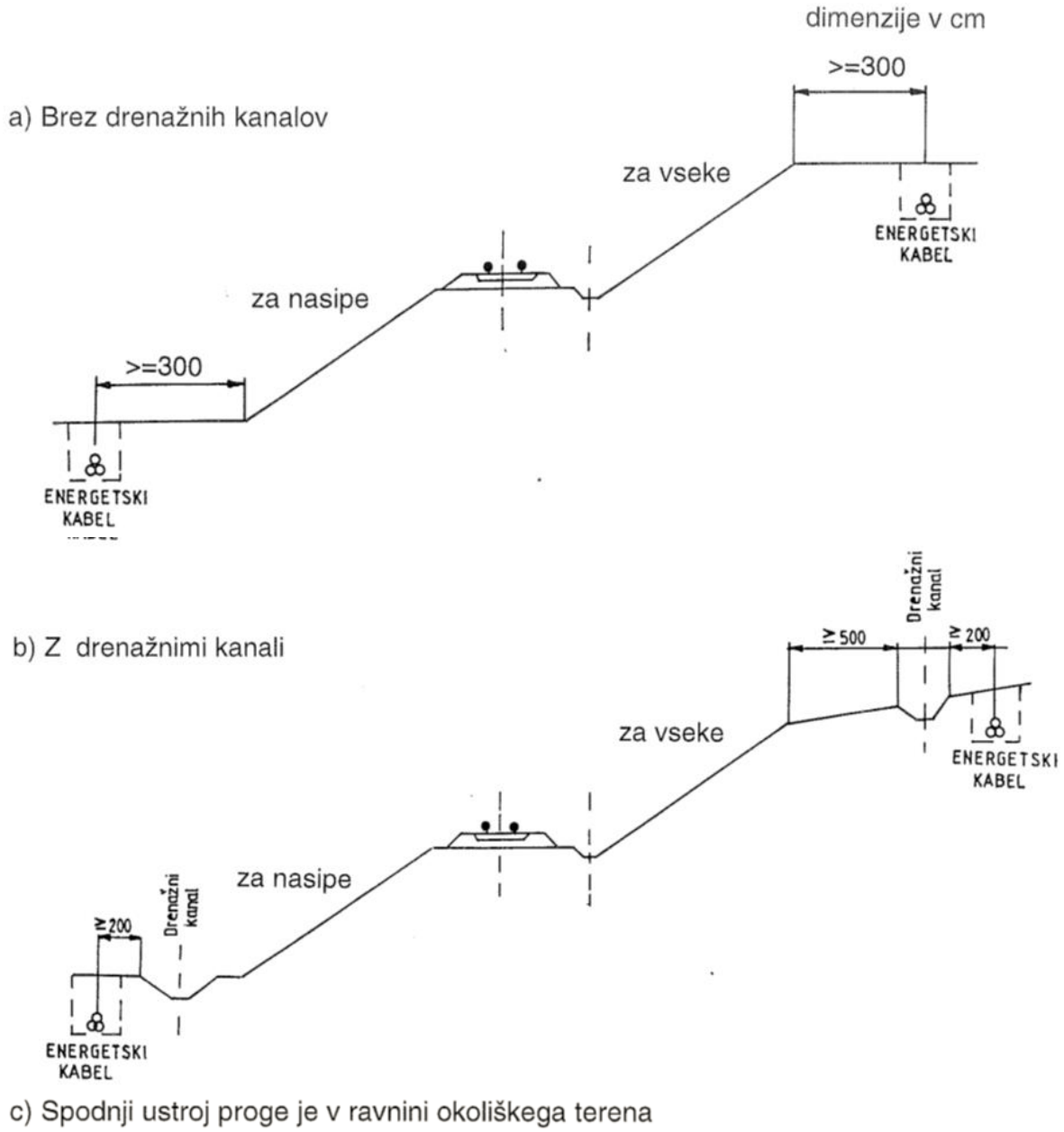
Spojno mesto zalito z betonom

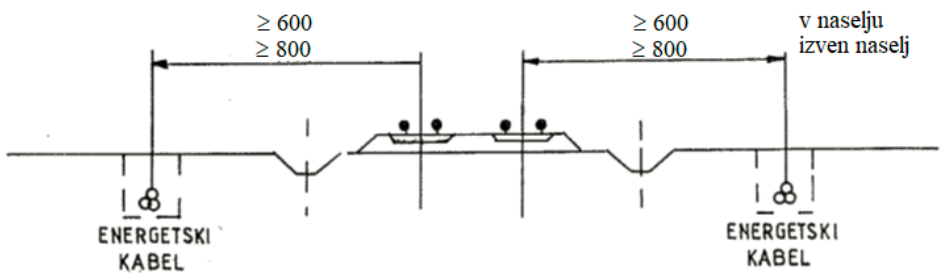


LEGENDA:

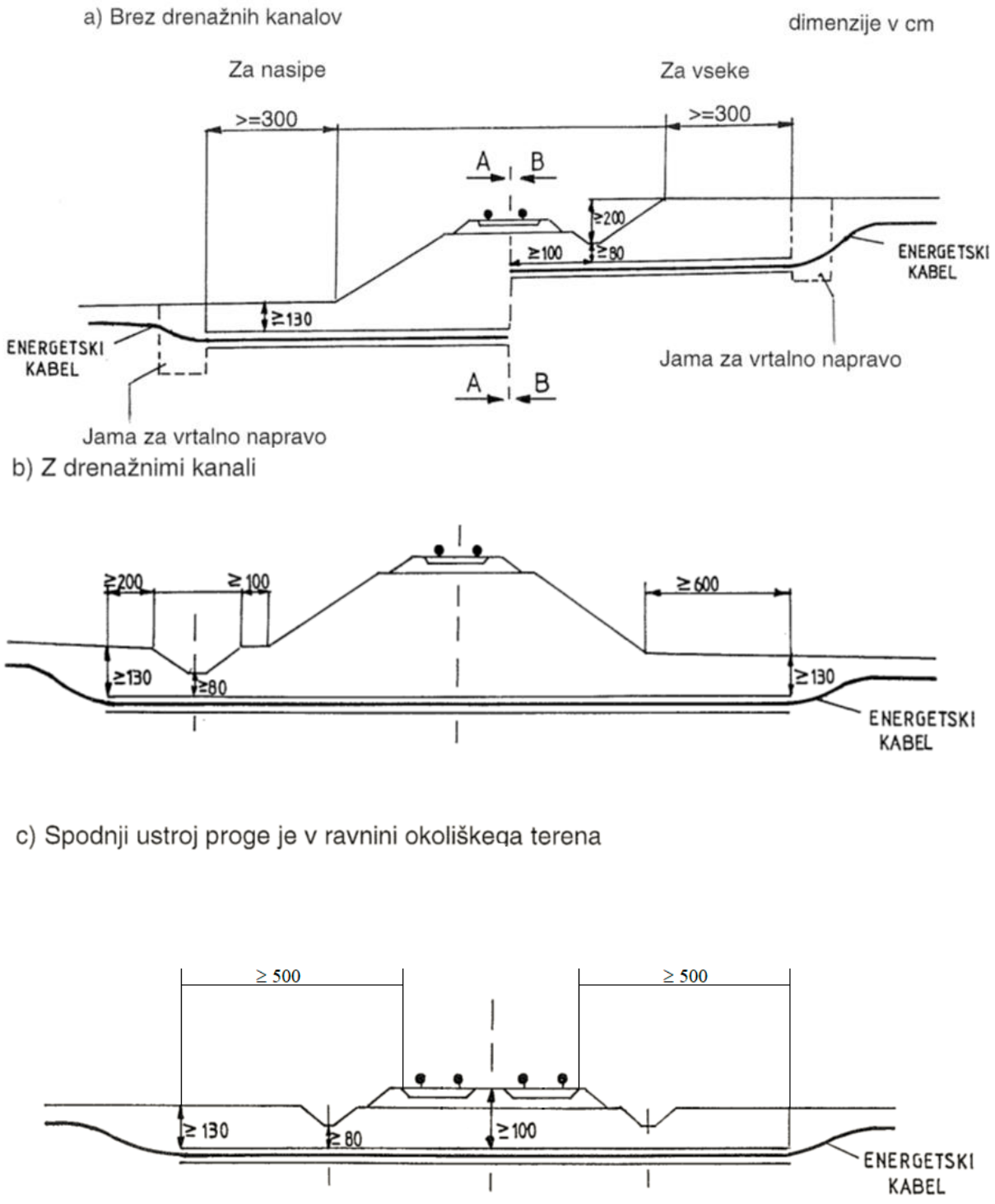
1 - montažni betonski “U” profil
2 - elektroenergetski kabel
3 - objemka kabla (za enožilne sisteme)
4 - pokrov “U” profila
5 - ozemljilni trak
6 - nabita zemlja ali plast proda
7 - opozorilni trak
8 - izkopana zemlja

Priloga A 27 Primer mehanske zaščite pri polaganju kablov v montažne betonske profile



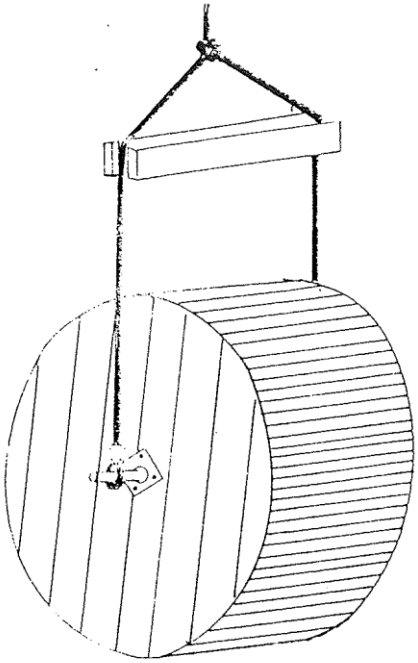


Priloga A 28 Primeri paralelnega poteka elektroenergetskih kablov ob železniški progi

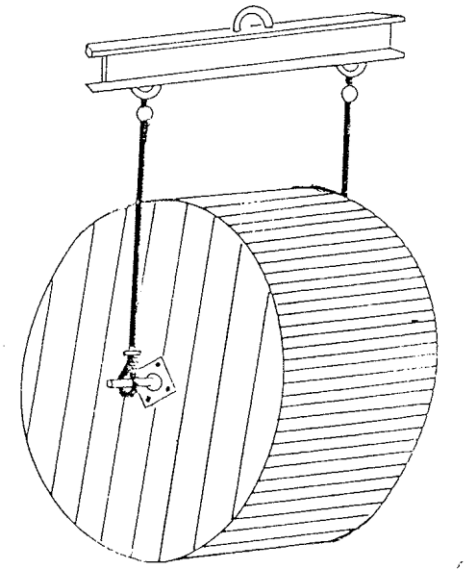


Priloga A 29 Primeri križanja elektroenergetskih kablov z železniško progo

1. Dvigovanje kabelskega bobna

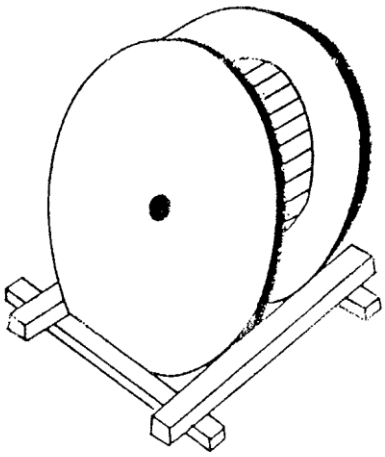


a) Z leseno razporo



b) S posebnim nosilcem

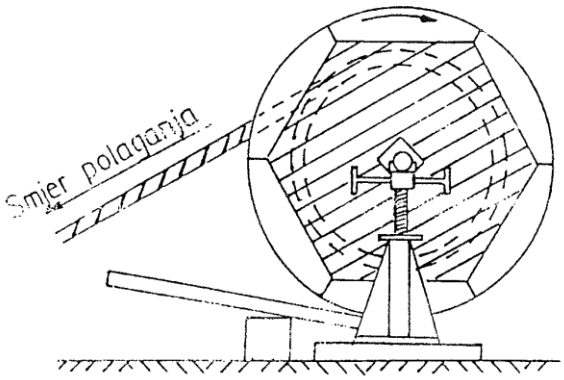
2. Zavarovanje bobna na dostopnih mestih



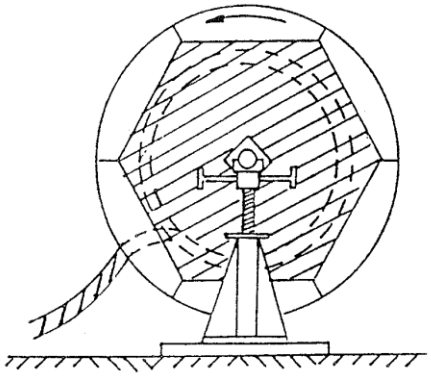
Priloga A 30 Dvigovanje, premeščanje in zavarovanje kabelskih bobnov

1. Dvigovanje in odvijanje kabla

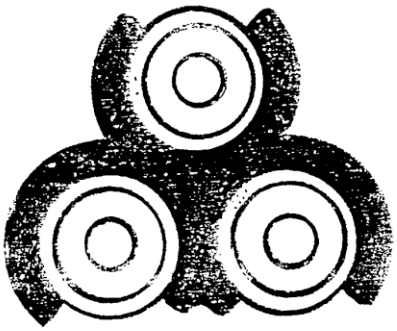
a) Pravilno

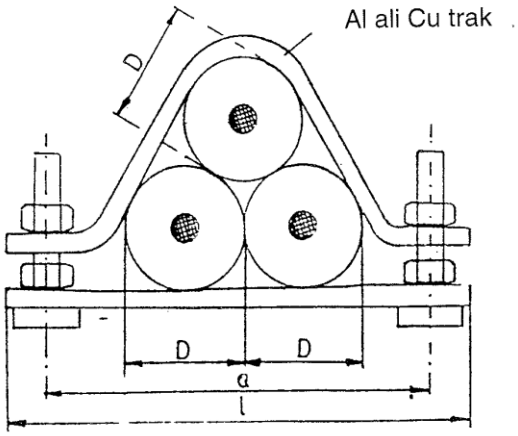


b) Nepravilno



2. Učvrstitev kablov

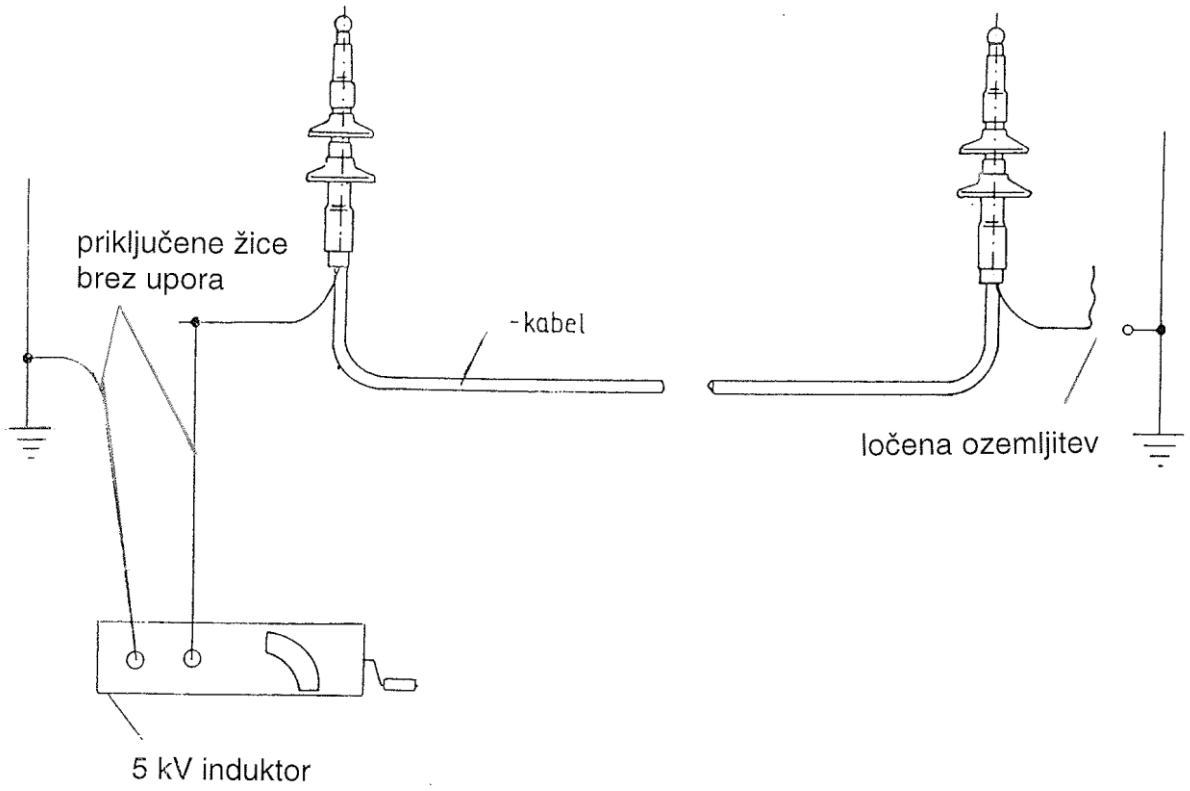




a) Učvrstitev kablov v rovu

b) Pričvrstitev kablov na police

Priloga A 31 Primer polaganja in pričvrstitve kablov



1. Pri preizkušanju je potrebno kot osebno zaščitno sredstvo uporabljati zaščitne rokavice

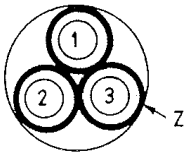
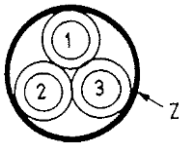
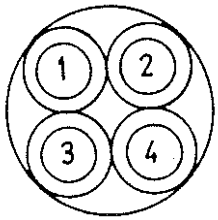
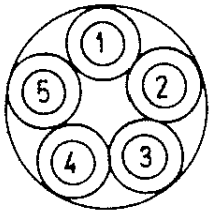
2. Bakreno žico ekrana je potrebno na obeh straneh kabla ločiti od ozemljitve

3. Kabelski induktor za 5 kV je potrebno priključiti na bakreno žico in ozemljitev

4. Pri dvigovanju napetosti moramo spremljati vrednost izolacijske upornosti. Dober kabelski plašč ima vrednost izolacijske upornosti večjo od 5 MΩ.

5. Kabelski plašč po preskusu ozemljimo preko zaščitnega upora, po preteku ene minute pa ga smemo direktno ozemljiti.

Priloga A 32 Preizkušanje zunanjega plašča kabla z induktorjem (vezalna shema)

Zap. štev.	Konstrukcija kabla	Izvedba	Način priključitve preizkusne napetosti
1.	Preizkus enožilnega kabla z ekranom ali kovinskim plaščem		1 proti Z
2.	Preizkus trižilnega ekraniziranega kabla		1+2+3 proti Z
3.	Preizkus trižilnega kabla s skupnim ekranom, koncentričnim vodnikom, kovinskim plaščem ali armaturo		1 proti 2+3+Z 2 proti 3+1+Z 3 proti 1+2+Z
4.	Preizkus štirižilnega kabla brez zunanje kovinske zaščite		1 proti 2+3+4 2 proti 3+4+1 3 proti 4+1+2 4 proti 1+2+3
5.	Preizkus petžilnega kabla brez zunanje kovinske zaščite		1 proti 2+3+4+5 2 proti 1+3+4+5 3 proti 1+2+4+5 4 proti 1+2+3+5 5 proti 1+2+3+4

Z zaščitni vodnik oziroma zemlja

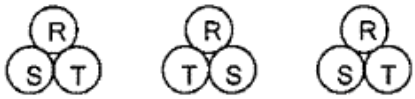
OPOMBA:

V kolikor imajo kabli pod številkama 4 in 5 zunanji kovinski plašč ali armaturo, je potrebno vsako žilo preizkusiti proti ostalim žilam in proti kovinskem plašču kot pod zap. štev. 3.

Priloga A 33 Način priključitve preizkusne napetosti

1. Kabli položeni v trikotni formaciji

Priporočljiva razmestitev:



Razmestitev, ki se jo je potrebno izogibati, saj se tokovna obremenljivost močno zmanjša zaradi tokov v kovinskih zaslonih.

2. Kabli položeni v ravninski formaciji

Priporočljiva razmestitev:

Razmestitev, ki se jo je potrebno izgibati, saj se tokovna obremenljivost močno zmanjša zaradi tokov v kovinskih zaslonih.

Priloga A 34 Priporočljive razporeditve elektroenergetskih kablov posameznih faz v primeru večjega števila kablov v posamezni fazi v odvisnosti od načina razmestitve

Priloga A 35 Sočasno polaganje SN kablov v vseh treh fazah

13 PRILOGA B

SEZNAM UPORABLJENIH PRAVILNIKOV IN STANDARDOV

1. STANDARDI SIST
- Splošni standardi
- Preskusi na električnih in optičnih kablih v požarnih razmerah
- Materiali za izoliranje in oplaščenje električnih in optičnih kablov
- Specifični standardi
- Sistemi kabelskih polic
- Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih do 1 kV (AC) in 1,5 kV (DC)
- Označevanje kablov
- Navodila za uporabo harmoniziranih nizkonapetostnih kablov
- Kabli za nazivno napetost do 1 kV

-

2. STANDARDI IEC
- Splošni standardi
- Materiali za izoliranje in oplaščenje električnih in optičnih kablov
- Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih do 1 kV (AC) in 1,5 kV (DC)

-

3. STANDARDI VDE
- VDE standardi v zvezi z vplivom elektroenergetskih kablov na šibkotočne (informacijske) komunikacije
- Nizkonapetostni kabli (Grupe 2: Energieleiter)
- VDE standardi za elektroenergetske kable z izolacijo XLPE
- Splošni pojmi in določila
- Izolacijski materiali (Grupe 3 – Isolierstoffe)
- Preskušanje kablov (Grupe 4 – Messen, Steueren, Pruefen)
- Preskušanje kablov (Grupe 8 – Informationstechnik

-

4. PRAVILNIKI, NORMATIVI IN STANDARDI OSTALE INFRASTRUKTURE

STANDARDI SIST

Splošni standardi	
EN 62275:2020	Sistemi za urejanje pokabljenja - Kabelske vezice za električne napeljave (IEC 62275:2006, spremenjen) Cable management systems - Cable ties for electrical installations (IEC 62275:2018 2006, modified)
SIST EN 60332 SER2020	Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions - All Parts
SIST EN 60332-3-2018 EN 60332-3-10:2009	Preskusi na električnih kablih in kablih iz optičnih vlaken v požarnih razmerah - 3-10. del: Preskus navpičnega širjenja ognja po navpično pritrjenih snopih žic ali kablov - Preskuševalna naprava (IEC 60332-3-10:2018) Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions - Part 3-10: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables – Apparatus (IEC 60332-3-10:2018)
SIST EN 60332-3-21 2018: EN 60332-3-21:2009	Preskusi na električnih kablih v požarnih razmerah - 3-21. del: Preskus navpičnega širjenja ognja po navpično pritrjenih snopih žic ali kablov - Kategorija A F/R (IEC 60332-3-21:2000, spremenjen) Tests on electric cables under fire conditions - Part 3-21: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables - Category A F/R
SIST EN 60332-3-22: 2018 EN 60332-3-22:2009	Preskusi na električnih kablih in kablih iz optičnih vlaken v požarnih razmerah - 3-22. del: Preskus navpičnega širjenja ognja po navpično pritrjenih snopih žic ali kablov - Kategorija A (IEC 60332-3-22:2000 + A1:2008) Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions - Part 3-22: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables - Category A
SIST EN 60332-3-23: 2018 EN 60332-3-23:2009	Preskusi na električnih kablih in kablih iz optičnih vlaken v požarnih razmerah - 3-23. del: Preskus navpičnega širjenja ognja po navpično pritrjenih snopih žic ali kablov - Kategorija B (IEC 60332-3-23:2000 + A1:2008) Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions - Part 3-23: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables - Category B
SIST EN 60332-3-24: 2018 EN 60332-3-24:2009	Preskusi na električnih kablih in kablih iz optičnih vlaken v požarnih razmerah - 3-24. del: Preskus navpičnega širjenja ognja po navpično pritrjenih snopih žic ali kablov - Kategorija C (IEC 60332-3-24:2000 + A1:2008) Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions - Part 3-24: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables - Category C
SIST EN 50266-2-5:2002 SIST EN 60332-3-25: 2018 EN 60332-3-25:2009	Preskusi na električnih kablih in kablih iz optičnih vlaken v požarnih razmerah - 3-25. del: Preskus navpičnega širjenja ognja po navpično pritrjenih snopih žic ali kablov - Kategorija D (IEC 60332-3-25:2000 + A1:2008) Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions - Part 3-25: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables - Category D
SIST EN 50363-0:2011	Insulating, sheathing and covering materials for low-voltage energy cables - Part 0: General introduction

SIST EN 50363-1:2006	Materiali za izoliranje, oplaščenje in prevleke nizkonapetostnih energetskih kablov – 1. Del: Omrežene elastomerne snovi za izoliranje Insulating, sheathing and covering materials for low voltage energy cables - Part 1: Cross-linked elastomeric insulating compounds
SIST EN 50363-2-1:2006	Materiali za izoliranje, oplaščenje in prevleke nizkonapetostnih energetskih kablov – 2-1. Del: Omrežene elastomerne snovi za oplaščenje – Insulating, sheathing and covering materials for low voltage energy cables – Part 2-1: Cross-linked elastomeric sheathing compounds EN 50363-2-1:2005/A1:2011
SIST EN 50363-2-2:2006	Materiali za izoliranje, oplaščenje in prevleke nizkonapetostnih energetskih kablov – 2-2. Del: Omrežene elastomerne sestavine za prevleke – Insulating, sheathing and covering materials for low voltage energy cables – Part 2-2: Cross-linked elastomeric covering compounds EN 50363-2-2:2005
SIST EN 50363-3:2006 + A1:2011	Materiali za izoliranje, oplaščenje in prevleke nizkonapetostnih energetskih kablov – 3. Del: Polivinilkloridne (PVC) mase za izoliranje – Insulating, sheathing and covering materials for low voltage energy cables – Part 3: PVC insulating compounds EN 50363-3:2005/A1:2011
SIST EN 50363-4-1:2006	Materiali za izoliranje, oplaščenje in prevleke nizkonapetostnih energetskih kablov – 4-1. Del: Polivinilkloridne (PVC) mase za oplaščenje – Insulating, sheathing and covering materials for low voltage energy cables – Part 4-1: PVC sheathing compounds EN 50363-4-1:2005
SIST EN 50363-4-2:2006	Materiali za izoliranje, oplaščenje in prekritje nizkonapetostnih energetskih kablov – 4-2. Del: Polivinilkloridne (PVC) mase za prevleke – Insulating, sheathing and covering materials for low voltage energy cables – Part 4-2: PVC covering compounds EN 50363-4-2:2005
SIST EN 50363-5:2006 + A1:2012	Materiali za izoliranje, oplaščenje in prekritje nizkonapetostnih energetskih kablov – 5. Del: Brezhalogenske omrežene mase za izolacijo - Insulating, sheathing and covering materials for low voltage energy cables – Part 5: Halogen-free, cross-linked insulating compounds EN 50363-5:2005/A1:2011
SIST EN 50363-6:2006 +A1:2012	Materiali za izoliranje, oplaščenje in prekritje nizkonapetostnih energetskih kablov – 6. Del: Brezhalogenske omrežne mase za oplaščenje - Insulating, sheathing and covering materials for low voltage energy cables – Part 6: Halogen-free, cross-linked sheathing compouds EN 50363-6:2005/A1:2011
SIST EN 50363-7:2006	Materiali za izoliranje, oplaščenje in prekritje nizkonapetostnih energetskih kablov – 7. Del: Brezhalogenske plastomerne mase za izolacijo - Insulating, sheathing and covering materials for low voltage energy cables – Part 7: Halogen-free, thermoplastic insulating compounds EN 50363-7:2005
SIST EN 50363-8:2006 +A1:2012	Materiali za izoliranje, oplaščenje in prekritje nizkonapetostnih energetskih kablov – 8. Del:- Brezhalogenske plastomerne mase za oplaščenje - Insulating, sheathing and covering materials for low voltage energy cables – Part 8: Halogen-free, thermoplastic sheathing compounds EN 50363-8:2005/A1:2011
SIST EN 50363-9-1:2006	Materiali za izoliranje, oplaščenje in prekritje nizkonapetostnih energetskih kablov – 9-1. Del:- Različne mase za izolacijo Omreženi polivinilklorid (XLPVC) - Insulating, sheathing and covering,materials for low voltage energy cables – Part 9-1: Miscellaneous insulating compounds – Crosslinked polyvinyl chloride (XLPVC) EN 50363-9-1:2005

SIST EN 50363-10-1:2006	Materiali za izoliranje, oplaščenje in prekritje nizkonapetostnih energetskih kablov – 10-1. Del: Različne mase za oplaščanje – Omreženi polivinilklorid (XLPVC) - Insulating, sheathing and covering materials for low voltage energy cables – Part 10-1: Miscellaneous sheathing compounds – Crosslinked polyvinyl chloride (XLPVC) EN 50363-10-1:2005
SIST EN 50363-10-2:2006	Materiali za izoliranje, oplaščenje in prekritje nizkonapetostnih energetskih kablov – 10-2. Del: Različne mase za oplaščenje – Plastomerni poliuretan Insulating, sheathing and covering materials for low voltage energy cables – Part 10-2: Miscellaneos sheathing compounds – Thermoplastic polyurethane EN 50363-10-2:2005
SIST EN 50395:2005 +A1:2011	Metode za preskušanje električnih lastnosti nizkonapetostnih energetskih kablov - Electrical test methods for low voltage energy cables EN 50395:2005/A1:2011
SIST EN 50393:2015	Preskusne metode in zahteve za pribor, ki se uporablja na distribucijskih kablih za naznačene napetosti 0,6/1,0 (1,2) kV - Test methods and requirements for accessories for use on distribution cables of rated voltage 0,6/1,0 (1,2) kV EN 50393:2006
SIST EN 50396:2005 A1:2011	Metode za preskušanje neelektričnih lastnosti nizkonapetostnih energetskih kablov - Non electrical test methods for low voltage energy cables EN 50396:2005/A1:2011
SIST EN 60228:2005	Vodniki izoliranih kablov (IEC 60228:2004, spremenjen) EN 60228:2005: Conductors of insulated cables (IEC 60228:2004,modified)
SIST EN 60243-1:2013 EN 60243-1:2013	Electrical strenght of insulation materials - Test methods - Part 1: Tests at power frequencies (IEC 60243-1:2013)
SIST EN 60243-2:2014 EN 60243-2:2014	Electric strength of insulating materials - Test methods - Part 2: Additional requirements for tests using direct voltage (IEC 60243-2:2013)
SIST EN 60243-3:2014 EN 60243-3:2014	Electrical strength of insulating materials - Test methods - Part 3: Additional requirements for 1,2/50 µs impulse tests (IEC 60243-3:2013)
Preskusi na električnih kablih in kablih iz optičnih vlaken v požarnih razmerah	
SIST EN 60332-1-1:2005 +A1:2015 EN 60332-1-1:2004 + A1:2015	Preskusi na električnih kablih in kablih iz optičnih vlaken v požarnih razmerah – 1-1. Del: Preskus navpičnega širjenja ognja po posamezni izolirani žici ali kablu Preskuševalna naprava (IEC 60332-1-1:2004) Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-1: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Apparatus (IEC 60332-1-1:2004 + A1:2015
SIST EN 60332-1-2:2005 +A1:2015 +A11:2016 EN 60332-1-2:2004 + A1:2015 + A11:2016	Preskusi na električnih kablih in kablih iz optičnih vlaken v požarnih razmerah – 1-2. Del: Preskus navpičnega širjenja ognja po posamezni izolirani žici ali kablu Postopek za predmešani plamen 1 kW (IEC 60332-1-2:2004) - Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-2: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for 1 kW pre-mixed flame (IEC 60332-1-2:2004+A1:2015)
SIST EN 60332-1-3:2005 +A1:2015 EN 60332-1-3:2004 +A1:2015	Preskusi na električnih kablih in kablih iz optičnih vlaken v požarnih razmerah – 1-3. Del: Preskus navpičnega širjenja ognja po posamezni izolirani žici ali kablu – postopek za ugotavljanje gorečih kapljic/delcev (IEC 60332-1-3:2004) - Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-3: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for determination of flaming droplets/particles (IEC 60332-1-3:2004+A1:2015)

SIST EN 60332-2-1:2005 EN 60332-2-1:2004	Preskusi na električnih kablih in kablih iz optičnih vlaken v požarnih razmerah – 2-1. Del: Preskus navpičnega širjenja ognja po posamezni majhni izolirani žici ali kablu – Preskuševalna naprava (IEC 60332-2-1:2004) Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 2-1: Test for vertical flame propagation for a single small insulated wire or cable – Apparatus (IEC 60332-2-1:2004)
SIST EN 60332-2-2:2005 EN 60332-2-2:2004	Preskusi na električnih kablih in kablih iz optičnih vlaken v požarnih razmerah – 2-2. Del: Preskus navpičnega širjenja ognja po posamezni majhni izolirani žici ali kablu – Postopek z difuzijskijskim plamenom (IEC 60332-2-2:2004) - Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 2-2: Test for vertical flame propagation for a single small insulated wire or cable – Procedure for diffusion flame(IEC 60332-2-2:2004)
SIST EN 60423:2008 EN 60423:2007	Kanalski sistemi za urejanje okablenja – Zunanji premeri kanalov za kabelske inštalacije in navoje kanalov in fitingov (IEC 60423:2007) - Conduit systems for cable management – Outside diameters of conduits for electrical installations and threads for conduits and fittings (IEC 60423:2007)
SIST EN 60454-1:1998 EN 60454-1:1994	Samolepilni trakovi za električne namene - 1. Del: Preskuševalne metode (IEC 60454-1:1992) Pressure-sensitive adhesive tapes for electrical purposes - Part 1: General requirements (IEC 60454-1:1992)
SIST EN 60454-2:2007 EN 60454-2:2007	Samolepilni trakovi za električne namene - 2. Del: Preskuševalne metode (IEC 60454-2:2007) Pressure-sensitive adhesive tapes for electrical purposes - Part 2: Methods of test (IEC 60454-2:2007)
SIST EN 60454-3-11:2007 EN 60454-3-11:2007	Samolepilni trakovi za električne namene – 3. Del: Specifikacije za posamezne materiale – 11. List: Kombinacije poliestrske folije s steklenim polnilom, nakodrani celuloznim papir, poliestrski netkani, epoksidni in samolepilni trakovi (IEC 60454-3-11:2007) Pressure-sensitive adhesive tapes for electrical purposes - Part 3: Specifications for individual materials - Sheet 11: Polyester film combinations with glass filament, creped cellulosic paper, polyester non-woven, epoxy and pressure-sensitive adhesives (IEC 60454-3-11:2007)
Električni in optični kabli - Preskuševalne metode za nekovinske material	
SIST EN 60811-201:2012+EN A1:2017 SIST EN 60811-202:2012 SIST EN 60811-203:2012 SIST EN 60811-501:2012	Električni in optični kabli - Preskuševalne metode za nekovinske material Electric and optical fibre cables - Test methods for non-metallic materials 201. del: Splošni preskusi - Meritev debeline izolacije Part 201: General tests - Measurement of insulation thickness 202. del: Meritve debeline nekovinskih plaščev Part 202: General tests - Measurement of thickness of non-metallic sheath 203. del: Splošni preskusi - Meritev skupnih mer Part 203: General tests - Measurement of overall dimensions 501. del: Mehanski preskusi - Preskusi za ugotavljanje mehanskih lastnosti zmesi za izolacije in oplaščenja Part 501: Mechanical tests - Tests for determining the mechanical properties of insulating and sheathing compounds
SIST EN 60811-401:2012 + EN AMD1 2017 CSV	Električni in optični kabli - Preskuševalne metode za nekovinske material

SIST EN 60811-412:2012 + EN A1 2017 CSV	Electric and optical fibre cables - Test methods for non-metallic materials 401. del: Drugi preskusi - Metode termičnega staranja - Staranje v zračni peči (na vroči zrak) Part 401: Miscellaneous tests -Thermal ageing methods - Ageing in an air oven 412. del: Drugi preskusi - Metode termičnega staranja - Staranje v zračni komori Part 412: Miscellaneous tests - Thermal ageing methods - Ageing in an air bomb
SIST EN 60811-402:2012 SIST EN 60811-502:2012 SIST EN 60811-503:2012 SIST EN 60811-606:2012	402. del: Drugi preskusi - Preskusi vpijanja vode Part 402: Miscellaneous tests - Water absorption tests 502. del: Mehanski preskusi - Preskus skrčenja izolacije Part 502: Mechanical tests - Shrinkage test for insulations 503. del: Mehanski preskusi - Preskus skrčenja plaščev Part 503: Mechanical tests - Shrinkage test for sheaths 606. del: Fizični preskusi - Metode za ugotavljanje gostote Part 606: Physical tests - Methods for determining the density
SIST EN 60811-504:2012 SIST EN 60811-505:2012 SIST EN 60811-506:2012	504. del: Mehanski preskusi - Preskusi upogibanja izolacije in plaščev pri nizkih temperaturah Part 504: Mechanical tests - Bending tests at low temperature for insulation and sheaths 505. del: Mehanski preskusi - Podaljševanje izolacij in plaščev pri nizki temperaturi Part 505: Mechanical tests - Elongation at low temperature for insulations and sheaths 506. del: Mehanski preskusi - Udarni preskus pri nizki temperaturi za izolacije in plašče Part 506: Mechanical tests - Impact test at low temperature for insulations and sheaths
SIST EN 60811-403:2012 SIST EN 60811-404:2012 SIST EN 60811-507:2012	14 403. del: Drugi preskusi - Preskusi odpornosti zamreženih zmesi proti ozonu - Part 403: Miscellaneous tests - Ozone resistance test on crosslinked compounds 404. del: Drugi preskusi - Preskusi plaščev s potapljanjem v mineralna olja Part 404: Miscellaneous tests - Mineral oil immersion tests for sheaths 15 507. del: Mehanski preskusi - Preskus toplotnega raztezanja zamreženih materialov 16 Part 507: Mechanical tests - Hot set test for cross-linked materials
SIST EN 60811-508:2012 +EN A1:2017CSV SIST EN 60811-509:2012 +EN A1:2017CSV	17 508. del: Mehanski preskusi - Tlačni preskus izolacije in plaščev pri visoki temperaturi 18 Part 508 : Mechanical tests - Pressure test at high temperature for insulation and sheaths 19 509. del: Mehanski preskusi - Preskus odpornosti izolacije in plaščev proti pokanju (preskus s toplotnim šokom) 20 Part 509: Mechanical tests - Test for resistance of insulations and sheaths to cracking (heat shock test)

SIST EN 60811-405:2012 SIST EN 60811-409:2012 SIST EN 60811-407:2012 SIST EN 60811-408:2012	405. del: Drugi preskusi - Preskus termične stabilnosti izolacij in plaščev iz PVC 409. del: Drugi preskusi - Preskus izgube mase pri termoplastičnih izolacijah in plaščih 407. del: Drugi preskusi - Meritve povečanja mase polietilenskih in polipropilenskih zmesi 408. del: Drugi preskusi - Preskus dolgoročne stabilnosti polietilenskih in polipropilenskih zmes
SIST EN 60811-406:2012 SIST EN 60811-511:2012 +EN A1:2017 CSV SIST EN 60811-605:2012 SIST EN 60811-607:2012	406. del: Drugi preskusi - Odpornost proti pokanju polietilenskih in polipropilenskih zmesi zaradi okoljskega stresa Part 406: Miscellaneous tests - Resistance to environmental stress cracking of polyethylene and polypropylene compounds 511. del: Mehanski preskusi - Meritve indeksa pretoka taline polietilenskih zmesi Part 511: Mechanical tests - Measurement of the melt flow index of polyethylene compounds 605. del: Fizični preskusi - Meritev polnilnih saj oziroma mineralov v polietilenskih zmeseh Part 605: Physical tests - Measurement of carbon black and/or mineral filler in polyethylene compounds 607. del: Fizični preskusi - Preskus za ocenitev disperzije saj v polietilenu in polipropilenu Part 607: Physical tests - Test for the assessment of carbon black dispersion in polyethylene and polypropylene
SIST EN 60811-301:2012 SIST EN 60811-302:2012 SIST EN 60811-411:2012 SIST EN 60811-601:2012 SIST EN 60811-602:2012 SIST EN 60811-603:2012 SIST EN 60811-604:2012	301 del: Električni preskusi - Meritev permitivnosti polnilnih zmesi pri 23°C Part 301: Electrical tests - Measurement of the permittivity at 23 °C of filling compounds 302. del: Električni preskusi - Meritve enosmerne upornosti polnilnih zmesi pri 23 °C in 100 °C Part 302: Electrical tests - Measurement of the DC resistivity at 23 °C and 100 °C of filling compounds: 411. del: Drugi preskusi - Krhkost polnilnih zmesi pri nizkih temperaturah Part 411: Miscellaneous tests - Low temperature brittleness of filling compounds 601. del: Fizični preskusi - Meritev kapljišča polnilnih zmesi Part 601: Physical tests - Measurement of the drop-point of filling compounds 602. del: Fizični preskusi - Ločevanje olja iz polnilnih zmesi Part 602: Physical tests - Separation of oil in filling compounds 603. del: Fizični preskusi - Meritev celotnega kislega števila polnilnih zmesi Part 603: Physical tests - Measurement of total acid number of filling compounds 604. del: Meritve odsotnosti korozivnih komponent v polnilnih zmeseh Part 604: Physical tests - Measurement of absence of corrosive components in filling compounds

Specifični standardi	
SIST EN 61034-1:2005 + A1 2014	Merjenje gostote dima pri gorenju kablov pri določenih pogojih – 1.del: Preskusni aparat - Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 1: Test apparatus (IEC 61034-1:2005+A1:2013) nadomestil prejšni standard EN 50268-1:1999
SIST EN 61034-2:2005 + A1 2014	Merjenje gostote dima pri gorenju kablov pri določenih pogojih – 2.del: Preskusni postopek in zahteve (IEC 61034-2:2005+ A1 2013)- Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 2: Test procedure and requirements (IEC 61034-2:2005)
SIST EN 61138:2008	Kabli za prenosno ozemljilno in kratkostično opremo (IEC 61138:2007 (spremenjen) Cables for portable earthing and short-circuiting equipment (IEC 61138:2007 (Modified) EN 61138:2007
Sistemi kabelskih polic	
SIST EN 61537:2007	Urejanje okablenja – Sistemi kabelskih polic in kabelskih lestvic (IEC 61537:2006) - Cable management – Cable tray systems and cable ladder systems (IEC 61537:2006) EN 61537:2007
Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih do 1 kV (AC) in 1,5 kV (DC)	
SIST EN 61557-6:2008	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih za izmenične napetosti do 1 kV in enosmerne napetosti do 1,5 kV – Oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov – 6. del: Naprave na preostali (residualni) tok v sistemih TT, NT in IT (IEC 61557-6:2007) - Electrical safety in low voltagedistribution systems up to 1 000 V AC and 1 500 V DC – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 6: Effectiveness of residual current devices (RCD) in TT, TN and IT systems (IEC 61557-6:2007) EN 61557-6:2007
SIST EN 61557-7:2007	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih z napetostmi do 1 kV (AC) in 1,5 kV (DC) – Oprema za preskušanje, meritve ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov – 7. del: Fazno zaporedje (IEC 61557-7: 2007) - Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1000 V AC and 1500 V DC – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 7: Phase sequence (IEC 61557-7: 2"7) EN 61557-7: 2007
SIST EN 61557-1:2007	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih izmenične napetosti do 1 kV in enosmerne napetosti do 1,5 kV - Oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov - 1. del: Splošne zahteve (IEC 61557-1:2007)
SIST EN 61557-2:2007	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih izmenične napetosti do 1 kV in enosmerne napetosti do 1,5 kV - Oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov - 2. del: Izolacijska upornost (IEC 61557-2:2007)
SIST EN 61557-3:2007	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih za izmenične napetosti do 1 kV in enosmerne napetosti do 1,5 kV - Oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov - 3. del: Impedanca zanke (IEC 61557-3:2007)
SIST EN 61557-4:2007	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih izmenične napetosti do 1 kV in enosmerne napetosti do 1,5 kV - Oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov - 4. del: Upornost ozemljitvenega priključka in izenačitev potencialov (IEC 61557-4:2007)

SIST EN 61557-5:2007	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih izmenične napetosti do 1 kV in enosmerne napetosti do 1,5 kV - Oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov - 5. del: Ozemljitvena upornost (IEC 61557-5:2007)
SIST EN 61557-8:2015	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih izmenične napetosti do 1 kV in enosmerne napetosti do 1,5 kV - Oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov - 8. del: Naprave za nadzorovanje izolacije v IT sistemih (IEC 61557-8:2014)
SIST EN 61557-9:2015	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih za izmenične napetosti do 1 kV in enosmerne napetosti do 1,5 kV - Oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov - 9. del: Oprema za ugotavljanje mesta izolacijske okvare v IT-sistemih
SIST EN 61557-10:2013	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih za izmenične napetosti do 1 kV in enosmerne napetosti do 1,5 kV - Oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov - 10. del: Kombinirana merilna oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov (IEC 61557-10:2013)
SIST EN 61557-11:2009	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih izmenične napetosti do 1 kV in enosmerne napetosti do 1,5 kV - Oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov - 11. del: Učinkovitost naprav za nadzorovanje preostalega toka (RCM) tipa A in tipa B v sistemih TT, TN in IT (IEC 61557-11:2009)
SIST EN 61557-12:2008	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih izmenične napetosti do 1 kV in enosmerne napetosti do 1,5 kV - Oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov - 12. del: Naprave za merjenje in nadzorovanje lastnosti/parametrov električnih omrežij (IEC 61557-12:2007)
SIST EN 61557-13:2011	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih izmenične napetosti do 1 kV in enosmerne napetosti do 1,5 kV - Oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov - 13. del: Ročne in ročno upravljane tokovne klešče in senzorji za merjenje uhajavih tokov v električnih razdelilnih sistemih (IEC 61557-13:2011)
SIST EN 61557-14:2013	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih za izmenične napetosti do 1 kV in enosmerne napetosti do 1,5 kV - Oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov - 14. del: Oprema za preskušanje varnosti električne opreme strojev (IEC 61557-14:2013)
SIST EN 61557-15:2014	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih za izmenične napetosti do 1 kV in enosmerne napetosti do 1,5 kV - Oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov - 9. del: Oprema za ugotavljanje mesta izolacijske okvare v IT-sistemih (IEC 61557-9:2014)
SIST EN 61557-16:2015	Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih za izmenične napetosti do 1 kV in enosmerne napetosti do 1,5 kV - Oprema za preskušanje, merjenje ali nadzorovanje zaščitnih ukrepov - 16. del: Oprema za preskušanje učinkovitosti zaščitnih ukrepov električne opreme oziroma medicinske električne opreme (IEC 61557-16:2014)

Označevanje kablov	
SIST HD 308 S2:2002	Identifikacija (razpoznava) žil v kablih in zvijavih vrvicah - Identification of cores in cables and flexible cords HD 308 S2:2001 (veljavnost do 2021-11)
SIST HD 361 S3:1999	Sistem označevanja kablov - System for cable designation HD 361 S3:1999 (veljavnost do 2021-11)
SIST HD 361 S3 A1:2006	Dopolnilo A1:2006 k standardu SIST HD 361 S3:1999 - Amendment A1:2006 to HD 361 S3:1999 HD 361 S3:1999/A1:2006
Navodilo za uporabo harmoniziranih nizkonapetostnih kablov	
SIST EN 50565-2:2014	Navodilo za uporabo kablov z naznaćeno napetostjo, ki ne presega 450/750 V – 2. Del: Podrobno navodilo za vrste kablov po EN 50535
Kabli za nazivne napetosti do 1 kV	
SIST HD 603 S1/A3:2007	Distribucijski kabli za naznačeno napetost 0,6/1 kV HD 603 S1:1994/A3:2007: Distribution cables of rated voltage 0,6/1 kV (Standard A3 se uporablja kot samostojen standard brez predhodnih izdaj)
SIST HD 604 S1:1998	Elektroenergetski kabli za 0,6/1 kV in 1,9/3,3 kV s posebnimi požarnimi lastnostmi za rabo v elektrarnah (elektroenergetskih postajah) 0,6/1 kV and 1,9/3,3 kV Power cables with special fire performance for use in power stations HD 604 S1:1999
SIST HD 604 S1:1998 /A1:1998	Dopolnilo A1:1998 k standardu SIST HD 604 S1:1998 -Amendment A1:1997 to HD 604 S1:1994 HD 604 S1:1994/A1:1997
SIST HD 604 S1:1998 /A2:2003	Dopolnilo A2:2003 k standardu SIST HD 604 S1:1998 Amendment A2:2002 to HD 604 S1:1994 HD 604 S1:1994/A2:2002
SIST HD 604 S1:1998 /A3:2005	Dopolnilo A3:2005 k standardu SIST HD 604 S1:1998- Amendment A3:2005 to HD 604 S1:1994 HD 604 S1:1994/A3:2005
HD 605 S3:2019 SIST HD 605 S2:2009	Električni kabli – Dodatne preskusne metode - Electric cables – Additional test methods SIST HD 605 S3:2019 (veljavnost do 2022-07)
SIST HD 620 S2:2010	Distribucijski kabli z ekstrudirano izolacijo za nazivne napetosti od 3,6/6 (7,2) kV do vključno 20,8/36 (42) kV - Distribution cables with extruded insulation for rated voltages from 3,6/6 (7,2) kV up to and including 20,8/36 (42) kV
SIST HD 622 S1:1998	Elektroenergetski kabli za nazivne napetosti od 3,6/6 (7,2) kV do vključno 20,8/36 (42) kV) s posebnimi ognjevzdržnimi lastnostmi za uporabo v elektrarnah - Power cables having rated voltages from 3,6/6 (7,2) kV up to and including 20,8/36 (42) kV with special fire performance for use in power stations.
SIST HD 622 S1:1998 /A1:2002	Dopolnilo A1:2002 k standardu SIST HD 622 S1:1998 Amendment A1:2002 to HD 622 S1:1996 HD 622 S1:1996/A1:2000
SIST HD 622 S1:1998 /A2:2005	Dopolnilo A2:2005 k standardu SIST HD 622 S1:1998 Amendment A2:2005 to HD 622 S1:1996 HD 622 S1:1996/A2:2005
SIST HD 626 S1:1998	Nadzemni razvodni kabli za naznačeno napetost $U_o/U(U_m)$:0,6/1(1,2) kV Overhead distribution cables of rated voltage $U_o/U(U_m)$: 0,6/1(1,2) kV HD 626 S1:1996
SIST HD 626 S1:1998 /A1:1998	Dopolnilo A1:1998 k standardu SIST HD 626 S1:1998 Amendment A1:1997 to HD 626 S1:1996 HD 626 S1:1996/A1:1997
SIST HD 626 S1:1998 /A2:2002	Dopolnilo A2:2002 k standardu SIST HD 626 S1:1998 – Amendment A2:2002 to HD 626 S1:1996 HD 626 S1:1996/A2:2002
SIST HD 627 S1:1998	Večžilni in večparni kabel za nadzemno in podzemno instalacijo Multicore and multipair cable for installation above and below ground HD 627 S1:1996

SIST HD 627 S1:1998 /A1:2002	Dopolnilo A1:2002 k standardu SIST HD 627 S1:1998 Amendment A1:2000 to HD 627 S1:1996 HD 627 S1:1996/A1:2000
SIST HD 627 S1:1998 /A2:2006	Dopolnilo A2:2006 k standardu SIST HD 627 S1:1998 Amendment A2:2005 to HD 627 S1:1996 HD 627 S1:1996/A2:2005 (veljavnost do 2022-03)
SIST HD 629.1 S3:2019 SIST HD 629.1 S2:2006 + A1/2009	Preskusne zahteve za pribor, ki se uporablja na elektroenergetskih kablih za naznačene napetosti od 3,6/6(7,2) kV do vključno 20,8/36(42) kV – 1. del: Kabli z ekstrudirano izolacijo Test requirements on accessories for use on power cables of rated voltages from 3,6/6 (7,2) kV up to and including 20,8/36 (42) kV Part 1: Cables with extruded insulation - Zahteve za preskušanje opreme elektroenergetskih kablov za napetosti od 3,6/6 (7,2) kV do vključno 20,8/36 (42) kV – Kabli z XLPE izolacijo
SIST HD 629.2 S2:2006 SIST HD 629.2 S2:2006 /A1:2009	Preskusne zahteve za pribor, ki se uporablja na elektroenergetskih kablih za naznačene napetosti od 3,6/6(7,2) kV do vključno 20,8/36(42) kV – 2. del: Kabli, izolirani z impregniranim papirjem - Test requirements on accessories for use on power cables of rated voltage from 3,6/6(7,2) kV up to 20,8/36(42) kV – Part 2: Cables with impregnated paper insulation
SIST HD 632 S3:2016	Elektroenergetski kabli z ekstrudirano izolacijo in njihov pribor za nazivne napetosti nad 36 kV (U_m = 42 kV) in do 150 kV (U_m = 170 kV) - Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 36 kV (U_m = 42 kV) up to 150 kV (U_m = 170 kV)
SIST EN 62949:2017	Posebne varnostne zahteve za opremo, ki se priključuje na telekomunikacijska omrežja in komunikacijska omrežj- Particular safety requirements for equipment to be connected to information and communication networks (IEC 62949:2017)

STANDARDI IEC

Osnovni standardi	
IEC 60228:2004	Conductors of insulated cables
IEC 60243-1: 2013	Electrical strength of insulating materials - Test methods - Part 1: Tests at power frequencies
IEC 60243-2:2013	Electric strength of insulating materials - Test methods - Part 2: Additional requirements for tests using direct voltage
IEC 60243-3:2013	Electric strength of insulating materials - Test methods - Part 3: Additional requirements for 1,2/50 µs impulse tests
IEC 60287-1-1:2014	Electric cables - Calculation of the current rating - Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – General
IEC 60287-2-1:2015	Electric cables - Calculation of the current rating - Part 2-1: Thermal resistance - Calculation of thermal resistance.
IEC 60332-1-1:2004 + A1 2015 CSV	Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-1: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Apparatus (EN 60332-1-1:2004 EN 50265-1:1998)
IEC 60332-1-2:2004 +A1:2015	Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-2: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for 1 kW pre-mixed flame (EN 60332-1-2:2004 EN 50265-2-1:1998)
IEC 60332-1-3:2004 +A1:2015	Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-3: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for determination of flaming droplets/particles (EN 60332-1-3:2004)
IEC 60332-2-1:2004	Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 2-1: Test for vertical flame propagation for a single small insulated wire or cable – Apparatus (EN 60332-2-1:2004)
IEC 60332-2-2:2004	Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 2-2: Test for vertical flame propagation for a single small insulated wire or cable – Procedure for diffusion flame(EN 60332-2-2:2004)
IEC 60332-3-10:2018 IEC 60332-3-21:2018 IEC 60332-3-22:2018 IEC 60332-3-23:2018 IEC 60332-3-24:2018 IEC 60332-3-25:2018	Part 3-10: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables – Apparatus Part 3-21: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables - Category A F/R Part 3-22: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables - Category A Part 3-23: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables - Category B Part 3-24: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables - Category C Part 3-25: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables - Category D
IEC 60332:2020 SER	Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – All Parts
IEC 60423:2007	Conduit systems for cable management – Outside diameters of conduits for electrical installations and threads for conduits and fittings
IEC 60454-1:1992	Specifications for pressure-sensitive adhesive tapes for electrical purposes - Part 1: General requirements
IEC 60454-2:2007	Pressure-sensitive adhesive tapes for electrical purposes - Part 2: Methods of test

IEC 60454-3-11:2007	Pressure-sensitive adhesive tapes for electrical purposes - Part 3: Specifications for individual materials -- Sheet 11: Polyester film combinations with glass filament, creped cellulosic paper, polyester non-woven, epoxy and pressure-sensitive adhesives
IEC 60502:2021 SER	Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from (U_m = 1,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV) – All Parts
IEC 60502-1:2021	Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (U_m = 1,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV) – Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV(U_m = 1,2 kV) and 3 kV (U_m = 3,6 kV)
IEC 60502-2:2014	Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (U_m = 1,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV (U_m = 7,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV)
IEC 60502-4:2010	Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (U_m = 1,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV) – Part 4: Test requirements on accessories for cables with rated voltages from 6 kV (U_m = 7,2 kV) up to 30 kV (U_m = 36 kV)
IEC 60811-100:2012	Part 100: General
IEC 60811-201:2012 IEC 60811-201 A1:2017 IEC 60811-202:2012 IEC 60811-202:A1:2017 IEC 60811-203:2012 IEC 60811-501:2012 IEC 60811-501:A1:2018 CSV	Part 201: General tests - Measurement of insulation thickness Part 202: General tests-Measurement of thickness of non-metallic sheath Part 203: General tests - Measurement of overall dimensions 21 Part 501: Mechanical tests - Tests for determining the mechanical properties of insulating and sheathing compound Ti standardi so zamenjava za IEC 60811-1-1
IEC 60811-401:2012 + A1 2017 CSV IEC 60811-412:2012 + A1 2017 CSV	Part 401: Miscellaneous tests - Thermal ageing methods - Ageing in an air oven Part 412: Miscellaneous tests - Thermal ageing methods - Ageing in an air bomb Ti standardi so zamenjava za IEC 60811-1-2
IEC 60811-402:2012 IEC 60811-502:2012 IEC 60811-503:2012 IEC 60811-606:2012	Part 402: Miscellaneous tests - Water absorption tests Part 502: Mechanical tests - Shrinkage test for insulations Part 503: Mechanical tests - Shrinkage test for sheaths Part 606: Physical tests - Methods for determining the density Ti standardi so zamenjava za IEC 60811-1-3
IEC 60811-504:2012 IEC 60811-505:2012 IEC 60811-506:2012	Part 504: Mechanical tests - Bending tests at low temperature for insulation and sheaths Part 505: Mechanical tests - Elongation at low temperature for insulations and sheaths Part 506: Mechanical tests - Impact test at low temperature for insulations and sheaths Ti standardi so zamenjava za IEC 60811-1-4
IEC 60811-403:2012 IEC 60811-404:2012 IEC 60811-507:2012	Part 403: Miscellaneous tests - Ozone resistance test on cross-linked compounds Part 404: Miscellaneous tests - Mineral oil immersion tests for sheaths Part 507: Mechanical tests - Hot set test for cross-linked materials Ti standardi so zamenjava za IEC 60811-2-1
IEC 60811-508:2012 +A1:2017CSV IEC 60811-509:2012	Part 508: Mechanical tests - Pressure test at high temperature for insulation and sheaths Part 509: Mechanical tests - Test for resistance of insulations and sheaths to cracking (heat shock test)

+A1:2017CSV	Ti standardi so zamenjava za IEC 60811-3-1
IEC 60811-405:2012 IEC 60811-409:2012	Part 405: Miscellaneous tests - Thermal stability test for PVC insulations and PVC sheaths Part 409: Miscellaneous tests - Loss of mass test for thermoplastic insulations and sheaths Ti standardi so zamenjava za IEC 60811-3-2
IEC 60811-406:2012 IEC 60811-511:2012 +A1:2017 CSV IEC 60811-605:2012 IEC 60811-607:2012	Part 406: Miscellaneous tests - Resistance to stress cracking of polyethylene and polypropylene compounds Part 511: Mechanical tests - Measurement of the melt flow index of polyethylene and polypropylene compounds Part 605: Physical tests - Measurement of carbon black and/or mineral filler in polyethylene compounds Part 607: Physical tests - Test for the assessment of carbon black dispersion in polyethylene and polypropylene Ti standardi so zamenjava za IEC 60811-4-1
IEC 60811-301:2012 IEC 60811-302:2012 IEC 60811-411:2012 IEC 60811-601:2012 IEC 60811-602:2012 IEC 60811-603:2012 IEC 60811-604:2012	Part 301: Electrical tests - Measurement of the permittivity at 23°C of filling compounds Part 302: Electrical tests - Measurement of the DC resistivity at 23°C and 100 °C of filling compounds Part 411: Miscellaneous tests - Low-temperature brittleness of filling compounds Part 601: Physical tests - Measurement of the drop point of filling compounds Part 602: Physical tests - Separation of oil in filling compounds Part 603: Physical tests - Measurement of total acid number of filling compounds Part 604: Physical tests - Measurement of absence of corrosive components in filling compounds Ti standardi so zamenjava za IEC 60811-5-1
IEC 60840:2020	Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV (U_m = 36 kV) up to 150 kV (U_m = 170 kV) - Test methods and requirements
IEC 60853-1:1985	Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables. Part 1: Cyclic rating factor for cables up to and including 18/30(36) kV
IEC 60853-2:1989	Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables. Part 2: Cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings for cables of all voltages
IEC 60853-3:2002	Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables. Part 3: Cyclic rating factor for cables of all voltages, with partial drying of the soil
IEC 61034-1:2005 + A1:2013 CSV + A2:2019 CSV	Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 1: Test apparatus
IEC 61034-2:2005 + A1:2013 CSV + A2:2019 CSV	Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions – Part 2: Test procedure and requirements
IEC 61138:2007 Ed. 3.0 Modified	Cables for portable earthing and short-circuiting equipment (EN) The test methods specified in this standard are given in IEC 60227-2, IEC 60245-2, IEC 60811 and IEC 62230.
IEC 61537:2006 Ed. 2.0	Cable management–Cable tray systems and cable ladder systems (EN)

Električna varnost v nizkonapetostnih razdelilnih sistemih do 1 kV (AC) in 1,5 kV (DC)	
IEC 61557-1:2019 RLV	Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V AC and 1500 V DC - Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures - Part 1: General requirements
IEC 61557-2:2019 RLV	Part 2: Insulation resistance
IEC 61557-3:2019 RLV	Part 3: Loop impedance
IEC 61557-4:2019 RLV	Part 4: Resistance of earth connection and equipotential bonding
IEC 61557-5:2019 RLV	Part 5: Resistance to earth
IEC 61557-6:2019 RLV	Part 6: Effectiveness of residual current devices (RCD) in TT, TN and IT systems (EN 61557-6:2007 EN 61557-6:1998)
IEC 61557-7:2019 RLV	Part 7: Phase sequence
IEC 61557-8:2014	Part 8: Insulation monitoring devices for IT systems
IEC 61557-9 :2014	Part 9: Equipment for insulation fault location in IT systems
IEC 61557-10:2013 IEC 61557-11:2013 IEC 61557-12:2018 RLV IEC 61557-13:2011 IEC 61557-14:2013 IEC 61557-15:2014 IEC 61557-16:2014	Part 10: Combined measuring equipment for testing, measuring and monitoring of protective measures Part 11: Effectiveness of residual current monitors (RCMs) type A and type B in TT, TN and IT systems Part 12: Power metering and monitoring devices (PMD) Part 13: Hand-held and hand-manipulated current clamps and sensors for measurement of leakage currents in electrical distribution systems Part 15: Functional safety requirements for insulation monitoring devices in IT systems and equipment for insulation fault location in IT systems Part 16: Equipment for testing the effectiveness of the protective measures of electrical equipment and/or medical electrical equipment
IEC 62067:2011 RLV	Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150 kV (U_m = 170 kV) up to 500 kV (U_m = 550 kV) - Test methods and requirements
IEC 62275:2018	Sistemi za urejanje pokabljenja- Kabelske vezice za električne napeljave Cable management systems - Cable ties for electrical installations
IEC 60695-11-5:2016	Fire hazard testing – Part 11-5: Test flames – Needle-flame test method – Apparatus, confirmatory test arrangement and guidance
IEC 60695-1-10:2016 IEC 60695-1-11:2014 IEC 60695-1-12:2015 IEC 60695-1-14:2017 IEC 60695-1-20:2016 IEC 60695-1-21:2016	Fire hazard testing Part 1-10: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products - General guidelines Part 1-11: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products - Fire hazard assessment Part 1-12: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products - Fire safety engineering Part 1-14: Guidance on the different levels of power and energy related to the probability of ignition and fire in low voltage electrotechnical products Part 1-20: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products - Ignitability - General guidance Part 1-21: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products - Ignitability - Summary and relevance of test methods
IEC 60216-4-1:2006	Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-1: Ageing ovens – Single-chamber ovens
IEC 60216-1:2013 IEC 60216-2:2005 IEC 60216-3:2006 IEC 60216-4-1:2006 IEC 60216-4-2:2000	Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results Part 2: Determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials - Choice of test criteria Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics Part 4-1: Ageing ovens - Single-chamber ovens

IEC 60216-4-3:2000 IEC 60216-5:2008 IEC 60216-6:2006 IEC TS 60216-7-1:2015 IEC TS 60216-7-2:2016 IEC TS 60216-8:2013	Part 4-2: Ageing ovens - Precision ovens for use up to 300°C Part 4-3: Ageing ovens - Multi-chamber ovens Part 5: Determination of relative thermal endurance index (RTE) of an insulating material Part 6: Determination of thermal endurance indices (TI and RTE) of an insulating material using the fixed time frame method Part 7-1: Accelerated determination of relative thermal endurance using analytical test methods (RTEA) - Instructions for calculations based on activation energy Part 7-2: Results of the round robin tests to validate procedures of IEC TS 60216-7-1 by non-isothermal kinetic analysis of thermogravimetric data Part 8: Instructions for calculating thermal endurance characteristics using simplified procedures
ISO 9227:2017	Corrosion tests in artificial atmospheres – Salt spray tests

STANDARDI VDE

VDE standardi v zvezi z vplivom energetskih kablov na šibkotočne (informacijske) komunikacije	
DIN 57220-3 VDE 0220-3/1977-10	Einzel- und Mehrfachkabelklemmen mit Isolierteilen in Starkstrom-Kabelanlagen bis 1000
DIN VDE 0845-6-1:2013-04 (NADOMEŠČA RAZVELJAVLJEN ~~DIN VDE 0228-1)~~	Influence of high voltage systems on telecommunication systems 6..2.3 Part 1: General, limits, calculation and measurement methods
DIN VDE 0845-6-2:2014-09 (NADOMEŠČA RAZVELJAVLJEN ~~DIN VDE 0228-2~~ ~~VDE 0228-2:1987-12)~~	Electromagnetic influence of electric power supply on telecommunication systems ~~7..2.3~~ Part 2: Influence by three phase AC systems
DIN VDE 0228-3 VDE 0228-3:1988-09	Maßnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen - Beeinflussung durch Wechselstrom-Bahnanlagen
DIN VDE 0228-4 VDE 0228-4:1987-12	Maßnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen - Beeinflussung durch Gleichstrom-Bahnanlagen Seite 4 Inhalt der Gruppe 2 (2010-06)
DIN EN IEC 62228-1 DIN VDE 0847-28-1 /2018-12	Maßnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen – Teil 1: Grundlagen,Grenzwerte,Berechnungs und Messverfahren
VDE 0845-6-5 VDE 0845-6-5:2014-09	Maßnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen – Teil 5: Beeinflussung durch Hochspannungs-Gleichstrom Übertragungsanlagen (HGÜ-Anlagen)
Nizkonapetostni kabli (Grupe 2: Energieleiter)	
DIN 57250-1 VDE 0250-1:1981-10	Isolierte Starkstromleitungen - Allgemeine Festlegungen
DIN 57250-106 VDE 0250-106:1982-10	Isolierte Starkstromleitungen - EFTE-Aderleitung
DIN VDE 0250-201 VDE 0250-201:1992-09	Isolierte Starkstromleitungen – Stegleitung
DIN VDE 0250-204 VDE 0250-204:2000-12	Isolierte Starkstromleitungen - PVC-Installationsleitung NYM
DIN 57250-206 VDE 0250-206:1983-10	Isolierte Starkstromleitungen - PVC-Mantelleitung mit Tragseil
DIN 57250-212 VDE 0250-212:1982-06	Isolierte Starkstromleitungen - Geschirmte PVC-Leitung
DIN VDE 0250-213 VDE 0250-213:1986-08	Isolierte Starkstromleitungen - Dachständer-Einführungsleitungen
DIN VDE 0250-214 VDE 0250-214:2002-04	Isolierte Starkstromleitungen - Installationsleitung NHXMH mit verbessertem Verhalten im Brandfall
DIN VDE 0250-215 VDE 0250-215:2002-04	Isolierte Starkstromleitungen - Installationsleitung NHMH mit speziellen Eigenschaften im Brandfall
DIN VDE 0250-502 VDE 0250-502:1985-03	Isolierte Starkstromleitungen - Wärmebeständige Silikon-Fassungsader
DIN VDE 0250-602 VDE 0250-602:1985-03	Isolierte Starkstromleitungen - Sonder-Gummiaderleitungen

DIN VDE 0250-605 VDE 0250-605:2006-06	Isolierte Starkstromleitungen - Teil 605: Geschirmte Leitung mit Gummi-Isolierung und PVC-Mantel Nennspannung U_0/U 3,6/6 kV und 6/10 kV
DIN VDE 0250-806 VDE 0250-806:1992-09	Isolierte Starkstromleitungen - Gummischlauchleitung NMHVÖU
DIN VDE 0250-809 VDE 0250-809:1985-05	Isolierte Starkstromleitungen - Gummi-Flachleitung
DIN VDE 0250-812 VDE 0250-812:1985-05	Isolierte Starkstromleitungen - Gummischlauchleitung NSSHÖU
DIN VDE 0250-813 VDE 0250-813:1985-05	Isolierte Starkstromleitungen – Leitungstrosse
DIN VDE 0250-814 VDE 0250-814:1985-02	Isolierte Starkstromleitungen - Gummischlauchleitung NSHTÖU
VDE standardi za energetske kable z izolacijo XLPE	
DIN VDE 0262 VDE 0262:1995-12	Installationskabel mit Isolierung aus vernetztem Polyethylen und Mantel aus thermoplastischem PVC mit Nennspannung 0,6/1 kV
DIN VDE 0262 VDE 0262 Berichtigung 1:2004-01	Berichtigungen zu DIN VDE 0262 (VDE 0262):1995-12
DIN VDE 0266 VDE 0266:2000-03	Starkstromkabel mit verbessertem Verhalten in Brandfall Nennspannung U_0/U 0,6/1 kV
DIN VDE 0266 VDE 0266 Berichtigung 1:2006-03	Berichtigungen zu DIN VDE 0266 (VDE 0266): 2004-01
DIN VDE 0271 VDE 0271:2007-01	Starkstromkabel - Festlegungen für Starkstromkabel ab 0,6/1 kV für besondere Anwendungen
DIN VDE 0271 VDE 0271 Ber. 2008-02	Berichtigungen zu DIN VDE 0271 (VDE 0271):2007-01
DIN EN 50271 VDE 040021:2011	Elektrische Geräte für die Detektion und Messung von brennbaren Gasen, giftigen Gasen oder Sauerstoff Anforderungen und Prüfungen für Warngeräte, die Software und/oder Digitaltechnik nutzen; Deutsche Fassung EN 50271:2010 Zu diesem Dokument ist eine englische Übersetzung verfügb
DIN EN 50397-1 VDE 0276-397-1:2007-07	Kunststoffumhüllte Leiter und zugehörige Armaturen für Freileitungen mit Nennspannungen über 1 kV und nicht mehr als 36 kV Wechselspannung - Teil 1: Kunststoffumhüllte Freileitungsseile; - Deutsche Fassung EN 50397-1:2006
DIN EN 50397-2 VDE 0276-397-2:2010-05	Kunststoffumhüllte Leiter und zugehörige Armaturen für Freileitungen mit Nennspannungen über 1 kV und nicht mehr als 36 kV Wechselspannung - Teil 2: Armaturen für kunststoffumhüllte Freileitungsseile – Prüfungen und Anforderungen; - Deutsche Fassung EN 50397-2:2009
DIN VDE 0276-603 VDE 0276-603:2010-03	Starkstromkabel Teil 603: Energieverteilungskabel mit Nennspannung 0,6/1 kV; - Deutsche Fassung HD 603 S1:1994/A3:2007, Teile 0, 1, 3G und 5G
DIN EN 50397-3 VDE 0276-397-3:2011-01	Kunststoffumhiillte Leiter und zugehorige Armaturen fur Frelleltungen mit Nennspannungen uber 1 kV und nicht mehr als 36 kV Wechselspannung Teil 3: Leitfaden fiir die Verwendung; Deutsche Fassung EN 50397-3:2010

DIN VDE 0276-604 VDE 0276-604:2008-02	Starkstromkabel - Teil 604: Starkstromkabel mit Nennspannungen 0,6/1kV mit verbessertem Verhalten im Brandfall für Kraftwerke; -Deutsche Fassung HD 604 S1:1994 + A1:1997 + A2:2002 + A3:2005, Teile 0, 1 und 5G Seite 6 Inhalt der Gruppe 2 (2010-06)
DIN VDE 0276-605 VDE 0276-605:2020-09	Starkstromkabel - Ergänzende Prüfverfahren; - Deutsche Fassung HD 605 S2:2020
DIN VDE 0276-620:2018 VDE 0276-620:2018-04	Starkstromkabel - Energieverteilungskabel mit extrudierter Isolierung für Nennspannungen von 3,6/6 (7,2) kV bis 20,8/36 (42) kV; - Deutsche Uebernahme HD 620 S2:2010, Teile 0, 1, und 10-C
DIN VDE 0276-620 VDE 0276-620:2018-04	Energieverteilungskabel mit extrudierter Isolierung für Nennspannungen von 3,6/6 (7,2) kV bis einschließlich 20,8/36 (42)kV
DIN VDE 0276-621 VDE 0276-621:1997-05 VDE 0276-621:2018-12	Starkstromkabel Teil 621: Energieverteilungskabel mit getränkter Papierisolierung für Mittelspannung; - Deutsche Fassung HD 621 S1:1996; Teile 1, 2, 3C, 4C Berichtigung 1
DIN VDE 0276-622 VDE 0276-622:2006-05	Starkstromkabel - Teil 622: Starkstromkabel mit Nennspannungen von 3,6/6 (7,2) kV bis 20,8/36 (42) kV mit verbessertem Verhalten im Brandfall für Kraftwerke; - Deutsche Fassung HD 622 S1:1996 + A1:2000 + A2:2005, Teil 1 und Teil 4D
DIN VDE 0276-626 VDE 0276-626:1997-01	Starkstromkabel - Isolierte Freileitungsseile für oberirdische Verteilungsnetze mit Nennspannungen 0,6/1 (1,2) kV; - Deutsche Fassung HD 626 S1 Teile 1, 2 und 4F-1:1996
DIN VDE 0276-626/A1 VDE 0276-626/A1:1998-07	Starkstromkabel - Isolierte Freileitungsseile für oberirdische Verteilungsnetze mit Nennspannungen 0,6/1 (1,2) kV; - Deutsche Fassung HD 626 S1/A1:1997
DIN VDE 0276-627 VDE 0276-627:2006-09	Starkstromkabel - Teil 627: Vieladrige und vielpaarige Kabel für die Verlegung in Luft und in Erde; - Deutsche Fassung HD 627 S1:1996 + A1:2000 + A2:2005, Teile 0, 1, 4H und 7H
DIN VDE 0276-632 VDE 0276-632:2017-09	Starkstromkabel mit extrudierter Isolierung und ihre Garnituren - Nennspannungen über 36 kV bis 150 kV; - Deutsche Fassung HD 632 S3 Teile 0, 1, 3D, 4D und 5D
DIN VDE 0276-633 VDE 0276-633:1999-05	Prüfungen an Ölkabeln mit einer Isolierung aus Papier oder polypropylenbeschichtetem Papier und Metallmantel und Garnituren - Wechselspannungen bis einschließlich 400 kV - Deutsche Fassung HD 633 S1 Teile 1, 3D:1997
DIN VDE 0276-634 VDE 0276-634:1999-05	Prüfungen an Gasinnendruckkabeln und Garnituren - Wechselspannungen bis einschließlich 275 kV - Deutsche Fassung HD 634 S1 Teile 1, 3C:1997
DIN VDE 0276-635 VDE 0276-635:1999-05	Prüfungen an Gasaußendruckkabeln und Garnituren - Wechselspannungen bis einschließlich 275 kV - Deutsche Fassung HD 635 S1 Teile 1, 3C:1997
DIN VDE 0276-1000 VDE 0276-1000:1995-06	Starkstromkabel - Strombelastbarkeit, Allgemeines; Umrechnungsfaktoren
DIN EN 50393 VDE 0278-393:2015-10	Prüfverfahren und Prüfanforderungen für die Garnituren von Verteilerkabeln mit einer Nennspannung von 0,6/1,0 (1,2) kV - Deutsche Fassung EN 50393: 2015

DIN EN 61442 VDE 0278-442:2006-01	Prüfverfahren für Starkstromkabelgarnituren mit einer Nennspannung von 6 kV (U_m = 7,2 kV) bis 36 kV (U_m = 42 kV) - (IEC 61442:2005, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61442:2005
DIN EN 50483-1 VDE 0278-483-1:2009-11	Prüfanforderungen für Bauteile für isolierte Niederspannungsfreileitungen - Teil 1: Allgemeines; - Deutsche Fassung EN 50483-1:2009
DIN EN 50483-2 VDE 0278-483-2:2009-11	Prüfanforderungen für Bauteile für isolierte Niederspannungs-freileitungen - Teil 2: Abspann- und Tragklemmen für selbsttragende isolierte Freileitungsseile; - Deutsche Fassung EN 50483-2:2009
DIN EN 50483-3 VDE 0278-483-3:2009-11	Prüfanforderungen für Bauteile für isolierte Niederspannungs-freileitungen - Teil 3: Abspann- und Tragklemmen für Systeme mit Nullleiter-Tragseil; - Deutsche Fassung EN 50483-3:2009
DIN EN 50483-4 VDE 0278-483-4:2009-11	Prüfanforderungen für Bauteile für isolierte Niederspannungsfreileitungen - Teil 4: Verbinder; - Deutsche Fassung EN 50483-4:2009
DIN EN 50483-5 VDE 0278-483-5:2009-11	Prüfanforderungen für Bauteile für isolierte Niederspannungsfreileitungen - Teil 5: Elektrische Alterungsprüfungen; - Deutsche Fassung EN 50483-5:2009
DIN EN 50483-6 VDE 0278-483-6:2009-11	Prüfanforderungen für Bauteile für isolierte Niederspannungsfreileitungen - Teil 6: Umweltprüfungen; - Deutsche Fassung EN 50483-6:2009
DIN VDE 0278-629-1 VDE 0278-629-1:2019-11	Prüfanforderungen für Kabelgarnituren für Starkstromkabel mit einer Nennspannung von 3,6/6(7,2) kV bis 20,8/36(42) kV-Teil 1:Garnituren fuer Kabel mit extrudierter Kunststoffisolierung Deutsche Fassung HD 629.1 S3:2019
DIN VDE 0278-629-2 VDE 0278-629-2:2009-07	Prüfanforderungen für Kabelgarnituren für Starkstromkabel mit einer Nennspannung von 3,6/6(7,2) kV bis 20,8/36(42) kV - Teil 2: Kabel mit massegetränkter Papierisolierung
DIN EN 50655-1 VDE 0278-655-1:2018-06	Kabel und isolierte Leitungen – Garnituren – Materialcharakterisierung - Teil 1: Fingerprintpruefungen fuer Reaktionsharzmassen
DIN EN 50655-2 VDE 0278-655-2:2018-06	Kabel und isolierte Leitungen – Garnituren – Materialcharakterisierung Teil 2: Fingerprintprüfungen für wärmeschrumpfende Komponenten für Niederspannungs- und Mittelspannungsanwendungen bis 20,8/36 (42) kV
DIN EN 50655-3 VDE 0278-655-3:2018-06	Kabel und isolierte Leitungen – Garnituren – Materialcharakterisierung Teil 3: Fingerprintprüfungen für wärmeschrumpfende - Komponenten für Niederspannungs und Mittelspannungsanwendungen bis 20,8/36 (42) kV
Splošni pojmi in določila	
DIN VDE 0289-1 VDE 0289-1:1988-03	Begriffe für Starkstromkabel und isolierte Starkstromleitungen - Allgemeine Begriffe
DIN EN 50289-1-1 VDE 0819-289-1-11:2018-08	[1] Kommunikationskabel – Spezifikationen für Prüfverfahren Teil 1-1: Elektrische Prüfverfahren – Allgemeine Anforderungen

DIN EN 50289-1-8 VDE 0819-289-1-8:2018-02	[2] Kommunikationskabel – Spezifikationen für Prüfverfahren Teil 1-1: Elektrische Prüfverfahren – Daempfung
DIN VDE 0289-2 VDE 0289-2:1988-03	Begriffe für Starkstromkabel und isolierte Starkstromleitungen – Aufbauelemente
DIN VDE 0289-3 VDE 0289-3:1988-03	Begriffe für Starkstromkabel und isolierte Starkstromleitungen – Fertigungsvorgänge
DIN VDE 0289-4 VDE 0289-4:1988-03	Begriffe für Starkstromkabel und isolierte Starkstromleitungen - Prüfen und Messen
DIN VDE 0289-5 VDE 0289-5:1988-03	Begriffe für Starkstromkabel und isolierte Starkstromleitungen - Längen
DIN VDE 0289-6 VDE 0289-6:1993-03	Begriffe für Starkstromkabel und isolierte Starkstromleitungen - Zubehör, Garnituren
DIN VDE 0289-7 VDE 0289-7:1988-03	Begriffe für Starkstromkabel und isolierte Starkstromleitungen - Verlegung und Montage
DIN VDE 0289-8 VDE 0289-8:1988-03	Begriffe für Starkstromkabel und isolierte Starkstromleitungen – Strombelastbarkeit
DIN VDE 0291-1 VDE 0291-1:1972-02	Bestimmungen für Füllmassen für Kabelzubehörteile sowie Abbrühmassen - Heiß zu vergießende Füllmassen, Kaltpreßmassen,Kaltvergußmassen sowie Abbrühmassen
DIN VDE 0291-1a VDE 0291-1a:1973-07	Bestimmungen für Füllmassen für Kabelzubehörteile sowie Abbrühmassen - Änderung a
DIN VDE 0292 VDE 0292:2007-05 E DIN VDE 0292 VDE 0292:2020-12	System für Typkurzzeichen von isolierten Leitungen; - Deutsche Fassung HD 361 S3:1999 + A1:2006
DIN VDE 0293-1 VDE 0293-1:2006-10	Kennzeichnung der Adern von Starkstromkabeln und isoliertenStarkstromleitungen mit Nennspannungen bis 1 000 V - Teil 1: Ergänzende nationale Festlegungen
DIN VDE 0293-308 VDE 0293-308:2003-01	Kennzeichnung der Adern von Kabeln/Leitungen und flexiblen Leitungen durch Farben; - Deutsche Fassung HD 308 S2:2001
DIN EN 50334 VDE 0293-334:2001-10 DIN VDE 0293-1 VDE 0293-1 :2006-10	Kennzeichnung der Adern von Kabeln und Leitungen durch Bedrucken; - Deutsche Fassung EN 50334:2001 Kennzeichnung der Adern von Starkstromkabeln und isolierten Starkstromleitungen mit Nennspannungen bis 1000 V
DIN EN 60228 VDE 0295:2005-09	Leiter für Kabel und isolierte Leitungen - (IEC 60228:2004); Deutsche Fassung EN 60228:2005 + Corrigendum:2005
DIN VDE 0298-3 VDE 0298-3:2006-06	Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen - Teil 3: Leitfaden für die Verwendung nicht harmonisierter Starkstromleitungen
DIN VDE 0298-4 VDE 0298-4: 2013-06	Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen - Teil 4: Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung in und an Gebäuden und von flexiblen Leitungen
DIN EN 50565-1 VDE 0298-565-1:2015-02	Kabel und Leitungen - Leitfaden für die Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen mit einer Nennspannung nicht ueber 450/750 V (U_o/U) - Teil 1: Algemeine Leitfaden Deutsche Fassung EN 50565-1:2014

DIN EN 50565-2 VDE 0298-565-2:2015-02	Kabel und Leitungen - Leitfaden für die Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen mit einer Nennspannung nicht ueber 450/750 V (U_o/U) - Teil 2: Aufbaudaten und Einsatzbedingungen der Kabel- und Leitungsbauarten nach EN 50565-2:2014
Izolacijski materiali (Grupe 3 – Isolierstoffe)	
DIN EN 60243-1 VDE 0303-21:2014-01 (IEC 60243-1:2013)	VDE 0303-21 Elektrische Durchschlagfestigkeit von isolierenden Werkstoffen Prüfverfahren – Teil 1: Prüfungen bei technischen Frequenzen (); Deutsche Fassung
DIN EN 60243-2 VDE 0303-22:2014-08 (IEC 60243-2:2013)	VDE 0303-22 Elektrische Durchschlagfestigkeit von isolierenden Werkstoffen Prüfverfahren – Teil 2: Zusätzliche Anforderungen für Prüfungen mit Gleichspannung ; Deutsche Fassung
DIN EN 60243-3:2001 VDE 0303-23:2014-09 (IEC 60243-3:2013)	VDE 0303-23 Elektrische Durchschlagfestigkeit von isolierenden Werkstoffen - Prüfverfahren Teil 3: Zusätzliche Festlegungen für Stoßspannungsprüfungen (1,2/50 µs)
DIN EN 60454-1 VDE 0340-1: 1997 -05 (IEC 60454-1:1992)	VDE 0340-1 Bestimmungen für selbstklebende Isolierbänder für elektrotechnische Anwendungen Allgemeine Anforderungen (IEC 60454-1:1992); Deutsche Fassung EN 60454-1:1994
DIN EN 60454-2 VDE 0340-2:2008-05 (IEC 60454-2:2007)	VDE 0340-2 Selbstklebende Bänder für elektrotechnische Anwendungen Teil 2: Prüfverfahren (IEC 60454-2:2007); Deutsche Fassung EN 60454-2:2007
Preskušanje kablov (Grupe 4 – Messen, Steueren, Pruefen)	
DIN VDE 0472 VDE 0472 Beiblatt 1:2005-02	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen - Verzeichnis der Normen der Reihe DIN VDE 0472 (VDE 0472)
DIN VDE 0472-1 VDE 0472-1:1987-06	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen – Allgemeines
DIN 57472-505 VDE 0472-505:1983-04	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen - Verlustfaktor, dielektrische Verlustzahl und Ableitung
DIN 57472-506 VDE 0472-506:1983-04	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen – Kopplungen
DIN 57472-507 VDE 0472-507:1983-04	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen – Reduktionsfaktor
DIN VDE 0472-509 VDE 0472-509:1986-10	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen - Spannungsfestigkeit von Kabeln, Leitungen und Schnüren für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen
DIN VDE 0472-512 VDE 0472-512:1985-05	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen - Widerstand zwischen Schutzleiter und Leitschicht
DIN VDE 0472-603 VDE 0472-603:1989-07	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen – Biegeverhalten
DIN VDE 0472-604 VDE 0472-604:1985-05	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen - Dichtheit von Kabelmänteln
DIN VDE 0472-605 VDE 0472-605:1985-01	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen – Abrieb
DIN VDE 0472-613 VDE 0472-613:1985-11	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen – Weiterreißwiderstand
DIN 57472-619 VDE 0472-619:1983-01	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen – Kerbkraft
DIN 57472-621 VDE 0472-621:1983-01	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen - Kristallit-Schmelzpunkt

DIN 57472-623 VDE 0472-623:1983-01	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen - Bruchdehnung des Kupferleiters
DIN 57472-625 VDE 0472-625:1983-01	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen - Zug- und Dehnungsverhalten von Zugentlastungselementen
DIN 57472-626 VDE 0472-626:1983-01	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen – Reißlänge
DIN VDE 0472-705 VDE 0472-705:1987-01	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen - Indirekte Rußbestimmung bei PVC-Mänteln
DIN VDE 0472-801 VDE 0472-801:1986-03	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen – Verzinkungsgüte
DIN VDE 0472-805 VDE 0472-805:1994-01	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen – Ozonbeständigkeit
DIN 57472-808 VDE 0472-808:1984-02	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen - Verzinnbarkeit, Lötbarkeit und Lötschrumpfung
DIN 57472-812 VDE 0472-812:1984-02	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen - Porenfreiheit von metallenen Überzügen Seite 12 Inhalt der Gruppe 4 (2010-06)
DIN VDE 0472-814 VDE 0472-814:1991-01	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen - Isolationserhalt bei Flammeneinwirkung
DIN VDE 0472-815 VDE 0472-815:1989-03	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen – Halogenfreiheit
DIN EN 60229 VDE 0473-229:2009-04	Starkstromkabel - Prüfungen an extrudierten Außenmänteln mit besonderer Schutzfunktion (IEC 60229:2007); Deutsche Fassung EN 60229:2008
DIN EN 50396 VDE 0473-396:2006-07	Nicht-elektrische Prüfverfahren für Niederspannungskabel und -leitungen; - Deutsche Fassung EN 50396:2005
DIN EN 50414 VDE 0473-414:2007-03	Prüfverfahren für die Analyse von Blei in PVC entnommen aus Isolierung und Mantel von Kabeln, isolierten Leitungen und Lichtwellenleiterkabeln - Verfahren A: Bestimmung des Gesamtbleigehalts mit der Flammen-Atomabsorptionsspektrometrie – Verfahren B: Qualitative Analyse des Bleigehalts durch Bleisulfidverfärbung; - Deutsche Fassung EN 50414:2006
DIN EN 50497 VDE 0473-497:2008-11	Empfohlenes Prüfverfahren zur Einschätzung des Risikos von Weichmacherausschwitzungen bei PVC-isolierten und –ummantelten Kabeln und Leitungen; - Deutsche Fassung EN 50497:2007
DIN EN 60811-201:2018 VDE 0473-811-201:2018 DIN EN 60811-202:2018 VDE 0473-811-202:2018 DIN EN 60811-203:2012 VDE 0473-811-203:2012 DIN EN 60811-501:2019 VDE 0473-811-501:2019 (STANDARDI NADOMEŠČAJO DIN EN 60811-1-1 VDE 0473-811-1-1:2002)	Part 201: General tests - Measurement of insulation thickness Part 202: General tests-Measurement of thickness of non-metallic sheath Part 203: General tests - Measurement of overall dimensions Part 501: Mechanical tests - Tests for determining the mechanical properties of insulating and sheathing compound
DIN EN 60811-401:2012 VDE 0473-811-401:2012 DIN EN 60811-412:2012 VDE 0473-811-412:2012	Part 401: Miscellaneous tests - Thermal ageing methods - Ageing in an air oven Part 412: Miscellaneous tests - Thermal ageing methods - Ageing in an air bomb

(STANDARDI NADOMEŠČAJO DIN EN 60811-1-2 VDE 0473-811-1-2:2001)	
DIN EN 60811-402:2012 VDE 0473-811-402:2012 DIN EN 60811-502:2012 VDE 0473-811-502:2012 DIN EN 60811-503:2012 VDE 0473-811-503:2012 DIN EN 60811-606:2012 VDE 0473-811-606:2012 (STANDARDI NADOMEŠČAJO DIN EN 60811-1-3 VDE 0473-811-1-3:2002)	Part 402: Miscellaneous tests - Water absorption tests Part 502: Mechanical tests - Shrinkage test for insulations Part 503: Mechanical tests - Shrinkage test for sheaths Part 606: Physical tests - Methods for determining the density
DIN EN 60811-504:2012 VDE 0473-811-504:2012 DIN EN 60811-505:2012 VDE 0473-811-505:2012 DIN EN 60811-506:2012 VDE 0473-811-506:2012 (STANDARDI NADOMEŠČAJO DIN EN 60811-1-4 VDE 0473-811-1-4:2002)	Part 504: Mechanical tests - Bending tests at low temperature for insulation and sheaths Part 505: Mechanical tests - Elongation at low temperature for insulations and sheaths Part 506: Mechanical tests - Impact test at low temperature for insulations and sheaths
DIN EN 60811-403:2012 VDE 0473-811-403:2012 DIN EN 60811-404:2012 VDE 0473-811-404:2012 DIN EN 60811-507:2012 VDE 0473-811-507:2012 (STANDARDI NADOMEŠČAJO DIN EN 60811-2-1 VDE 0473-811-2-1:2002)	Part 403: Miscellaneous tests - Ozone resistance test on cross-linked compounds Part 404: Miscellaneous tests - Mineral oil immersion tests for sheaths Part 507: Mechanical tests - Hot set test for cross-linked materials
DIN EN 60811-508:2012 VDE 0473-811-508:2012 DIN EN 60811-509:2012 VDE 0473-811-509:2012 (STANDARDI NADOMEŠČAJO DIN EN 60811-3-1 VDE 0473-811-3-1:2002)	Part 508: Mechanical tests - Pressure test at high temperature for insulation and sheaths Part 509: Mechanical tests - Test for resistance of insulations and sheaths to cracking (heat shock test)
DIN EN 60811-405:2012 VDE 0473-811-405:2012 DIN EN 60811-409:2012 VDE 0473-811-409:2012 (STANDARDI NADOMEŠČAJO DIN EN 60811-3-2 VDE 0473-811-3-2:2004)	Part 405: Miscellaneous tests - Thermal stability test for PVC insulations and PVC sheaths Part 409: Miscellaneous tests - Loss of mass test for thermoplastic insulations and sheaths
DIN EN 60811-406:2012 VDE 0473-811-406:2012 DIN EN 60811-510:2012 VDE 0473-811-510:2012 DIN EN 60811-511:2018 VDE 0473-811-511:2018 DIN EN 60811-605:2012	Part 406: Miscellaneous tests - Resistance to stress cracking of polyethylene and polypropylene compounds Part 510: Mechanical tests - Methods specific to polyethylene and polypropylene compounds - Wrapping test after thermal ageing in air Part 511: Mechanical tests - Measurement of the melt flow index of polyethylene and polypropylene compounds

VDE 0473-811-605:2012 DIN EN 60811-607:2012 VDE 0473-811-607:2012 (STANDARDI NADOMEŠČAJO DIN EN 60811-4-1 VDE 0473-811-4-1:2005)	Part 605: Physical tests - Measurement of carbon black and/or mineral filler in polyethylene compounds Part 607: Physical tests - Test for the assessment of carbon black dispersion in polyethylene and polypropylene
DIN EN 60811-100:2012 VDE 0473-811-100:2012 DIN EN 60811-407:2012 VDE 0473-811-407:2012 DIN EN 60811-408:2012 VDE 0473-811-408:2012 DIN EN 60811-410:2018 VDE 0473-811-410:2018 DIN EN 60811-510:2012 VDE 0473-811-510:2012 DIN EN 60811-512:2012 VDE 0473-811-512:2012 DIN EN 60811-513:2012 VDE 0473-811-513:20127 (STANDARDI NADOMEŠČAJO DIN EN 60811-4-2 VDE 0473-811-4-2:2005)	Part 407: Miscellaneous tests - Measurement of mass increase of polyethylene and polypropylene compounds Part 408: Miscellaneous tests - Long-term stability test of polyethylene and polypropylene compounds Part 410: Miscellaneous tests - Test method for copper-catalyzed oxidative degradation of polyolefin insulated conductors Part 510: Mechanical tests - Methods specific to polyethylene and polypropylene compounds - Wrapping test after thermal ageing in air Part 512: Mechanical tests - Methods specific to polyethylene and polypropylene compounds - Tensile strength and elongation at break after conditioning at elevated temperature (IEC 60811-512:2012); German version EN 60811-512:2012 Part 513: Mechanical tests - Methods specific to polyethylene and polypropylene compounds - Wrapping test after conditioning (IEC 60811-513:2012); German version EN 60811-513:2012
DIN EN 60811-100:2012 VDE 0473-811-100:2012 DIN EN 60811-301:2012 VDE 0473-811-301:2012 DIN EN 60811-302:2012 VDE 0473-811-302:2012 DIN EN 60811-411:2012 VDE 0473-811-411:2012 DIN EN 60811-601:2012 VDE 0473-811-601:2012 DIN EN 60811-602:2012 VDE 0473-811-602:2012 DIN EN 60811-603:2012 VDE 0473-811-603:2012 DIN EN 60811-604:2012 VDE 0473-811-604:2012 (STANDARDI NADOMEŠČAJO DIN EN 60811-5-1 VDE 0473-811-5-1:2004)	Part 100: General Part 301: Electrical tests - Measurement of the permittivity at 23 °C of filling compounds Part 302: Electrical tests - Measurement of the DC resistivity at 23 °C and 100 °C of filling compounds Part 411: Miscellaneous tests - Low-temperature brittleness of filling compounds Part 601: Physical tests - Measurement of the drop point of filling compounds Part 602: Physical tests - Separation of oil in filling compounds Part 603: Physical tests - Measurement of total acid number of filling compounds Part 604: Physical tests - Measurement of absence of corrosive components in filling compounds
DIN EN 60230 VDE 0481-230:2003-03	Stoßspannungsprüfungen an Kabeln und Leitungen und deren Garnituren - (IEC 60230:1966); Deutsche Fassung EN 60230:2002
E DIN EN 60230 VDE 0481-230:2015-02	Stoßspannungsprüfungen an Kabeln und Leitungen und deren Garnituren - (IEC 20/1500/CD:2014
DIN EN 50395 VDE 0481-395:2006-07 +A1 :2012.03	Elektrische Prüfverfahren für Niederspannungskabel und -leitungen; - Deutsche Fassung EN 50395:2005

DIN EN 60885-2 VDE 0481-885-2: 2004-11	Elektrische Prüfverfahren für Starkstromkabel - Teil 2: Teilentladungsprüfungen - (IEC 60885-2:1987); Deutsche Fassung EN 60885-2:2003
DIN EN 60885-3 VDE 0481-885-3:2015-11	Elektrische Prüfverfahren für Starkstromkabel - Teil 3: Prüfverfahren zur Teilentladungsmessung an Längen von extrudierten Kabeln - (IEC 60885-3:2015); Deutsche Fassung EN 60885-3:2015
DIN EN 62230 VDE 0481-2230:2014-12	Kabel und isolierte Leitungen - Durchlaufspannungsprüfung - (IEC 62230:2006 + A1:2013); Deutsche Fassung EN 62230:2007 + A1:2014
DIN EN 50200 VDE 0482-200:2016-07	Prüfung des Isolationserhaltes im Brandfall von Kabeln mit kleinen Durchmessern für die Verwendung in Notstromkreisen bei ungeschützter Verlegung; - Deutsche Fassung EN 50200:2015
DIN EN 60332-1-2 VDE 0482-332-1-2:2017-06	Prüfungen an Kabeln, isolierten Leitungen und Glasfaserkabeln im Brandfall - Teil 1-2: Prüfung der vertikalen Flammenausbreitung an einer Ader, einer isolierten Leitung oder einem Kabel - Prüfverfahren mit 1-kW-Flamme mit Gas/Luft-Gemisch (IEC 60332-1-2:2004 + A1: 2015)Deutsche Fasung EN 60332-1-2:2004 + A1:2015 + A11:2016)
Preskušanje kablov na odpornost proti ognju (Grupe 4 – Messen, Steueren, Pruefen)	
DIN EN 60754-1 VDE 0482-754-1 :2021-02 IEC 60754-1:2011+ Cor:2013+A1:2019 EN 60754-1:2014+A1 2020	DIN EN 60754-1 VDE 0482-754-1: 2021-02 22 Test on gases evolved during combustion of materials from cables **23** Part 1: Determination of the halogen acid gas content
DIN EN 60754-2 VDE 0482-754-2: 2021-02 IEC 60754-2:2014+A1:2020 EN 60754-2:2014+A1 2020	DIN EN 60754-2 VDE 0482-754-2: 2021-02 24 Test on gases evolved during combustion of materials from cables **25** Part 2: Determination of acidity (by pH measurement) and conductivity
DIN EN 61034-1 VDE 0482-1034:2021-02 (IEC 61034:2005+A1 2019+A2:2019)	DIN EN 61034-1 VDE 0482-1034:2021-02 Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions Part 1: Test apparatus
Preskušanje kablov (Grupe 8 – Informationstechnik)	
DIN EN 62949 VDE 0868-949:2018-02 DIN EN 41003 VDE 0804-100: Beiblatt 1 2006-11 (IEC/TR 62102:2005)	Besondere Sicherheitsanforderungen an Geräte zum Anschluss an Komunikationsnetze mit paarweise angeordneten Leitern Klassifizierung der Schnittstellen für den Anschluss von Geräten an Informations- und Kommunikationsnetz
DIN EN 61643-21 VDE 0845-3-1:2013-07	Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung - Teil 21: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Telekommunikations - und signalverarbeitenden Netzwerken – Leistungsanforderungen und Prüfverfahren - (IEC 61643-21:2000 + Corrigendum:2001 + A1:2008, modifiziert + A2:2012); Deutsche Fassung EN 61643-21:2001 + A1:2009 + A2:2013

DIN CLC/TS 61643-22 VDE V 0845-3-2:2017-06	Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung - Teil 22: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Telekommunikations- und signalverarbeitenden Netzwerken - Auswahl- und Anwendungsprinzipien - (IEC 61643-22:2004, modifiziert); Deutsche Fassung CLC/TS 61643-22:2016
DIN EN 61663-1 VDE 0845-4-1:2000-07	Blitzschutz Telekommunikationsleitungen - Lichtwellenleiteranlagen - (IEC 61663-1:1999 + Corrigendum 1999); Deutsche Fassung EN 61663-1:1999
DIN EN 61663-2 VDE 0845-4-2:2002-07	Blitzschutz - Telekommunikationsleitungen - Leitungen mit metallischen Leitern - (IEC 61663-2:2001); Deutsche Fassung EN 61663-2:2001
DIN EN 50468VDE 0845-7:2010-02	Anforderungen zur Zerstörfestigkeit von Einrichtungen mit Telekommunikationsanschluss gegen Überspannungen und -ströme infolge Blitzschlags; - Deutsche Fassung EN 50468:2009
DIN EN 61643-311 VDE 0845-5-1:2014-02	Bauelemente für Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung - Teil 311: Festlegungen für Gasentladungsableiter (ÜsAg) – (IEC 61463-311:2013); Deutsche Fassung EN 61643-311:2013
DIN EN 61643-321 VDE 0845-5-2:2003-02	Bauelemente für Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung - Festlegungen für Avalanche-Dioden (ABD) - (IEC 61643-321:2001); Deutsche Fassung EN 61643-321:2002
DIN EN 61643-331 VDE 0845-5-3:2004-03	Bauelemente für Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung - Teil 331: Festlegungen für Metalloxidvaristoren (MOV) - (IEC 61643-331:2003); Deutsche Fassung EN 61643-331:2003
DIN EN 61643-341 VDE 0845-5-4:2002-11	Bauelemente für Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung - Festlegungen für Suppressordioden (TSS) - (IEC 61643-341:2001); Deutsche Fassung EN 61643-341:2001

PRAVILNIKI NORMATIVI IN STANDARDI OSTALE INFRASTRUKTURE

Ur. l. RS št. 26/2002, 54/2002 xx	Pravilnik o tehničnih pogojih za graditev, obratovanje in vzdrževanje plinovodov z največjim delovnim tlakom do vključno 16 barov
Ur. l. RS št 12/2010, 45/2011, 17/14 xx	Pravilnik o tehničnih pogojih za graditev, obratovanje in vzdrževanje plinovodov z delovnim tlakom nad 16 barov ter o pogojih za posege v območjih njihovih varovalnih pasov (31. in 34. člen)*
SIST-TS CEN/TS 15280: 2006	Vrednotenje verjetnosti nastanka korozije vkopanih cevovodov – Uporaba pri katodno zaščitenih cevovodih - Evaluation of AC corrosion likelihood of buried pipelines - Application to cathodically protected pipeline
SIST EN 752: 2017	Sistemi za odvod odpadne vode in kanalizacijo zunaj zgradb Drain and sewer systems outside buildings
SIST EN 805:2000	Oskrba z vodo - Zahteve za zunanje vodovode in dele - Water supply - Requirements for systems and components outside buildings
SIST EN 1594: 2013	Cevovodni sistemi za najvišjii delovni tlak nad 16 bar - Funkcionalne zahteve - Infrastruktura za plin Gas infrastructure - Pipelines for maximum operating pressure over 16 bar - Functional requirements
SIST EN 1610:2015	Gradnja in preskušanje cevovodov in kanalov za odpadno vodo Construction and testing of drains and sewers
SIST EN 12068:1999	Katodna zaščita - Organske prevleke za zunanjo antikorozijsko zaščito skupaj s katodno zaščito na jeklenih cevovodih v zemlji ali v vodi - Toplotno skrčljivi trakovi in materiali Cathodic protection - External organic coatings for the corrosion protection of burried or immersed steel pipelines used in conjunction with cathodic protection - Tapes and shrinkable materials
SIST EN 12954:2020	Splošna načela in uporaba za cevovodeCathodic protection of buried or immersed metallic structures - General principles and application for pipelines
SIST EN 13509:2003	Merilne tehnike za katodno zaščito Cathodic protection measurement techniques
SIST EN 62949:2017 NADOMEŠČA RAZVELJ. ~~SIST EN 41003:2009)~~	Posebne varnostne zahteve za opremo za priključitev na informacijska in komunikacijska omrežja (IEC 62949:2017) Particular safety requirements for equipment to be connected to information and communication networks (IEC 62949:2017)
SIST EN 50162:2005	Železniške naprave – Zaščita proti koroziji zaradi učinkovanja blodečih tokov pri enosmernih tokovnih sistemih Protection against corrosion by stray current from direct current systems
SIST EN 50122-1:2011/A2:2017	Railway applications -Fixed installations -Electrical safety, earthing and the return circuit - Part 1: Protective provisions against electric shock Železniške naprave stabilne naprave električne vleke – 1 del: Električna varnost, ozemljitev in povratni tokokrog – 1 del: Zaščitni ukrepi proti električnemu udaru – Dopolnilo A2
SIST EN 50122-2:2010	Railway applications -Fixed installations -Electrical safety, earthing and the return circuit - Part 2: Provisions against the effects of stray currents caused by DC traction systems Železniške naprave stabilne naprave električne vleke – Električna varnost, ozemljitev in povratni tokokrog - 2. del: Zaščitni ukrepi proti učinkom blodečih tokov, ki jih povzročajo enosmerni vlečni sistemi

SIST EN 50122-3:2010	Railway applications -Fixed installations -Electrical safety, earthing and the return circuit - Part 3: Mutual Interaction of AC and DC traction systems
Normativi vodovod točka. 3.4.2.	Projektiranje, tehnična izvedba in uporaba javnega vodovodnega sistema Odmiki napeljav (svetli), ki potekajo vzporedno z vodovodom
Normativi kanalizacija točka. 3.4.2.2.	Projektiranje tehnična izvedba in uporaba javnega kanalizacijskega sistema - Horizontalni odmiki
Ur.l. RS št. 56/2003¸ xx	Pravilnik o projektiranju, gradnji in vzdrževanju stabilnih naprav električne vleke enosmernega sistema 3 kV (1) Ta pravilnik določa pogoje za projektiranje in gradnjo stabilnih naprav električne vleke enosmernega sistema 3 kV ter pogoje za njihovo vzdrževanje za celotno območje Republike Slovenije. (2) Pravilnik se ne nanaša na napajalne daljnovode, za katere velja pravilnik o tehničnih normativih za graditev nadzemnih elektroenergetskih vodov z nazivno napetostjo 1 kV do 400 kV (Uradni list SFRJ, št. 65/88), na naprave v visokonapetostnem postroju elektro-napajalnih postaj, za katere velja pravilnik o tehničnih normativih za elektroenergetske postroje nazivne napetosti nad 1000 V (Uradni list SFRJ, št. 4/74 in 13/78), ter na nizkonapetostne električne instalacije, za katere velja pravilnik o tehničnih normativih za nizkonapetostne električne instalacije (Uradni list SFRJ, št. 53/88).

SPISEK STANDARDOV, Z NAVODILI IN POSTOPKI ZA IZRAČUN TOKOVNE OBREMENLJIVOSTI KABLOVODA (100 % FAKTOR OBREMENITVE) IN IZGUB

IEC 60287-1-1(2006-12+AMD1:2014) Electric cables – calculation of the current rating
Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses - Section 1: General.
Enačbe za izračun tokovne obremenljivosti (100 % faktor obremenitve) in izračun izgub – Splošno
Standard podaja enačbe za izračun tokovne obremenljivosti in izgub v odvisnosti od sposobnosti odvajanja toplote, ki zavisi od tega, ali je kabel položen v zemlji ali zraku in od tendence izsuševanja zemljine. Izračun se razlikuje v odvisnosti od parametrov, ki se nanašajo na različne obratovalne pogoje, in sicer:

- parametri, ki se nanašajo na konstrukcijske lastnosti kabla (npr. notranja toplotna upornost),
- parametri, ki se nanašajo na okoliške pogoje, ki se zelo razlikujejo v odvisnosti od geografskega pasu,
- parametri, ki se izberejo glede na želene obratovalne razmere in vsebujejo neko varnostno mejo obratovanja (npr. določitev najvišje trajne temperature vodnika).
-

IEC 60287-1-2(1993-12) Electric cables – calculation of the current rating
Part 1-2: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – Section 2: Sheath eddy current loss factors for two circuits in flat formation.
Enačbe za izračun tokovne obremenljivosti (100 % faktor obremenitve) in izračun izgub - Faktorji za izračun vrtinčnih tokov za dva sistema v ravninski razporeditvi.
Standard predpisuje postopek izračuna izgubnega toka v zaslonu enožilnega kabla v dvosistemski trifazni povezavi v ravninski formaciji.

IEC 60287-1-3(2002-05) Electric cables – calculation of the current rating
Part 1-3: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – Section 3: Current sharing between parallel single-core cables and calculation of circulating current losses.
Enačbe za izračun tokovne obremenljivosti (100 % faktor obremenitve) in izračun izgub -
V standardu so podane enačbe za izračun tokovne obremenljivosti (100 % faktor obremenitve) in izračun izgub zančnih tokov pri enožilnih kablih v ravninski formaciji. Fazne tokove je mogoče izračunati za katerokoli način ozemljevanja ekranov. Pri izračunu izgub v ekranih se predpostavi obojestranska ozemljitev ekranov. Izračun vrtinčnih tokov pri dvosistemski povezavi je podrobneje predstavljen v standardu 60287-1-2.

IEC 60287-2-1(2006-05 + 2015 RLV) Electric cables – calculation of the current rating
Part 2-1: Thermal resistance – Section 1: Calculation of thermal resistance.
Toplotna upornost - Izračun toplotne upornosti
Izračun toplotne upornosti se nanaša na normalno obratovalno stanje kablov, položenih direktno v zemljo, kinete PE cevi, ali kovinske cevi tako za primer brez izsuševanja okoliške zemljine in z izsuševanjem le-te ter za kable v zraku. Pojem normalno obratovalno stanje se nanaša na obratovanje pri konstantnem trajnem toku, pri katerem je dosežena najvišja obratovalna temperatura ob predpostavki, da je temperatura okoliškega medija (zemljine ali zraka) konstantna.

IEC 60287-2-2 (1995-05) Electric cables – calculation of the current rating
Part 2-2: Thermal resistance – Section 2: A method for calculating reduction factors for groups of cables in free air, protected from solar radiation.
Toplotna upornost - postopek izračuna korekcijskih faktorjev za skupine kablov položenih v zraku in zaščitenih pred sončnim obsevanjem.
Standard nadomešča predhodni standard IEC 61042. Uporablja se za vse tipe kablov s horizontalnim potekom ob predpostavki, da imajo kabli enake preseke in enake izgube.

IEC 60287-3-1 (1995 + AMD1:1999-05) Electric cables – calculation of the current rating
Part 3-1: Sections on operating conditions – Section 1: Reference operating condition and selection of cable type.
Referenčni obratovalni pogoji in izbira tipa kabla
Standard obravnava karakteristike kabla pri normalnem obratovanju z izmenično napetosjo vseh frekvenc in DC kabla do 5 kV, ki so zakopani direktno v zemljo, kinete PE cevi, ali kovinske cevi tako za primer brez izsuševanja okoliške zemljine in z izsuševanjem le-te ter za kable v zraku. Sekcija obravnava referenčne obratovalne pogoje in izbiro kabla.

IEC 60287-3-2 (2012-07) Electric cables – calculation of the current rating
Part 3-2: Sections on operating conditions - Section 2: Economic optimization of power cable size.
Obratovalni pogoji - Dimenzioniranje elektroenergetskih kablov v smislu ekonomske optimizacije
V standardu je opisana metoda za izbiro in dimenzioniranje kabla, upoštevajoč začetne investicijske stroške in predvidene stroške zaradi izgub v pričakovani življenjski dobi. Stroški vzdrževanja, izgub hladilnih sistemov in stroški nedobavljene energije zaradi izpadov niso upoštevani.

IEC 60287-3-3 (2007-05) Electric cables – calculation of the current rating - Part 3-3: Sections on operating conditions - Cables crossing external heat source.
V standaru so opisane metode za izračun faktorjev obremenitve za kable vseh tipov in nazivnih napetosti pri križanju zunanjih virov toplote. Metoda sloni na predpostavki, da je v celotnem območju okoli kablov enotna okoliška temperatura.

IEC 60853-1 (1985-01) Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables.
Izračun cikličnih in izrednih tokovnih obremenitev kablov.
Part 1: Cyclic rating factor for cables up to and including 18/30 (36) kV
Izračun cikličnih in izrednih tokovnih obremenitev kablov nazivnih napetosti do 18/30 (36) kV
Standard opisuje metode za izračun cikličnih faktorjev obremenitve za kable, pri katerih se sme notranjo termično sposobnost (internal thermal capacitance) zanemariti.

IEC 60853-2 (1989-07) Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables.
Part 2: Cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings for cables of all voltages.
Ciklične obremenitve kablov nazivnih napetosti nad 18/30 (36) kV in izredne obremenite kablov za vse napetosti
Standard opisuje metode za izračun cikličnih faktorjev obremenitve za kable, pri katerih ni mogoče zanemariti notranje termične sposobnosti (internal thermal capacitance). Standard podaja tudi postopke za izračun izrednih obremenitev za vse kable, neodvisno od nazivne napetosti.

IEC 60853-3 (2002-02) Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables.
Part 3: Cyclic rating factor for cables all voltages, with partial drying of the soil.
Faktor cikličnih obremenitev kablov vseh napetosti pri delno izsušenem zemljišču
Standardopisuje metode za izračun cikličnih faktorjev obremenitve za kable vseh napetosti v primeru, da je mogoče pričakovati delno izsuševanja okoliške zemljine. Metoda sloni na eni izmed treh metod, ki so bile objavljene v publikaciji CIGRE. Metoda se nanaša na vse tipe kablov priporočljiva pa je za izračun večžilnih ali treh enožilnih kablovodov ali skupine kablov, pri katerih je razmik med njimi tolikšen, da omogoča prosto prehajanje vlage v vertikalni smeri med conami, ki so izsušene zaradi bližine kablov. Metoda sloni na predpostavki, da ima celotno območje, ki obdaja kablovod, enake termične karakteristike in enake pogoje izsuševanja,razlika, ki se pojavi v vlažnosti terena pa nastane izključno zaradi obratovanja kablovoda.

IEC/TR 62095 (2003-06)
Electric cables - Calculation of the current rating – Finite element method.
Električni kabli – Izračun tokovne obremenljivosti – Metoda končnih elementov

V standardu je opisan izračun odvedene toplote s pomočjo enačb A.1, ki so podane v Anexu A. Pri kablovodih položenih v zemljo se toplota odvaja iz kovinskih delov kabla v okolico s kondukcijo. Sposobnost oddajanja toplote okoliškega medija je odvisna od sestave zemljine, vsebnosti vlage, temperature in vetra. Dovoljena tokovna obtežba se izračuna s pomočjo enačb, ki opisujejo razmerje med tokom v vodniku in temperaturo v kablu ter njegovi okolici. Pri analitični rešitvi enačb predstavlja največji problem izračun temperaturnega profila v okolici kabla. Pri tem se kabel ponazori z osjo, ki jo obdaja homogeni medij. Ker s tako poenostavitvijo večinoma ni mogoče dovolj dobro ponazoriti realnih razmer, se pogosto privzame, da ima površina zemlje konstantno temperaturo, ki se poda z izotermo. V praksi je globina kabla enaka 10-kratnem zunanjem premeru kabla, zato se taka poenostavitev pri običajnem temperaturnem razponu izkaže kot ustrezna. Metode za rešitev enačb, ki podajajo prenos toplote opisujeta standarda IEC 60287 (steady-state conditions) in IEC 60853 (cyclic conditions) za najpogostejše primere. V primeru, da omenjenih metod ni mogoče uporabiti, je mogoče enačbe rešiti numerično kakor opisuje pričujoče tehnično poročilo.

IEC 60865-1 (2011-10) Short-circuit currents - Calculation of effects.
Part 1: Definitions and calculation methods
Kratkostični tokovi – Izračun vplivov
- Definicije in postopki izračunov
V standardu so opisani standardizirani postopki za izračun vplivov kratkostičnih tokov v dveh sekcijah – elektromagnetni vpliv na togi in fleksibilni vodnik in termični vpliv na goli vodnik. Velja za izmenične sisteme nazivnih napetosti do vključno 420 kV.
Standard obravnava mehanske in termične vplive na kratkostične tokove v sistemih izmenične napetosti. Vsebuje postopke za izračun elektromagnetnih vplivov na togo in fleksibilno vpete gole vodnike in termični vpliv na gole vodnike. Za kable in izolirane vodnike se sklicuje na standarda IEC 60949 in IEC 60986.

IEC/TR 60865-2 (2015-04) Short-circuit currents - Calculation of effects.
Part 2: Examples of calculation - Primeri izračunovKratkostični tokovi - Izračun vplivov
Standard podaja poenostavljene izračune mehanskih in termičnih učinkov pri kratkih stikih, kot so obravnavani v standardu IEC 60865-1.
Določitev termičnega ekvivalentnega kratkostičnega toka je iz standarda izvzeta in je prenesena v standard IEC 60909.

IEC 60909-0 (2001-07) Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Kratkostični tokovi v izmeničnih trifaznih sistemih
Part 0: Calculation of currents - Izračun tokov
Standard obravnava izračun kratkostičnih tokov v LV in HV trifaznih izmeničnih sistemih industrijske frekvence 50 Hz ali 60 Hz do nazivne napetosti 550 kV.

IEC/TR 60909-1 (2002-07) Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems.
Izračun kratkostičnih tokov v izmeničnih trifaznih sistemih
Part 1: Factors for the calculation of short-circuit currents in three-phase a.c. systems according to

IEC 60909-0
Faktorji za izračun kratkostičnih tokov v izmeničnih trifaznih sistemih v skladu z IEC60909-0.
IEC/TR 60909-2 (2008-11) Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems.
Izračun kratkostičnih tokov v izmeničnih trifaznih sistemih
Part 2: Electrical equipment - Data for short-circuit current calculations
Električna oprema – Podatki za izračun kratkostičnih tokov

IEC 60909-3 (2003 + 2009-03 RLV) Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Kratkostični tokovi v izmeničnih trifaznih sistemih

Part 3: Currents during two separate simultaneous single phase line-to-earth short circuits and partial short-circuit currents flowing through earth
Kratkostični tokovi pri dvojnem zemeljskem kratkem stiku in bežnem kratkem stiku
V standardu so podane metode za izračun pričakovanih kratkostičnih tokov pri nesimetričnem kratkem stiku v VN trifaznih izmeničnih sistemih frekvence 50 Hz ali 60 Hz tj.tokov pri dvojnem zemeljskem kratkem stiku v izoliranih ali resonančno ozemljenih omrežjih in prispevka tokov, ki tečejo po zemlji (partial short-circuit currents flowing through earth), v primeru enopolnega kratkega stiku v efektivno ali nizkoimpedančno ozemljenih omrežjih. Izračunani tokovi so osnova za določitev induciranih napetosti, napetosti dotika in koraka in dviga potenciala zemlje v stikališčih in daljnovodnih stebrih.

IEC/TR 60909-4 (2000-07) Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems.
Izračun kratkostičnih tokov v izmeničnih trifaznih sistemih
Part 4: Examples for the calculation of short-circuit currents
Primeri izračunov kratkostičnih tokov
IEC 60949 (1988-11) Calculation of thermally permissible short circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects - Izračun dopustnih termičnih kratkostičnih tokov pri ne-adiabatskem vplivu na segrevanje

V standardu je opisan postopek izračuna kratkostične obremenitve kabla. Izračun kratkostične obremenitve kabla je navadno temeljil na predpostavki, da v času kratkega stika toplota iz notranjosti kabla ne prehaja v okolico, kar pomeni, da se upošteva adiabatsko segrevanje, čeprav nekaj toplote vendar izhaja. V standardu je podana poenostavljena metoda, ki upošteva omenjeno ne-diabatsko segrevanje, tako da se kratkostične obremenitve razlikujejo v odvisnosti od izbranega modela.

DIN VDE 0102 jan 1990 Berechnung von Kurzschlussstroemen in Drehstromnetzen
Izračun kratkostičnih tokov v izmeničnih trifaznih omrežjih

DIN VDE 0102 - Beiblatt 1: sept 1992 Berechnung von Kurzschlussstroemen in Drehstromnetzen – Beispiele
Izračun kratkostičnih tokov v izmeničnih trifaznih omrežjih - primeri

DIN VDE 0102 - Beiblatt 3: maj 1997 Berechnung von Kurzschlussstroemen in Drehstromnetzen – Beispiele
Izračun kratkostičnih tokov v izmeničnih trifaznih omrežjih - primeri