



GOSPODARSKO
INTERESNO
ZDRUŽENJE

DISTRIBUCIJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

GIZ TS-19
5/2016

GRADNJA KABLOVODOV Z ENOŽILNIMI ENERGETSKIMI KABLI 64/110/123 kV

TEHNIČNA SMERNICA ZA MATERIAL IN GRADNJO

ZA INTERNO UPORABO V GIZ DEE



Elektro Celje, d.d.



elektro
gorenjska



ELEKTRO
LJUBLJANA



ELEKTRO MARIBOR



Elektro Primorska

MAJ 2016

GIZ TS-19 – GRADNJA KABLOVODOV Z ENOŽILNIMI ENERGETSKIMI KABLI 64/110/123 kV je izdelala Projektna skupina za tipizacijo distribucije Slovenije, odobrila Delovna skupina za tehnične zadeve in sprejela skupščina GIZ DEE Slovenije na svoji 9_16. seji dne 9.11.2016 s sklepom št. 89/9-16.

ZA INTERNO UPORABO V GIZ DEE

VSEBINA

1	UVOD	5
1.1	POMEN IN VLOGA	5
1.2	NAMEN IN OBMOČJE UPORABE	5
2	REFERENČNI DOKUMENTI	5
2.1	PREDPISI	5
2.2	STANDARDI	5
2.3	SMERNICE IN DRUGI DOKUMENTI	5
3	POMEN IZRAZOV	6
4	TEHNIČNE ZAHTEVE	8
4.1	UPORABA	8
4.1.1	IZBIRA TIPA KABLOV	8
4.2	OZNAČEVANJE	9
4.3	OZNAKE NA PLAŠČU KABLA	9
4.4	KONSTRUKCIJSKE ZAHTEVE ZA ENOŽILNE 110 kV KABLE	10
4.4.1	VODNIK	10
4.4.2	NOTRANJJI POLPREVODNI SLOJ VODNIKA	11
4.4.3	GLAVNA IZOLACIJA XLPE	11
4.4.4	ZUNANJJI POLPREVODNI SLOJ IZOLACIJE	11
4.4.5	SEPARACIJSKI SLOJ	11
4.4.6	ELEKTRIČNI KOVINSKI ZASLON	11
4.4.7	VZDOLŽNA VODNA ZAPORA IZ NABREKLJIVIH POLPREVODNIH TRAKOV (F)	12
4.4.8	RADIALNA VODNA ZAPORA IZ AL TRAKU (FL)	12
4.4.9	PLAŠČ KABLA	12
4.5	TEHNIČNE KARAKTERISTIKE KABLOV	12
4.5.1	ELEKTRIČNE KARAKTERISTIKE V SKLADU S STANDARDOM [2.2.1]	12
4.5.2	NAZIVNA TOKOVNA OBREMENITEV KABLA	13
4.6	TEHNIČNA DOLOČILA ZA POLAGANJE 110 kV KABLOVODOV	14
4.6.1	NAČINI POLAGANJA KABELSKEGA SISTEMA	14
4.6.2	OPIS IN IZBIRA POLAGANJA KABLOV GLEDE NA GEOMETRIJSKO RAZPOREDITEV	15
4.6.3	POLAGANJE KABLA DIREKTNO V KABELSKI JAREK	16
4.6.4	ŠIRINA TRASE POLAGANJA KABLOVODA	16
4.6.5	KABELSKA POSTELJICA	18
4.6.6	RAZVLAČENJE VN KABLA	19
4.6.7	IZDELAVA KABELSKIH SPOJK IN PREPLETANJE KABELSKIH ZASLONOV	19
4.6.8	ZASIP GRADBENE JAME IN IZDELAVA GRAMOZNEGA TAMPONA	19
4.6.9	KOMPRIMIRANJE	19
4.6.10	PODVRTAVANJE ČEST	19
4.6.11	POLAGANJE KABLOV V ČEVNO KANALIZACIJO	19
4.6.12	STROJNO POLAGANJE	20
4.6.13	POLAGANJE KABLOV V PROSTORE	21
4.6.14	POLAGANJE KABLOV OB STENE, POD STROPE IN NA POLICE	21
4.6.15	POLAGANJE KABLOV V KABELSKÉ KANALE - KINETE	21
4.6.16	POLAGANJE KABLOV Z VRTANJEM KABELSKEGA ROVA PO PRINCIPU PREDORSKE GEVI	21
4.6.17	KABELSKE OBJEMKE	21
4.6.18	VARNOSTNE ODDALJENOSTI DO OSTALIH KOMUNALNIH VODOV	21
4.7	OSTALA OPREMA VN 110 kV KABLA	23
4.7.1	PROSTOZRAČNI KABELSKI KONČNIKI	24
4.7.2	KABELSKE SPOJKE	24
4.7.3	ODVODNIKI PRENAPETOSTI	24
4.7.4	OMARICA ZA OZEMLJITEV ZASLONOV PREKO PRENAPETOSTNIH ODVODNIKOV V KABELSKEM PROSTORU 110 kV GIS STIKALIŠČA	25
4.7.5	OMARICA ZA NEPOSREDNO OZEMLJITEV EKRANOV NA PODSTAVKIH KABELSKIH KONČNIKOV	25
4.7.6	SISTEM MONITORINGA TEMPERATUJE (DTS)	25
4.7.7	OZEMLJILNI KABEL	25
4.7.8	NAČINI OZEMLJEVANJA KABELSKIH ZASLONOV	26
5	VPLIV NA OKOLJE IN VARNOST ZDRAVJA PRI DELU	30
6	PREIZKUSI, PREVZEM IN PREGLED	30
6.1	ZAHTEVE ZA PROIZVAJALCA KABLA	30
6.2	TIPSKI PREIZKUSI	31
6.2.1	KOSOVNI PREIZKUSI	31
6.2.2	TOVARNIŠKI PREVZEM	32
7	TEHNIČNA DOKUMENTACIJA ZA NAROČANJE	32
7.1	TEHNIČNA PONUDBENA DOKUMENTACIJA	32
7.2	TEHNIČNA DOKUMENTACIJA PO PODPISU POGODBE	33
8	SKLADIŠČENJE	33
9	TRANSPORT	33
10	POSEBNE ZAHTEVE PRI VGRADNJI	34
11	POSEBNE ZAHTEVE PRI VZDRŽEVANJU	34
12	DODATKI	35
	DODATEK A: POGOJI, KI VPLIVAJO NA KAPACITETO PRENOSA	35

A.1	KOREKCIJSKI FAKTORJI	35
A.2	GLOBINA VKOPA	36
A.3	TALNA TEMPERATURA	36
A.4	TOPLOTNA UPORNOST TAL	37
A.5	VPLIV POGOJEV NAMESTITVE	37
A.6	POLAGANJE KABLOV V RAVNINI Z OZEMLJITVIJO	37
A.7	POLAGANJE VEČ SISTEMOV Z OZEMLJITVIJO	38
A.8	FAKTOR ODVIŠEN OD PREREZA EKRANA	38
A.9	KABLI POLOŽENI V ZRAKU	38
A.10	POLAGANJE KABLOV V CEVNO KANALIZACIJO	39
A.11	KRAJKOSTIČNA ZMOGLJIVOST	40
DODATEK B:	TABELE TEHNIČNIH PODATKOV 110 KV KABLOV	42
B.1	110 KV KABEL	42
B.2	KABELSKI KONČNIK ZA ZUNANJO MONTAŽO	45
DODATEK C:	SKLADIŠČENJE, TRANSPORT ODVIJANJE IN PREVIJANJE	46
DODATEK D:	TIPSKI TESTI PO STANDARDU IEC 60840	47
DODATEK E:	PREGLEDI, PREVZEMI IN PREIZKUSI VN KABLOV	48
DODATEK F:	PRIKAZ POLAGANJA ENOŽILNEGA 110 KV KABLA PO FAZAH	49
DODATEK G:	VZORČNI PREREZI KABLOVODA	53
DODATEK H:	PRIMERI KABELSKE OPREME	59

KAZALO SLIK

SLIKA 1:	OZNAKE NA PLAŠČU KABLA	9
SLIKA 2:	KONSTRUKCIJA ENERGETSKEGA ENOŽILNEGA 110 KV KABLA Z XLPE IZOLACIJO	10
SLIKA 3:	PROFIL ENOSISTEMSKEGA 110 KV KABLOVODA PRI POLAGANJU PARALELNO NEPOSREDNO V KABELSKI JAREK	17
SLIKA 4:	PROFIL DVOSISTEMSKEGA 110 KV KABLOVODA PRI POLAGANJU PARALELNO NEPOSREDNO V KABELSKI JAREK	17
SLIKA 5:	PROFIL ENOSISTEMSKEGA 110 KV KABLOVODA PRI POLAGANJU V TRIKOT NEPOSREDNO V KABELSKI JAREK	17
SLIKA 6:	PROFIL DVOSISTEMSKEGA 110 KV KABLOVODA PRI POLAGANJU V TRIKOT NEPOSREDNO V KABELSKI JAREK	18
SLIKA 7:	NAPETOSTNI PROFIL INDUCIRANE NAPETOSTI NA ZASLONU ENOSTRANSKO OZEMLJENEGA KABLOVODA	26
SLIKA 8:	NAPETOSTNI PROFIL INDUCIRANE NAPETOSTI NA ZASLONU SREDINSKO OZEMLJENEGA KABLOVODA	27
SLIKA 9:	NAPETOSTNI PROFIL INDUCIRANE NAPETOSTI NA ZASLONU OBOJESTRANSKO OZEMLJENEGA ZASLONA KABLA	28
SLIKA 10:	NAPETOSTNI PROFIL INDUCIRANE NAPETOSTI PRI NAVZKRIŽNEM PREPLETANJU KABELSKIH ZASLONOV	29
SLIKA 11:	VPLIV ZNIŽEVANJA OBREMENITVE GLEDE NA GLOBINO VKOPA	36
SLIKA 12:	FAKTOR OBREMENITVE PRI RAZLIČNIH RAZPOREDITVAH KABLOV V ZRAKU	39
SLIKA 13:	FAKTOR OBREMENITVE PRI POLAGANJU V TRIKOT NA TLA V KABELSKEM PROSTORU	39
SLIKA 14:	PRIMER SKLADIŠČENJA KABLA	46
SLIKA 15:	PRIMER TRANSPORTA KABLA	46
SLIKA 16:	PRIMER ODVIJANJA KABLA Z BOBNA	46
SLIKA 17:	PRIMER PREVIJANJA KABLA IZ BOBNA NA BOBEN	46
SLIKA 18:	PRIPRAVA KABELSKEGA JARKA (IZKOP, POLAGANJE GEOTEKSTILA, PRIPRAVA POSTELJICE)	49
SLIKA 19:	PRIPRAVA NA VLEKO KABLA (RAZPOREJANJE VALJČKOV, VLEČNE VRVI, NATIKANJE VLEČENE NOGAVICE, GIBLJIVI VEZNI ČLEN)	49
SLIKA 20:	VLEKA KABLA (POSTAVITEV BOBNA, VLEK V KRIVINI, UVLEK V KABELSKO KANALIZACIJO PRI KRIŽANJU CESTE)	50
SLIKA 21:	POTISNO VLEČNI STROJ S HIDRAVLIČNIM POGONSKIM AGREGATOM	50
SLIKA 22:	VALJČNA UVODNICA PRI PREHODU V CEV KABELSKE KANALIZACIJE IN VALJČNA PROGA ZA VLEKO KABLA	50
SLIKA 23:	ZASIP KABLA	51
SLIKA 24:	STROJNI ZASIP IN POLAGANJE PEHD DVOJČKA IN OZEMLJILNEGA KABLA	51
SLIKA 25:	BETONSKE ZAŠČITNE PLOŠČE IN MERILNO MESTO	51
SLIKA 26:	VLEČNA VITLA IN STOJKE ZA KABELSKI BOBEN	52
SLIKA 27:	IZVEDBA KABELSKIH KONČNIKOV V GIS STIKALIŠČE	52
SLIKA 28:	IZVEDBA ZUNANJIH KABELSKIH KONČNIKOV S PREDGRETJEM KABLA IN MERITVAMI	52
SLIKA 29:	KOMPOZITNI SAMONOSILNI KABELSKI KONČNIK ZA ZUNANJO MONTAŽO NAPOLNJEN S SILIKONSKIM OLJEM (SLIKI PROIZVAJALCA RAYCHEM)	59
SLIKA 30:	KOMPOZITNI SAMONOSILNI KABELSKI KONČNIK ZA ZUNANJO MONTAŽO – SUHA IZVEDBA (SLIKE PROIZVAJALCA ABB)	60
SLIKA 31:	KABELSKI KONEKTORJI ZA GIS NAPRAVE (LEVO-DALJŠI: ZA NAPOLNJENE S TEKČIČNO, DESNO-KRAJŠI: ZA SUHO IZVEDBO) (SLIKI PROIZVAJALCA 3M)	61
SLIKA 32:	PREFABRICIRANA ENODELNA KABELSKA SPOJKA (SLIKA PROIZVAJALCA RAYCHEM)	62
SLIKA 33:	SESTAVLJIVA VEČDELNA KABELSKA SPOJKA (SLIKA PROIZVAJALCA RAYCHEM)	62
SLIKA 34:	PRIMER SESTAVLJIVE VEČDELNE KABELSKE SPOJKE S SIMETRIČNIMI PRIKLJUČKI ZA PREPLETANJE ZASLONOV (SLIKA PROIZVAJALCA RAYCHEM)	63
SLIKA 35:	PRIMER PREFABRICIRANE KABELSKE SPOJKE S KOAKSIALNIM PRIKLJUČKOM ZA PREPLETANJE ZASLONOV (SLIKA PROIZVAJALCA ABB)	63
SLIKA 36:	PRIMER IZDELAVE KABELSKE SPOJKE S PREPLETANJEM ZASLONOV	63
SLIKA 37:	PRIMER "CROSS - BONDING" OMARIC ZA PREPLETANJE SIMETRIČNIH PRIKLJUČKOV EKRANOV (LEVO) IN KOAKSIALNIH (DESNO) (SLIKI PROIZVAJALCA RAYCHEM)	64
SLIKA 38:	PRIMER IZGLEDA ZUNANJEGA ODVODNIKA PRENAPETOSTI (SLIKE PROIZVAJALCA ABB)	64
SLIKA 39:	OMARICA Z ODVODNIKI PRENAPETOSTI NA KABELSKEM ZASLONU	65
SLIKA 40:	VODENJE VN KABLOV V KABELSKEM PROSTORU (LEVO) IN KABELSKA UVODNICA NA PREHODU V KABELSKI PROSTOR (DESNO)	65

KAZALO RAZPREDELNIC

TABELA 1:	TEHNIČNE ZAHTEVE ZA TIPSKE 110 kV ENOŽILNE KABLE PO STANDARDU [2.2.1]	12
TABELA 2:	NAZIVNA TOKOVNA OBREMENTEV ($R_x R$) KABLOV PRI 20 °C V ZEMLJI IN 30 °C V ZRAKU	13
TABELA 3:	NAJVIŠJA DOPUSTNA TRAJNA DELOVNA TEMPERATURA VODNIKA V NORMALNEM OBRATOVANJU IN NAJVIŠJA DOPUSTNA TEMPERATURA VODNIKA V KRATKEM STIKU	13
TABELA 4:	TOKI KRATKEGA STIKA V KABLIH Z VODNIKI IZ ALUMINIJA V ODVISNOSTI OD VRSTE IZOLACIJE, ZAČETNE TEMPERATURE VODNIKA IN PREREZA VODNIKA TER ZA ČAS TRAJANJA KRATKEGA STIKA 1 s.	13
TABELA 5:	TOKI KRATKEGA STIKA V KABLIH Z VODNIKI IZ BAKRA V ODVISNOSTI OD VRSTE IZOLACIJE, ZAČETNE TEMPERATURE VODNIKA IN PREREZA VODNIKA TER ZA ČAS TRAJANJA KRATKEGA STIKA 1 s.	13
TABELA 6:	NAZIVNI POGOJI POLAGANJA KABLOV V ZEMLJO.....	14
TABELA 7:	NAZIVNI POGOJI POLAGANJA KABLOV V ZRAKU.....	14
TABELA 8:	ŠIRINE KABELSKEGA JARKA IN PRIZADETEGA OBMOČJA PRI IZGRADNJI 110 kV KABLOVODA PRI POLAGANJU V RAVNINI IN TRIKOT TER KOLIČINE IZKOPANEGA IN ZASIPNEGA MATERIALA ZA IZVEDBO KABELSKE POSTELJICE.	18
TABELA 9:	PRIMER ZMANJŠANJA PRENOSNE KAPACITETE OBRAVNAVANIH KABLOVODOV ZARADI OBOJESTRANSKO OZEMLJENIH KABELSKIH ZASLONOV (BREZ KOREKCIJSKIH FAKTORJEV POLAGANJA)	28
TABELA 10:	FAKTOR IZKORISTKA KABLA GLEDE NA GLOBINO VKOPA	36
TABELA 11:	REDUKCIJSKI FAKTORJI GLEDE NA TEMPERATURO ZEMLJE	36
TABELA 12:	FAKTOR IZKORISTKA KABLA GLEDE NA KARAKTERISTIKE ZEMLJE	37
TABELA 13:	FAKTOR OBREMENTE ENOSISTEMSKEGA KABLOVODA V ODVISNOSTI OD RAZDALJE MED KABLI V RAVNINSKI RAZPOREDITVI Z ENOSTRANSKO OZEMLJENIMI ALI NAVZKRIŽNO POVEZNIMI ZASLONI R_i	37
TABELA 14:	FAKTOR OBREMENTE VEČSISTEMSKEGA KABLOVODA V ODVISNOSTI OD OSNE RAZDALJE MED SISTEMI V RAVNINSKI ALI TRIKOTNI RAZPOREDITVI R_{ii}	38
TABELA 15:	FAKTOR OBREMENTE 110 kV KABLOVODA V ODVISNOSTI OD PRESEKA KOVINSKEGA ZASLONA PRI TRIKOTNI RAZPOREDITVI IN OBOJESTRANSKI OZEMLJITVI ZASLONOV BREZ NAVZKRIŽNEGA POVEZOVANJA R_z	38
TABELA 16:	FAKTOR IZKORISTKA GLEDE NA TEMPERATURO ZRAKA OKOLICE.....	38
TABELA 17:	FAKTOR POLAGANJA ZA KABLE V CEVEH ZAKOPANIH V ZEMLJO.....	39
TABELA 18:	KRA TKOSTIČNA ZMOGLJIVOST KABLOV NA ZIVNE NAPETOSTI $U/U_{R,R} = 110/123$ kV V ODVISNOSTI OD ZAČETNE TEMPERATURE VODNIKA	40
TABELA 19:	TOKOVNA OBREMENTEV ENOSISTEMSKEGA 110 kV KABLOVODA V RAVNINSKI IN TRIKOTNI FORMACIJI Z IZVEDENIM PREPLETOM S KABLI PREREZA 630 mm ² P (CU) IN 800 mm ² P (AL).....	40
TABELA 20:	TOKOVNA OBREMENTLJIVOST CU KABLOV NA ZIVNE NAPETOSTI $U/U_{R,R} = 110/123$ kV V ZEMLJI PRI TEMPERATURI ZEMLJE 20 °C	41
TABELA 21:	PRENOSNA MOČ CU KABLOV NA ZIVNE NAPETOSTI $U/U_{R,R} = 110/123$ kV V ZEMLJI PRI TEMPERATURI ZEMLJE 20 °C	41
TABELA 22:	PRIMER TABELE TEHNIČNIH PODATKOV ZA VN KABLE V POSTOPKU NAROČANJA.....	42
TABELA 23:	PRIMER TABELE TEHNIČNIH PODATKOV ZA VN KONČNIKE ZA ZUNANJO MONTAŽO V POSTOPKU NAROČANJA	45
TABELA 24:	FAZE IZVEDBE DEL IN POGOJI ZA PRISTOP K PREVZEMU	48

1 UVOD

1.1 POMEN IN VLOGA

Tehnična smernica je dokument, s katerim se za določeno vrsto objekta ali materiala uredi natančnejša opredelitev bistvenih zahtev, pogoji za projektiranje, 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. Poleg tega pa tudi postopke, po katerih je mogoče ugotoviti ali so takšne zahteve izpolnjene.

1.2 NAMEN IN OBMOČJE UPORABE

Tehnična smernica je namenjena enotnim kriterijem za projektiranje, nabavo, gradnjo in vzdrževanje 110 kV enožilnih energetskih kabelskih vodov na območju Gospodarskega interesnega združenja distribucijskih podjetij Slovenije (GIZ).

2 REFERENČNI DOKUMENTI

2.1 PREDPISI

- [2.1.1] Zakon o graditvi objektov (ZGO-1)
- [2.1.2] Energetski zakon
- [2.1.3] Zakon o gradbenih proizvodih
- [2.1.4] Zakon o tehničnih zahtevah za proizvode in o ugotavljanju skladnosti
- [2.1.5] Pravilnik o električni opremi, ki je namenjena za uporabo znotraj določenih napetostnih mej
- [2.1.6] Pravilnik o elektromagnetni združljivosti – EMC
- [2.1.7] Pravilnik o potrjevanju skladnosti in označevanju gradbenih proizvodov
- [2.1.8] Uredba o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju

2.2 STANDARDI

- [2.2.1] IEC 60840 Power cables with extruded insulation and accessories for rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV up to 150 kV ($U_m = 170$ kV) – Test methods and requirements
- [2.2.2] SIST HD 632 S2 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)

2.3 SMERNICE IN DRUGI DOKUMENTI

- [2.3.1] Tehnične, ekonomske, prostorske in okoljske možnosti uporabe 110 in 400 kV kablovodov, št. 2003 EIMV, Ljubljana, oktober 2009
- [2.3.2] Elektromagnetna sevanja električnih naprav in postrojev v naravno in življenjsko okolje, št. 1349 EIMV, Ljubljana, april 1998
- [2.3.3] Možnosti za znižanje jakosti elektromagnetnega sevanja v okolju naprav in objektov distribucijskega elektroenergetskega omrežja, št. 1605, EIMV, Ljubljana, oktober 2004
- [2.3.4] Študija tehnične obremenljivosti vodnikov za nadzemne vode II del, št. 1256, EIMV, Ljubljana, januar 1994
- [2.3.5] Dimenzioniranje in polaganje 110 kV kablov za doseganje optimalnega obratovanja, še.1836, EIMV, Ljubljana 26.3.2008

3 POMEN IZRAZOV

Povzeto po Slovenskem elektrotehničnem slovarju skladnem s standardom [2.2.3] področje elektroenergetika, Poglavje 461 – Električni kabli.

461 -01: VODNIKI

461–01-01

Vodnik (kabela) - conductor (of a cable)

je del kabla, katerega funkcija je prevajanje električnega toka.

461–01-04

Žila

je osnovni sestavni element kabla. Žilo sestavlja vodnik in ustrezna izolacija.

461–01-06

Masivni vodnik (solid conductor)

je vodnik, ki ga tvori ena sama žica.

461–01-07

Večžični vodnik (stranded conductor)

je vodnik iz več žic ali pramenov, od katerih so vsi ali nekateri vijačno sukani.

461–01-08

Večplastni okrogli večžični vodnik (concentrically stranded circular conductor)

je vodnik, pri katerem so posamezne žice vijačno sukane v eni plasti ali v več koncentričnih plasteh. Smeri sukanja posameznih plasti se navadno menjavajo.

461–01-09

Pramenasti vodnik (bunched conductor)

je večžični vodnik, pri katerem so vse žice vijačno sukane v isti smeri, ne da bi bile pri tem razvrščene v plasti.

461–01-14

Kompaktirani vodnik – zgoščeni vodnik (compacted conductor)

je večžični vodnik, pri katerem so vmesni prostori med žicami zmanjšani z mehanskim stiskanjem, vlečenjem, izbiro ustreznega profila žic ali z njihovo ustrezno razporeditvijo.

461–01-15

Segmentni vodnik (milliken conductor)

je vodnik, sestavljen iz več večžičnih profiliranih vodnikov, ki so med seboj delno izolirani.

461–01-17

Koncentrični vodnik (concentric conductor)

je vodnik, ki obkroža enega ali več izoliranih vodnikov.

461 -02: IZOLACIJE

461–02-01

Izolacija (insulation)

je del kabla iz snovi, ki vzdržijo napetostne pogoje.

461–02-02

Izolacija vodnika (conductor insulation)

je izolacija, uporabljena na vodniku ali zaslonu vodnika.

461–02-12

Omrežena izolacija (cross-linked insulation)

je izolacija iz termoplastične snovi, kopolimera ali zmesi teh snovi, katerih notranja molekularna struktura se spremeni po obdelavi s kemijskimi reakcijami, npr. z omreženjem ali vulkanizacijo, ali s fizikalnimi postopki, npr. z obsevanjem.

461 -03: ELEKTRIČNI ZASLONI IN OKLEPI

461-03-01

Zaslon (screen)

je prevodna plast ali več prevodnih plasti, katerih funkcija je oblikovati električno polje v izolaciji. Te plasti omogočajo tudi zglatitev površine na mejah izolacije in tako prispevajo k odpravljanju praznin na teh mejah.

461-03-02

Zaslon na vodniku – notranji zaslon (conductor screen)

je nekovinski in/ali kovinski električni zaslon, ki prekriva vodnik.

461-03-05

Snemljivi zaslon (na žili) (strippable screen)

je zaslon na žili iz ekstrudirane snovi, ki jo je mogoče odstraniti brez posebnega orodja, topila ali segrevanja ali kakršnekoli kombinacije teh sredstev.

461 -06: SPLOŠNO O KABLIH

461-06-01

Kabel (cable)

je skupek, ki sestoji iz: ene žile ali več žil, morebitnih lastnih prevlek, morebitne skupne zaščite, morebitnih zaščitnih prevlek. Kabel ima lahko tudi en neizoliran vodnik ali več neizoliranih vodnikov.

461-06-02

Enožilni kabel (single – core cable)

je kabel z eno samo žilo.

461-06-06

Kabel s skupnim oklepom (collectively shielded cable)

je večžilni kabel z enim samim oklepom, nameščenim okrog žel koncentrično na os kabla.

461 -14: POVEZOVANJE ZASLONOV (OKLEP – ZAŠČITNI ZASLON)

461-14-01

Enožilni kabli s čvrsto povezanimi zasloni (oklep – zaščitni zaslon/ solidly bonded single-core cable system)

so sistem enožilnih kablov, pri katerem so kovinski zasloni v vsaki žili med seboj električno povezani in ozemljeni na koncih trase in po potrebi tudi na vmesnih točkah.

461-14-02

Posebna povezovanja zaslonov (special bonding of shields)

je metoda spajanja in ozemljevanja kovinskih zaslonov enožilnih kablov, da se zmanjšajo vzdolžni toki v teh zaslonih, ki jih inducirajo toki v vodnikih.

461-14-03

Kabli z izoliranimi zasloni (insulated shield cable system)

so kabelski sistem, pri katerem je kovinski zaslon posameznega kabla izoliran na njegovi celotni dolžini, razen na mestih, kjer je potrebna ozemljitev ali medsebojna povezava zaslonov.

461-14-06

Ozemljitev v eni sami točki (single-point bonding)

je posebno povezovanje zaslonov, pri katerem so vsi trije zasloni kablov osnovnega odseka med seboj neposredno spojeni in ozemljeni v eni sami točki.

461-14-07

Permutiranje; zamenjevanje (cross - bonding)

je posebno povezovanje kablov, pri katerem se spoji zaslonov zaporednih osnovnih odsekov med seboj zamenjujejo tako, da vsak zaslonski tokokrog zaporedoma obkroži vse tri fazne vodnike.

461-14-08

Trojno permutiranje; trojno zamenjevanje (sectionalised cross - bonding)

je permutiranje, pri katerem so trije zaporedni osnovni odseki združeni v t. i. trojni odsek. Na koncu vsakega trojnega odseka so vsi trije zasloni neposredno spojeni in so v teh točkah lahko tudi ozemljeni. V dveh vmesnih točkah med osnovnimi odseki so kabli navadno prepleteni in zasloni povezani tako, da vsak zaslonski tokokrog zaseda isto geometrijsko pozicijo v konfiguraciji kablov na celotnem trojnem odseku. Pri dolgih tokokrogih je lahko več trojnih odsekov.

461-14-10

Neprekinjeno permutiranje; neprekinjeno zamenjevanje (continuous cross - bonding)

je permutiranje tokokrogov, daljših od treh osnovnih odsekov, pri katerih so zasloni kablov permutirani in kabli navadno prepleteni na vsakem spoju osnovnih odsekov na celotni trasi kabla. Zasloni so neposredno spojeni in ozemljeni na vseh koncih trase.

3.1

Nazivni prerez kablanskega vodnika

je vrednost izražena v mm² in se nanaša na vodnik.

3.2

Nazivna tokovna obremenitev kabla (I_n)

je nazivni tok, ki lahko trajno teče v vodniku kabla določenega tipa v normalnih pogojih, ne da bi se kabel prekomerno segrel.

4 TEHNIČNE ZAHTEVE

4.1 UPORABA

Enožilne 110 kV kable se uporablja za:

- kablitev odsekov 110 kV nadzemnih vodov,
- za načrtovanje mestnih kablinskih mrež,
- za dvostransko napajanje RTP 110/20 kV,
- za dvostransko napajanje dveh ali več RTP 110/20 kV.

Kabli morajo ustrezati najvišji nazivni obratovalni napetosti naprav prenosnega sistema; nazivna napetost 110 kV, maksimalna obratovalna napetost 123 kV, ozemljitev neučinkovita. Največja pričakovana vrednost toka zemeljskega stika znaša 20 kA.

4.1.1 IZBIRA TIPA KABLOV

Pri načrtovanju, projektiranju in gradnji VN omrežja se najpogosteje uporabijo naslednji tipi enožilnih 110 kV kablov:

☐ **Aluminij**

- | | | | |
|--------------------|----------------|-----------------|--------|
| • N A 2X S (FL) 2Y | 1 × 800 / 95* | mm ² | 110 kV |
| • N A 2X S (FL) 2Y | 1 × 1000 / 95* | mm ² | 110 kV |
| • N A 2X S (FL) 2Y | 1 × 1200 / 95* | mm ² | 110 kV |

☐ **Baker**

- | | | | |
|------------------|----------------|-----------------|--------|
| • N 2X S (FL) 2Y | 1 × 630 / 95* | mm ² | 110 kV |
| • N 2X S (FL) 2Y | 1 × 800 / 95* | mm ² | 110 kV |
| • N 2X S (FL) 2Y | 1 × 1000 / 95* | mm ² | 110 kV |
| • N 2X S (FL) 2Y | 1 × 1200 / 95* | mm ² | 110 kV |

* Presek zaslona se preveri in določi glede na velikost zemljističnega toka na mestu vgradnje.

4.2 OZNAČEVANJE

Oznako 110 kV kabla sestavlja skupina črk in števil, ki označujejo konstrukcijo kabla od sredine kabla (vodnik) navzven (plašč).

N A 2X S (FL)2Y 1 × 1000 / 95 RM 64/110/123 kV

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

1. Identifikator označevanja po standardu HD 620:S2 10 C, tabela 5

N oznaka za kabel po SIST HD standardu

2. Vodnik

A vodnik iz aluminija
- bakren vodnik (brez označbe)

3. Izolacija

2X omreženi polietilen (XLPE)

4. Zaslon

S zaslon iz Cu žic
SE zaslon okrog vsake žile posebej
H prevodni sloji
(F) vzdolžno vodotesen
L prečno vodotesna zapora (Al folija debelin $\approx 0,2$ mm)

5. Plašč

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

6. Število žil

7. Nazivni prerez vodnika/ prerez zaslona v mm²

8. Oblika vodnika

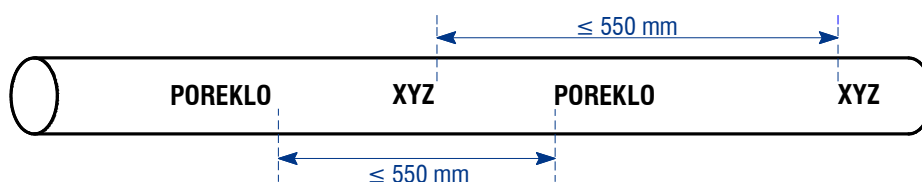
R okrogel vodnik	E polni vodik
S sektorski vodnik	M večžični vodnik

9. Nazivna napetost (U_0/U_m) 64/110/123 kV

4.3 OZNAKE NA PLAŠČU KABLA

Oznake kabla so določene tako, da se vsaka oznaka ponavlja vzdolž kabla pri tem pa razdalja med ponovitvami ni večja od:

- 550 mm, če je oznaka na površini kabla,
- 275 mm, če je oznaka na izolaciji zaščitnega kabla ali na traku zaščitnega kabla.



Slika 1: Oznake na plašču kabla

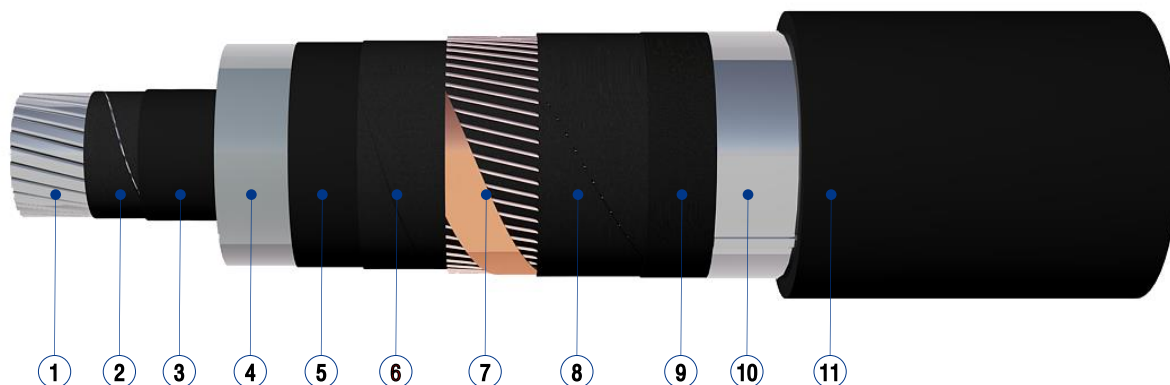
Na plašču kabla morajo biti jasno vidne, neizbrisljive in ponavljajoče naslednje oznake v predvidenih presledkih:

- **POREKLO**
 - ime proizvajalca kabla ali njegov zaščitni znak
- **XYZ**
 - leto izdelave
 - oznaka konstrukcije kabla po standardu [2.2.1]
 - število žil, nazivni prerez vodnika in električne zaščite
 - nazivna napetost kabla
 - tekoče oznake dolžin

4.4 KONSTRUKCIJSKE ZAHTEVE ZA ENOŽILNE 110 KV KABLE

Enožilni 110 kV kabel sestavljajo naslednji deli:

1. Vodnik z vzdolžno vodno zaporo
2. Separacijski sloj
3. Notranji polprevodni sloj vodnika
4. Glavna izolacija XLPE
5. Zunanji polprevodni sloj izolacije
6. Podložni nabrekljiv polprevodni trak namenjen za vzdolžno vodno zaporo kabla
7. Kovinski zaslon iz Cu žic
8. Vzdolžna vodna zapora kabla iz nabreklikega polprevodnega traku
9. Separacijski sloj
10. Radialna-prečna vodna zapora iz Al traku
11. Zunanji plašč kabla



Slika 2: Konstrukcija energetskega enožilnega 110 kV kabla z XLPE izolacijo

4.4.1 VODNIK

Vodnik se izdeluje iz Al ali Cu žic, iz katerih se splete vrv vodnika v skladu z IEC 60228 – razred II. Površina vodnika mora imeti obliko valja, kar zagotavlja enakomerno razdelitev električnega polja. Pri enaki tokovni obremenitvi in enakem padcu napetosti mora biti prerez Al vodnika 1.6 – krat večji od prereza Cu vodnika, pri čemer je segrevanje Al vodnika manjše za približno 18%, zaradi večje površine vodnika. Dodatna prednost Al vodnika je tudi v masi, saj je pri istem prerezu dvakrat manjša od mase Cu vodnika.

Razmerje med upornostjo vodnika pri izmenični in enosmerni obremenitvi narašča z prerezom vodnika zaradi izriva toka na površino vodnika - kožni pojav (skin effect) in vpliva sosednjih kablov (proximity effect). Zaradi tega je uporaba večžičnega okroglega vodnika primerna za prereze do 630 mm², medtem ko se za prereze od 800 mm² do 1200 mm², uporablja vodnik izdelan iz profilnih žic. Za prereze kabla nad 1200 mm² se uporablja segmentni vodnik s 4 do 6 segmenti izdelan iz posameznih

lakiranih žic, kjer pa konstrukcijo izkoristimo v celoti le, če so posamezni segmenti medsebojno izolirani. Pri prepletenem in kompaktiranem vodniku se izrivu toka zaradi kožnega pojava (skin effect) ne da izogniti.

4.4.2 NOTRANJI POLPREVODNI SLOJ VODNIKA

Notranji polprevodni sloj vodnika je izdelan iz omrežnega polprevodnega polietilena, ki nastane tako, da se polietilenu doda ogljik. Polprevodni sloj (oba sloja) in izolacijo se izdelata s postopkom trojne sočasne ekstruzije, kjer se dosega minimalno onesnaženje na stikih med slojem kabla. Sposobnost prevodnosti tega sloja je odvisna od vsebnosti ogljika, stopnje disperzije, temperature in trajanja sintetizacijskega postopka. Namen polprevodnega sloja je, da zmanjša hrapavost površine vodnika in preprečuje širjenje zračnih votlinic ter tako zagotavlja radialni potek električnega polja kabla. Polprevodni sloj služi tudi kot termična zaščita izolacije v primeru nastopa kratkega stika, ker se na njem pojavi visok padec temperature. Posledično pa s tem podaljšamo življenjsko dobo kabla.

4.4.3 GLAVNA IZOLACIJA XLPE

Glavna izolacija XLPE je izdelana iz čistega polietilena visoke dielektrične in termične stabilnosti (proces trojne sočasne ekstrudacije). Proces omreženega polietilena XLPE (super čista) poteka pri visoki temperaturi in pritisku, ki zagotavlja čvrsto povezovanje molekul ter s tem posledično nastanek čiste homogene izolacijske strukture. Iz tehničnega vidika to pomeni, da ima izolacija visoko termično stabilnost, veliko odpornost proti pretrgu, veliko odpornost proti delnim razelektrenjem ter nizke vrednosti dielektričnih izgub.

V standardih za napetostni nivo nad 30 kV je debelina izolacije podana le kot priporočilo ter proizvajalec sam ali po dogovoru z naročnikom določi njeno vrednost na podlagi preskušanja in obratovalnih izkušenj. Dielektrična trdnost novega kabla z izolacijo XLPE se giblje okrog 60 kV/mm. Na podlagi tega se je njena vrednost pri kablilih za napetosti nivo $U_0/U = 64/110$ kV v zadnjem obdobju znižala iz 18 mm na 16 mm za presek vodnika Cu 630 mm² ali Al 800 mm², pri izdelavi modernejših in tehnološko izpopolnjenih linij pa se uporablja celo 10 mm.

❑ Razlogi proizvajalcev za zmanjšanje debeline izolacije so naslednji:

- kvalitetnejša izolacija, ki dopušča višjo vrednost električne poljske jakosti E [kV/m],
- kvalitetnejša izdelava polprevodnih slojev in
- višja dimenzijska natančnost.

❑ Električne lastnosti XLPE izolacije:

- najvišja temperatura vodnika 90 °C
- najvišja temperatura vodnika pri kratkem stiku 250 °C
- toplotna upornost pri 20 °C 3.5 K m/W
- $\tan \varphi$ pri U_0 in 90 °C $\leq 1 \times 10^{-3}$

4.4.4 ZUNANJI POLPREVODNI SLOJ IZOLACIJE

Lastnosti in postopek izdelave je enak kot pri notranjem polprevodnem sloju.

4.4.5 SEPARACIJSKI SLOJ

Namen separacijskega sloja je preprečevanje medsebojno škodljivih vplivov med različnimi sestavnimi elementi kabla.

4.4.6 ELEKTRIČNI KOVINSKI ZASLON

Namen kovinskega zaslona je simetrična razporeditev in omejitev električnega polja na izolaciji ter odvajanje zemeljskostičnega toka. Za presek zaslona glej opombo iz poglavja 4.4.1. Izdelan je v obliki zaslona iz bakra ali svinca. Najpogostejša kombinacija zaslona je iz bakrenih žic in folije, ki zagotavljata, da se tok okvare na čim krajši razdalji porazdeli enakomerno po vseh žicah ter tako omogoči enakomernejšo obremenitev zaslona. VN kabli z bakrenim zaslonom so opremljeni z aluminijastim plaščem debeline 0,2 mm, ki služi kot radialna vodotesna zaščita kabla. Tudi debelina zunanega plašča pri VN kablilih ni določena s standardi, kot je pri SN kablilih, ampak se njegova vrednost določi v skladu s pričakovanimi obremenitvami. Zaslon kabla mora biti na eni strani ozemljen preko ustreznih odvodnikov prenapetosti, na drugi strani pa direktno ozemljen.

4.4.7 VZDOLŽNA VODNA ZAPORA IZ NABREKLJIVIH POLPREVODNIH TRAKOV (F)

Vdor vlage v vzdolžni smeri kabla se doseže tako, da se pod in preko kovinskega zaslona ovijejo posebni trakovi (*angl.* "swelling tapes"), ki imajo visoko sposobnost vpijanja vode. V trakovih je absorbent, ki je sposoben absorpcije večjih količin vode in ob stiku z vodo nabrekne, kar prepreči nadaljnje prodiranje vode vzdolž kabla. Podložni (spodnji) trak je poleg vodni zapori namenjen tudi mehanski zaščiti ekstrudirane polprevodne plasti izolacije pred vtiskanjem žic zaslona.

Kabel, ki je izdelan z vzdolžno vodno zaporo, je označen s črko **F** v oklepaju »(F)«.

4.4.8 RADIALNA VODNA ZAPORA IZ AL TRAKU (FL)

Poleg vzdolžne vodne zapore imajo VN kabli serijsko vgrajeno tudi radialno (prečno) vodno zaporo. Najpogosteje je izvedba iz aluminijske zvarjene folije pod zunanjim plaščem ter jo označujemo s črkama **FL** v oklepaju »(FL)«. Za področja s povečano vsebnostjo vode se uporablja svinčeni plašč (morski kabel), ker aluminij ni dovolj odporen proti koroziji. V primeru, da je potrebno zagotoviti povečano mehansko zaščito kabla, pa se dodatno namesti sloj iz kovinskega materiala – armatura, ki ne sme biti iz feromagnetnih materialov (aluminij ali nerjavno jeklo).

4.4.9 PLAŠČ KABLA

Zunanji plašč se izdeluje iz polietilena (HDPE) visoke gostote, v nekaterih primerih pa tudi iz polivinilklorida (PVC). PE plašč ima boljše lastnosti kot plašč iz PVC, ki se odraža predvsem v večji mehanski trdnosti, boljši odpornosti pred vpijanjem vlage in pred ultravijoličnem sevanjem. V primeru povečane nevarnosti nastanka poškodb pri polaganju kabla ter na območjih, kjer pričakujemo posebne mehanske obremenitve, se priporoča uporaba posebnih kabelskih konstrukcij s posebnimi zaščitnimi sloji (zaščita iz jeklenih žic). Podobno kot debelina izolacije je tudi debelina zunanjega plašča VN kabla v standardu podana v dimenzijskem obsegu, katero definira proizvajalec VN kablov ali naročnik v svojih tehničnih specifikacijah.

4.5 TEHNIČNE KARAKTERISTIKE KABLOV

4.5.1 ELEKTRIČNE KARAKTERISTIKE V SKLADU S STANDARDOM [2.2.1]

Nazivna napetost $U_0/U/U_m$	64/ 110 /123 kV
Električna upornost vodnika v skladu z	[2.2.2]
Specifična električna upornost izolacije	1000 MΩ/km pri 90 °C
Tokovna obremenitev (A), v skladu z	[2.2.2]

Tabela 1: Tehnične zahteve za tipske 110 kV enožilne kable po standardu [2.2.1]

Nazivni presek (mm ²)		630	800	1000	1200
Vodnik		Okrogla žica razreda 2			
Material prevodnika	Cu-SIST EN	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%
	Al- SIST EN	99,5%	99,5%	99,5%	99,5%
Premer vodnika (mm)		30,2	33,7	37,9	42
Debelina izolacije, nazivna vrednost (mm)		16,0	16,0	16,0	16
Debelina izolacije, srednja vrednost (mm)		13,0	13,0	13,0	15
Debelina izolacije, minimalna vrednost (mm)		10,0	10,0	10,0	10
Premer preko izolacije (mm)		58,0	61,9	66,1	84
Nazivni presek zaščitnega zaslona (mm ²)		95	95	95	95
Zunanji premer (mm),		69,0	74,0	79,0	110
Teža, ca. kg/m	Cu	9,3	11,1	13,2	17
	Al	5,4	6,2	7,0	9,7
Dovoljena natezna sila (N/mm ²)	Cu	7	7	7	60
	Al	4	4	4	36
Nazivna napetost U_0/U (kV)		64/110	64/110	64/110	64/110
Največja trajno dovoljena obratovalna napetost U_m (kV)		123	123	123	123

Nazivni presek (mm ²)		630	800	1000	1200
Največji upor vodnika pri 20°C (po IEC)	Cu	0,0283	0,0221	0,0176	0,0151
	Al	0,0469	0,0367	0,0291	0,0247
Obratovalna kapacitivnost (μF/km)		0,23	0,25	0,28	0,33
Obratovalna induktivnost (mH/km)		0,35	0,35	0,34	0,33
		0,54	0,53	0,51	0,50
Tok kratkega stika vodnika (kA) / 1s ,90/250°C	Cu	90,1	114,0	143,0	143
Tok kratkega stika vodnika (kA) / 1s ,90/250°C	Al	59,5	75,6	94,5	94

4.5.2 NAZIVNA TOKOVNA OBREMENITEV KABLA

Tokovno obremenitev kabla je potrebno omejiti tako, da se sproščena toplotna energija v kablju vzdolž celotnega kabla odvaja v okolico. Pri projektiranju je potrebno upoštevati, da je odvod temperature odvisen od konstrukcije in dimenzije kabla, vrste toka in napetosti, od temperature sredstva v katerem je kabel položen in od toplotne upornosti tega sredstva (glej Dodatek A).

Nazivno tokovno obremenitev kabla razberemo iz tabele 2:

Tabela 2: Nazivna tokovna obremenitev (I_n) kablov pri 20 °C v zemlji in 30 °C v zraku

Tokovna obremenitev (A)	Način polaganja	Tip vodnika	630 mm ²	800 mm ²	1000	1200
V ZEMLJI		Cu	610	665	720	1081
		Al	705	755	800	863
V ZRAKU		Cu	950	1040	1125	1375
		Al	820	910	1005	1055

Tabela 3: Najvišja dopustna trajna delovna temperatura vodnika v normalnem obratovanju in najvišja dopustna temperatura vodnika v kratkem stiku

Vrsta izolacije	Najvišja dopustna temperatura vodnika (°C)	
	Trajno obratovanje	Kratki stik (trajanje največ 5 s)
Termostabilni omreženi polietilen (XLPE)	90	250

Tabela 4: Toki kratkega stika v kablju z vodniki iz aluminija v odvisnosti od vrste izolacije, začetne temperature vodnika in prereza vodnika ter za čas trajanja kratkega stika 1 s.

Vrsta izolacije kabla	Dopustna delovna t. vodnika °C	Dopustna t. vodnika v kr. stiku °C	Temperatura vodnika na začetku kratkega stika °C								
			90	80	70	65	60	50	40	30	20
			Nazivna kratkotrajna gostota toka kratkega stika (1s) v A/mm ²								
XLPE	90	250	94	98	102	104	105	109	113	116	120

Tabela 5: Toki kratkega stika v kablju z vodniki iz bakra v odvisnosti od vrste izolacije, začetne temperature vodnika in prereza vodnika ter za čas trajanja kratkega stika 1s

Vrsta izolacije kabla	Dopustna delovna t. vodnika °C	Dopustna t. vodnika v kr. stik °C	Temperatura vodnika na začetku kratkega stika °C								
			90	80	70	65	60	50	40	30	20
			Nazivna kratkotrajna gostota toka kratkega stika (1s) v A/mm ²								
XLPE	90	250	143	149	154	157	159	165	170	176	181

Tabela 6: Nazivni pogoji polaganja kablov v zemljo

Koeficient obremenitve	$m = 0,7$
Globina polaganja.....	min. 1 m
Načini polaganja kablov:	
- 3 enožilni kabli v ravnini	
Posteljica iz zdrobljene zemlje ali finega peska	
Mehanska zaščita:	
- betonska plošča	
- plastični ščitniki ali mreže	
Temperatura zemljišča na globini polaganja.....	20 °C
Specifična toplotna upornost zemljišča:	
- vlažno zemljišče.....	1,0 Km/W
- suho zemljišče.....	2,5 Km/W
Ozemljitev električne zaščite kabla (zaslon)	

Tabela 7: Nazivni pogoji polaganja kablov v zraku

Koeficient obremenitve	$m = 1,0$
Načini polaganja kablov:	
- 3 enožilni kabli v trikotniku	
- 3 enožilni kabli v ravnini	
D = zunanji premer kabla	
Polaganje prosto v zraku pri neoviranem odvodu toplote	
- oddaljenost kablov od zida, tal ali stropa.....	≥ 2 cm
- razmik kablov položenih drug do drugega.....	$\geq 2 D$
- razmik kablov položenih drug nad drugim.....	$\geq 2 D$
- razmik med vrstami kablov na kabelskih policah...	≥ 30 cm
Temperatura okolice.....	30 °C
Pri zadostnem zračenju in brez direktnega sevanja	

4.6 TEHNIČNA DOLOČILA ZA POLAGANJE 110 KV KABLOVODOV

4.6.1 NAČINI POLAGANJA KABELSKEGA SISTEMA

Na splošno imamo za polaganje kabelskih sistemov več možnosti. Najbolj pogosti so:

☐ Tradicionalne tehnike

- polaganje v cevi,
- direktno polaganje v jarek,
- polaganje v kinete (predori ipd.),
- polaganje skozi jaške.

☐ Novejše tehnike

- polaganje pod mostove,
- vertikalni jaški,

- horizontalno podvrtavanje (v cevi),
- direktno vkopavanje (mikrotuneli),
- strojno polaganje,
- polaganje v vodo (reke, jezera, morja, ...).

Vsaka tehnologija ima svoje prednosti in slabosti, predvsem pa moramo paziti na poškodbe kabla pri polaganju in na ohranjanje sposobnosti odvajanja toplote.

Izračun prenosne zmogljivosti mora biti narejen za najslabši primer – to je polaganje v cevi pri horizontalnem podvrtavanju na največji globini.

4.6.2 OPIS IN IZBIRA POLAGANJA KABLOV GLEDE NA GEOMETRIJSKO RAZPOREDITEV

V Sloveniji se na 110 kV daljnovodih uporabljajo vodniki s prerezo Al/Fe 240/40 mm², kjer je trajni termični tok vodnika v poletnih razmerah 550 A in 660 A v zimskih razmerah [2.3.4]. Potrebno je izbrati kabel z ustrezno tokovno zmogljivostjo, ki je tudi odvisna od načina polaganja, načina obratovanja in termične prevodnosti tal. Ob zagotovljenih ustreznih pogojih in načinu polaganja (standardni pogoji proizvajalcev kablov podani v tabelah), bi za doseganje enake zmogljivosti teoretično zadostoval kabel z bakrenimi vodniki prereza 300 mm².

Vendar so v praksi pogoji precej drugačni od teoretičnih, zato je najbolj primeren prerez bakrenih vodnikov 630 mm², ki v standardnih pogojih lahko dosega obremenitve okrog 1000 A, z upoštevanjem oziroma zagotavljanjem skupnega faktorja polaganja $f_p \approx 0,6$ pa zagotovimo daljnovodu enakovredno obremenljivost tudi v delu kablovoda. [2.3.1]

Predlagani tipski 110 kV kabel ima bakrene vodnike prereza 630 mm² ali aluminijaste vodnike prereza 800 mm². V primeru neugodnih pogojev polaganja, ko ni mogoče zagotoviti ustreznega odvajanja toplote iz kabla v okolico, se mora izbrati za stopnjo večji prerez kabla. Pomembno je, da ne povečujemo prerez kabla prekomerno, saj nam povečanje kabla relativno malo poveča termični tok kabla. Predlagan prerez Cu 630 mm² oziroma Al 800 mm² v večini primerov zagotavlja enako prenosno zmogljivost kot jo imajo 110 kV daljnovodi. Zaradi zagotavljanja kriterija N-1 v prenosnem omrežju je običajni režim obratovanja vodov precej nižji od termičnih mejnih vrednosti.

Enožilni VN 110 kV kabli se lahko polagajo na dva načina:

- v trikotni formaciji,
- paralelno, z medsebojnim razmikom najmanj za debelino kabla.

Geometrijska razporeditev kablov je odvisna od več dejavnikov, pri čemer je potrebno upoštevati premer kabla, način ozemljevanja zaslonov, obremenjenost kabla, vzdrževanje in zanesljivost.

V 110 kV omrežju se v glavnem uporabljajo trije enožilni kabli položeni v trikot, ker se večinoma uporabljajo v gosto poseljenih področjih, ki imajo običajno prostorske omejitve. Pri dvosistemskih kablovodih je vsak sistem namenjen neodvisnemu obratovanju enega sistema od drugega, kar upoštevamo pri geometrijski razporeditvi kablov in s tem pri zadostnem razmiku med posameznimi kablovodnimi sistemi. Za polaganje 110 kV kablovoda je mogoče uporabiti tako trikotno kot ravninsko formacijo. Trikotna formacija se odlikuje po nizkih dodatnih izgubah (majhne izgube v kovinskih zaslonih), ravninska pa po boljšem odvajanju izgubne toplote v okolico.

V primeru kratkih kablovodov brez izvedenega prepleta kovinskih zaslonov je potrebno kable polagati **v trikotni formaciji**. V primeru daljših odsekov, kjer je preplet kovinskih zaslonov obvezen, lahko večjo obremenljivost dosežemo pri polaganju **v ravninski formaciji**, zato naj se uporablja slednja, v kolikor to dopušča teren. Pri 110 kV kablovodu je običajno debelina izolacije med 13 mm in 16 mm (preizkušena in dopustna je tudi debelina 10 mm) z bakrenim vodnikom prereza 630 mm² in z maksimalno dolžino transportiranega kabla v enem kosu do 1000 m. Premer kabelskih bobnov za transport 110 kV kablov je 2 do 3 m, z širino 1,5 m. Za transport kablov nazivne napetosti 110 kV po terenu se večinoma uporabljajo običajna transportna sredstva (tovornjak ali vlak). Težave se lahko pojavijo le na ozkih lokalnih cestah in kolovozih, ki služijo dostopu do posameznih točk kabelske trase.

4.6.3 POLAGANJE KABLA DIREKTNO V KABELSKI JAREK

Polaganje kablov direktno v kabelski jarek, izveden po postopku odprtega kopa, je najpogostejše uporabljena metoda polaganja kablov, ki hkrati zagotavlja tudi najoptimalnejše obratovalne pogoje. Pri polaganju kablov v kabelski jarek morajo biti izpolnjene naslednje zahteve:

- globina polaganja,
- širina trase,
- formacija polaganja v povezavi z izbiro načina ozemljitve kovinskih zaslonov in
- ustrezno število sistemov za zagotavljanje zahtevane prenosne zmogljivosti.

Po referatu števil [2.3.1] se enožilne VN kable polaga v odprti kabelski jarek. Globina jarka ne sme biti manjša od 0,7 m. Nazivna globina polaganja pri kateri ni potrebno upoštevati faktorja obremenitve znaša 1,2 m.

Optimalno polaganje VN 110 kV kablov:

- presek vodnika kabla baker Cu 630 mm² ali aluminij Al 800 mm²,
- trikotna formacija,
- ravninska formacija (**flat formation**) v primeru daljših odsekov,
- razmik med osmi kabelskih vodov; 30 cm,
- priporočena razdalja med sistemi; ≥ 2 m.

Montažna dela posameznega VN kabelskega sistema skladno s terminskim planom izvajanja elektromontažnih del naj obsegajo:

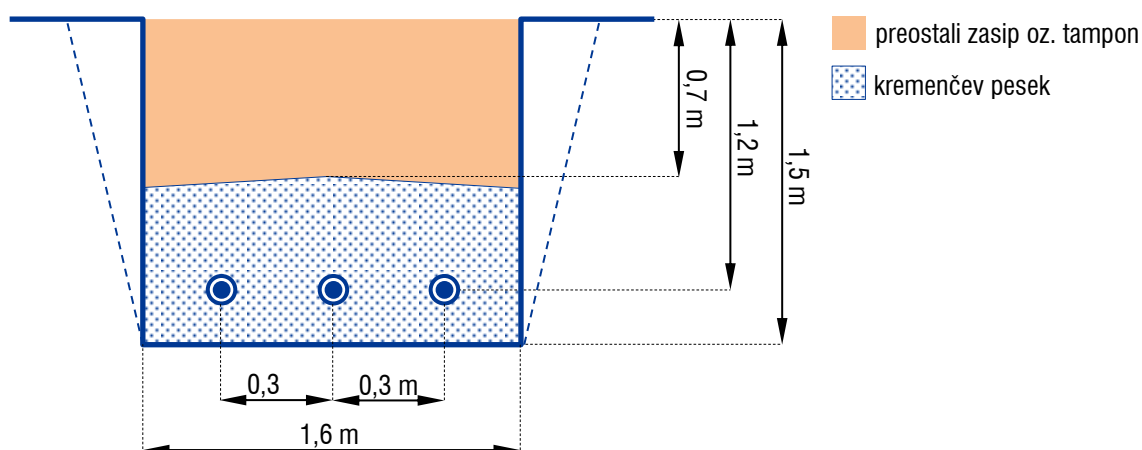
- dostavo kabla (navitega na bobnu) iz skladiščnega mesta do mesta, kjer bo stal boben v času razvlečenja kablov,
- razvlečenje in namestitve kablov v jarek in v kabelske cevi (do največ 2 m globine oziroma izjemoma 4 m v primeru križanj z izjemo podvrtavanj), pri čemer je dobavitelj na zahtevo dolžan zagotoviti vso potrebno opremo za razvlečenje kablov,
- pritrditev kablov na jeklene konstrukcije podstavkov v prostozračnem stikališču in na jeklene konstrukcije ter na tla v kabelskem prostoru z ustreznimi kabelskimi sponkami,
- montažo kabelskih končnikov (za zunanjo montažo in za priključitev na GIS postroj),
- namestitev omarič za ozemljitev zaslonov kablov,
- izvedba povezav na ozemljitveni sistem,
- nadzor nad montažo kablov, kabelskih končnikov in prenapetostnih odvodnikov.

Po končanih elektromontažnih delih pooblaščen strokovna institucija izvede preizkuse skladno z standardom IEC 60840:2011 v sodelovanju z izvajalcem montažnih del.

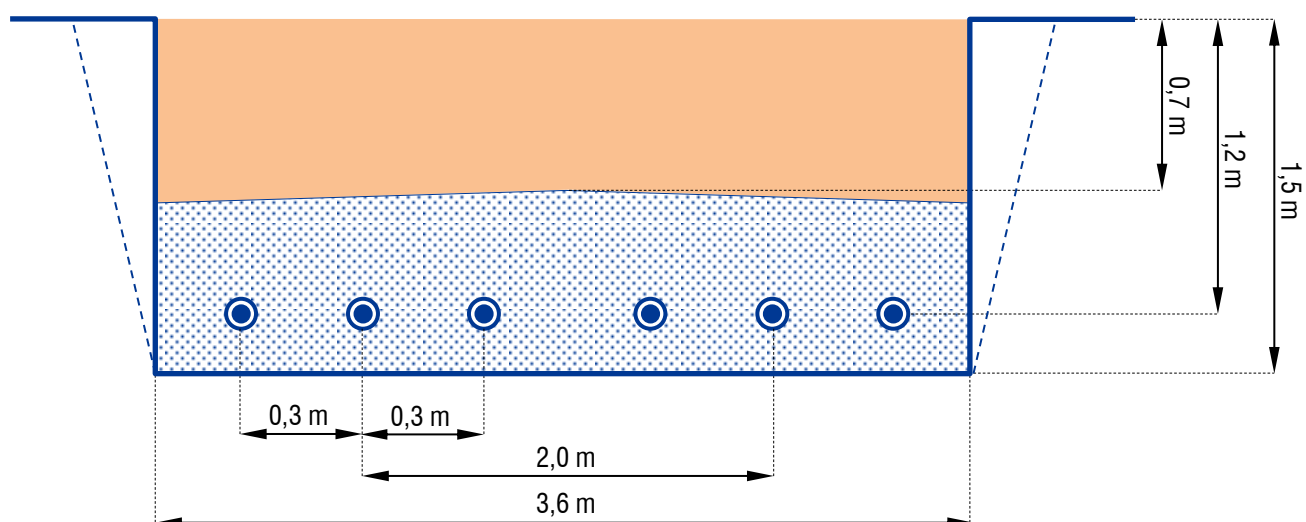
4.6.4 ŠIRINA TRASE POLAGANJA KABLOVODA

Širina trase polaganja kablovoda je odvisna od formacije polaganja, razdalje med fazami, števila sistemov in posameznih razdalj med sistemi. Vse to pa je pogojeno z razpoložljivo širino koridorja. Upoštevati je potrebno, da se na spojinah mestih širina trase dodatno poveča odvisno od izvedbe spoja. Pri določanju širine trase več systemskega kablovoda je potrebno upoštevati razdalje med kabli posameznih faz znotraj enega sistema, kakor tudi razdalje med posameznimi sistemi. Te so odvisne tako od potrebe po obremenljivosti kablovoda, kot tudi od zahtevane zanesljivosti obratovanja, ki pogojuje kolikšno število sistemov mora nemoteno obratovati v primeru popravila okvarjenega sistema.

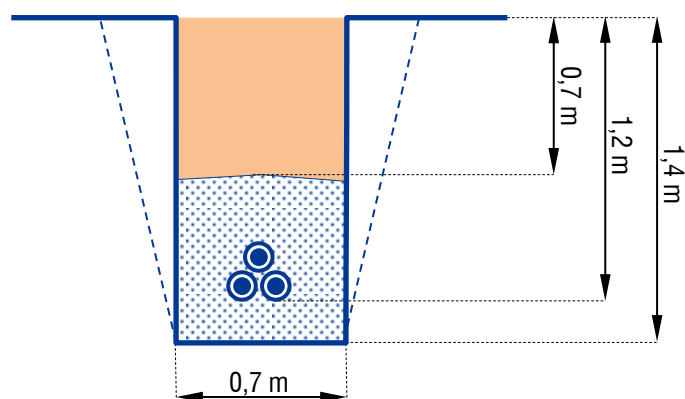
Širina kabelskega jarka enosistemskega 110 kV kablovoda pri formaciji polaganja v trikot se giblje okrog 1,2 m, v primeru dvosistemskega kablovoda pa okrog 2,5 m. V primeru polaganja v ravninski formaciji so širine jarka nekoliko večje in sicer pri enosistemskem kablovodu približno 3,2 m in dvosistemskem kablovodu približno 5 m.



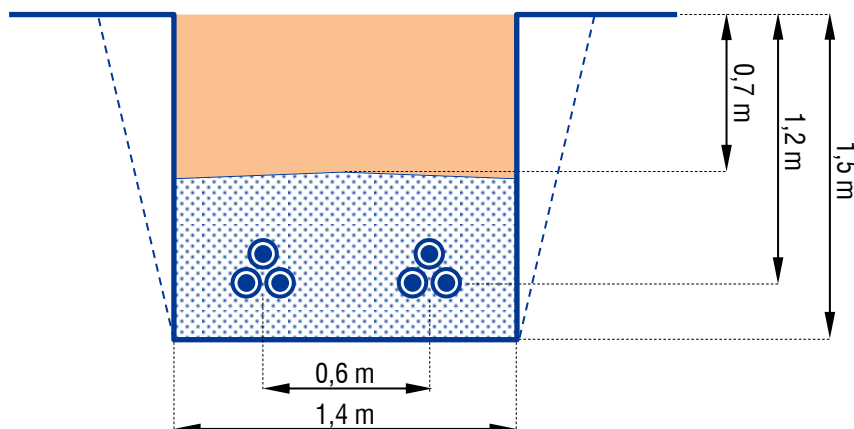
Slika 3: Profil enosistemskega 110 kV kablovoda pri polaganju paralelno neposredno v kabelski jarek



Slika 4: Profil dvosistemskega 110 kV kablovoda pri polaganju paralelno neposredno v kabelski jarek



Slika 5: Profil enosistemskega 110 kV kablovoda pri polaganju v trikot neposredno v kabelski jarek



Slika 6: Profil dvosistemskega 110 kV kablovoda pri polaganju v trikot neposredno v kabelski jarek

Tabela 8 prikazuje dimenzije kabelskega jarka pri polaganju kablovoda v trikotu in ravnini za:

- širino prizadetega območja v času izgradnje,
- količino izkopanega materiala,
- širino kabelskega jarka za predviden kabelski sistem in
- materiala za izdelavo kabelske posteljice.

Za izvedbo enosistemskega 110 kV kablovoda je npr. potrebno izkopati kabelski jarek širine 1,6 m (dno jarka), kar ocenjeno znesi 3,5 m³ izkopa na meter dolžine kablovoda. Pri tem je poraba zasipnega materiala za izdelavo kabelske posteljice ocenjena na 0,75 m³ na meter dolžine kablovoda. Oddaljenost izkopanega materiala od robu kabelskega jarka mora biti najmanj 60 cm, ki se ga kasneje uporabi za zasip. Odvečni material se odpelje na deponijo. Ob strani kabelske trase se v času izgradnje kablovoda zagotovi transportno pot za težko mehanizacijo, zato je ob izgradnji širina prizadetega območja vzdolž trase bistveno večja od same trase kablovoda. Pri dvosistemskem 110 kV kablovodu, se tako širina jarka poveča že na 3,6 m, širina prizadetega območja vzdolž trase ob izgradnji pa doseže že 12 m.

Tipične primere izvedbe enosistemskega in dvosistemskega 110 kV kablovoda prikazuje Dodatek G:.

4.6.5 KABELSKA POSTELJICA

Za izdelavo kabelske posteljice se dno izkopanega jarka očisti kamnov in predmetov, ki bi lahko poškodovali kable ter dno izravna na $\pm 1,0$ cm na dolžini 4 m. 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. Posteljica, ki je iz kremenčevega peska oziroma drugega enakovrednega materiala, bo zagotavljala enako ali boljšo toplotno prevodnost v granulaciji 0 – 4 mm in debelini minimalno 0,1 m oblike ovalne frakcije. Receptura materiala posteljice z oceno toplotne prevodnosti se predloži naročniku pred vgradnjo, to naročnik lahko potrdi ali zavrne kot neustrezno. Izvede se zbijanje z vibro ploščo. Kable položene v tako peščeno posteljico se zasuje z enakim materialom kot je izdelana posteljica in sicer do 0,3 m nad zgornjim kablom po celi širini jarka. Celoten zasip se zaščiti z geotekstilno folijo, ki preprečuje izpiranje tega sloja v okoliški teren. Zaradi mehanske zaščite kablov (AB zaščitne plošče), ob izvajanju preostalega zasipa jarka (do vrha), ni dovoljeno izvajati strojnega utrjevanja tega zasipa.

Tabela 8: Širine kabelskega jarka in prizadetega območja pri izgradnji 110 kV kablovoda pri polaganju v ravnini in trikot ter količine izkopanega in zasipnega materiala za izvedbo kabelske posteljice.

Število sistemov	Okvirni izkop [m ³ /m]	Dno kabelskega jarka [m]	Posteljica [m ³ /m]	Prizadeto območje [m]
1×110 kV	3,5	1,6	0,75	10
2×110 kV	5	3,6	1,7	12
1×110 kV TRIKOT	1,5	0,7	0,5	8
2×110 kV TRIKOT	3	1,4	1,25	10

4.6.6 RAZVLAČENJE VN KABLA

Traso, na kateri se bodo razvlačili kablji, je potrebno opremiti z montažnimi koluti, valji z motornimi pogoni itd. Koluti morajo biti zaščiteni z neoprenskimi ali gumijastimi vložki.

Na trasi, kjer se bo polagal kabel, mora biti pri vsakem prehodu (kabelski jaški, podboji, ostri koti trase) opazovalec, tako da je celotna dolžina polaganja kabla pod nadzorom. Potrebno je poskrbeti, da deluje med opazovalci, osebjem pri zadnji zavori in vitlom, stalno delujoča radijska zveza. V začetni fazi je potrebno kabel najprej vleči počasi, kasneje pa lahko tudi z večjo hitrostjo. Ocenjena maksimalna dovoljena vlečna sila znaša ca 32 kN, oziroma je podana glede na izbrani kabel s strani proizvajalca.

4.6.7 IZDELAVA KABELSKIH SPOJK IN PREPLETANJE KABELSKIH ZASLONOV

Prepletanje kabelskih zaslonov (cross bonding) se izvaja zaradi zmanjševanja tokovnih izgub, ki pomembno vplivajo na obratovalno temperaturo in s tem obremenljivost kabelskega sistema. Prekinitev in prepletanje kabelskih zaslonov omogoča tudi vgradnjo prenapetostne zaščite zaslona z odvodniki. Izdelava kabelskih spojk in prepletanje zaslonov je ena najbolj kritičnih tehničnih faz projekta. Zahteva večji izkop, zaščito pred vremenskimi vplivi (šotor) in natančno izvedbo vseh faz z izkušenim osebjem in nadzornikom proizvajalca.

4.6.8 ZASIP GRADBENE JAME IN IZDELAVA GRAMOZNEGA TAMPONA

Na peščeni zasip se položi AB zaščitne plošče, ki se jih nato zasipa v plasti debeline po 30 cm z izbranim obstoječim izkopnim materialom granulacije 0 – 30 mm. Utrjuje se lahko le z lahкими nabijalnimi sredstvi (vibracijske plošče, žabe ali lahki valjarji brez vibriranja). Zasip nad tem slojem se izvede s predhodno deponiranim humusom. Zasipni material v jarku je potrebno utrditi do naravne zbitosti, tako da kasneje ne prihaja do posebkov površine nad jarkom.

Višina zasipanja do zgornjega roba jarka je:

- peščeno – gramozni material je 30 cm,
- koherentne zemljine je 20 – 30 cm.

Navedene višine nasipavanja je potrebno pri sami gradnji preveriti z ustrezno komprimacijsko kontrolo. Na globini 0,35 m pod koto terena je potrebno položiti opozorilne trakove enega ali dva z napisom »POZOR ENERGETSKI KABEL«. Vgradi se tudi lokacijske smernike in identifikacijske količke za VN kabel.

4.6.9 KOMPRIMIRANJE

Komprimirati je potrebno vsak sloj posebej. Za odvodnjavanje površinske vode, s čimer se prepreči namakanje nasipa, je potrebno vse vmesne sloje komprimirati tako, da ima vsakokratni sloj strešni ali enostranski naklon 2% navzven posebno pri zasipnih slojih iz koherentnega materiala.

4.6.10 PODVRTAVANJE CEST

Za 110 kV kablovod se izvede podvrtavanje ceste z vrtino premera 580 mm, v izvrtino se uvlečejo tri alkatni cevi premera 200 mm in dve alkatni cevi premera 50 mm (za optični kabel), nato se celoten preostali zunanji prostor izvrtine zapolni z bentonitom.

Vrtina pod cesto poteka v vertikalni konkavni krivini ca. $R = 40$ m, tako da je pod cesto teme kabelske kanalizacije minimalno 150 cm pod niveleto. Na obeh straneh ceste je potrebno pred podvrtavanjem predhodno pripraviti gradbeni jami.

4.6.11 POLAGANJE KABLOV V CEVNO KANALIZACIJO

Cevna kabelska kanalizacija se večinoma izdeluje iz PE cevi. Te morajo biti nekoliko večje od zunanjega premera kabla, da se pri uvleku 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 (ca. 4 Km/W). Pred polaganjem cevi je potrebno dno kabelskega jarka prekriti s posebnim zasipnim materialom z majhno toplotno upornostjo. Pri polaganju tankih cevi se te lahko obda z betonom, 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 kabljih, ki so položeni v PE cevi se obremenljivost zmanjša zaradi upornosti zraka med kablom in

notranjo steno cevi ter upornostjo same PE cevi. Zmanjšanje obremenljivost zaradi polaganja kablov v PE cevi se zajame z korekcijskim faktorjem za polaganje v cevi, ki znaša 0.9.

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 vzeti 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.

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 čimer 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 tovrstnih zapolnjevanj cevi je v tem, da po polaganju kabla ni mogoče več izvleči iz cevi, zato je njegova zamenjava ali sanacija precej zapletena. V kolikor gre za daljše odseke kabelske kanalizacije, ki je izdelana s horizontalnim podvrtavanjem pod drugimi vodi in infrastrukturnimi objekti, kabla ni mogoče izvleči niti odkopati, zato je njegova zamenjava onemogočena.

4.6.12 STROJNO POLAGANJE

Strojno polaganje kabla se izvaja z vitlom in je dovoljeno na trasi, kjer ni ovir in krivin. Kabel se vleče preko vrtljivih valjev, ki so nameščeni na dnu rova 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. Če se takoj po vleki kabla ne izdelata kabelski končnik, je potrebno konec kabla ponovno zatesniti. 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. Na delih, kjer se trasa lomi, je potrebno uporabiti kotne valje. Na mestih, kjer to ni mogoče, nosijo kabel delavci na način, ki je opisan v predhodnih točkah. Pred strojnim polaganjem kablov je potrebno določiti silo vlečenja kabla glede na dolžino kabla, koeficient trenja, lomljenja in nagib trase. Pri strojnem načinu polaganja kabla je potrebno kontrolirati vlečno silo z dinamometrom in jo spreminjati med polaganjem. Za preprečevanje torzijske obremenitve kabla, se med vlečno vrvjo in nogavico namesti antitorzijsko sponko. Pri uporabi vitla mora biti vgrajena varovalka, ki bo popustila pri prekoračitvi dopustne vlečne sile.

Za zmanjšanje vlečnih sil je dopustna uporaba valjev z motornim pogonom, ki potiskajo kabel v smeri vlečenja. Te se namesti vzdolž trase na razmiku od 20 do 30 m, kar je odvisno od teže kabla ter na vhodu in izhodu loma trase. Motorni valji so medsebojno povezani za sinhrono delo in se jih upravlja iz enega mesta.

Snemanje kabla z valjev po polaganju je treba pričeti od bobna v smeri konca kabla, kjer je potrebno zagotoviti, da se lahko boben zaustavi vsak trenutek. Pri odvijanju in transportu kabla je treba upoštevati minimalni dopustni polmer krivljenja kablov, ki je za enožilne kable iz umetnih mas enaka $15 - \text{kratnemu zunanemu premeru kabla}$. Polmeri krivljenja prikazani v predmetni tabeli so lahko manjši za 50%, če se krivljenje izvaja preko šablon, ali če se krivi kabel pred kabelskimi končniki. Kabel se polaga v jarek horizontalno valovito, še posebno v razgibanem terenu. Tako je dolžina položenega kabla za približno 2% daljša od dolžine trase. Pri paralelnem polaganju več kablov je potrebno zadržati paralelnost poteka z določenim razmikom vzdolž skupne trase brez medsebojnega križanja. Namestitev spojk vzdolž trase se izvaja izven smeri trase. Minimalne dimenzije razširitve jarka za namestitev spojk morajo ustrezati minimalnim polmerom krivljenja kablov. Vsi položeni kabli morajo biti na obeh straneh daljši za 1 do 1,5 m, v odvisnosti od vrste in preseka kabla, da se omogoči izdelava spojke. Paralelno polaganje spojk ni dopustno. Razmik spojk pri paralelno položenih kablilih mora biti tak, da omogoča montažo in popravilo spojk brez večjih težav. Med spojkami in kabli veljajo enaki minimalni razmiki kakor pri kablilih.

Pri delnem in pred popolnim zasutjem kablov je potrebno izvesti:

- napetostni preizkus plašča,
- napetostni preizkus glavne izolacije kabla po montaži spojk,
- ponoven napetostni preizkus plašča,
- posneti točno traso kabla, označiti križanja z ostalimi objekti, mesta spojk in točno dolžino kabla.

4.6.13 POLAGANJE KABLOV V PROSTORE

Kabli se z objemkami pritrdijo na stene ali strope ali pa polagajo na police, podeste ali na tla, kjer jih je potrebno ustrezno zaščititi. Razdalja med objemkami ali podporami pri polaganju na police v horizontalnem poteku kabelske trase so odvisne od tega ali ima kabel armaturo ali ne. Pri kablilih brez armature razdalja med objemkami ne sme biti večja od 20 – kratnega premera kabla, pri kablilih z armaturo pa ne večja od 30 do 35 – kratnega premera kabla. Pri vertikalnem poteku kabelskih tras je dovoljeno povečati razdaljo med objemkami v kolikor to dopušča vrsta kabla in objemke, vendar razdalja ne sme biti večja od 1,5 m.

4.6.14 POLAGANJE KABLOV OB STENE, POD STROPE IN NA POLICE

V prostorih se lahko kable z objemkami pritrdi na stene in pod strope ali pa se jih položi na police. Police so lahko pritrjene na steno ali prostostoječe tako, da je mogoče kabel vsak trenutek sneti in ga zamenjati. Pri dimenzioniranju prostora, v primeru večjega števila paralelno potekajočih kablov, je potrebno upoštevati predvideno tokovno obremenitev, najmanjši dovoljeni radij krivljenja in nosilnost polic in ostalega pribora za pritrjevanje.

4.6.15 POLAGANJE KABLOV V KABELSKE KANALE - KINETE

Prednost pri polaganju kablov v kanale je predvsem možnost enostavne zamenjave in vgradnja dodatnih kablov z nižjimi stroški. Obremenljivost je večja kot pri kablilih, ki so položeni v zemljo, še zlasti v primeru, kjer je položeno večje število kablov. Zaradi večjih stroškov izgradnje kinete se le-ta uporablja v glavnem le v stikališčih in v zgradbah. V pohodnih kanalih se kabli polagajo na police in jih ni potrebno pritrditi. Razdalja med kabli v kabelskem kanalu je enaka premeru kabla. Ker je obremenljivost odvisna od temperature okolice, je potrebno zagotoviti primerno število odprtin za kvalitetno prezračevanje. Pri prehodu iz jarka v kanal se uporabljajo enake cevi kot pri prehodih preko zidov in pod cestami. Njihova svetla odprtina mora biti najmanj 1.5 – krat večja od premera kabla. Cevi morajo biti rahlo nagnjene v smeri proti jarku in zatesnjene, da se prepreči morebitni vdor vode v kabelski kanal. Uporabiti je dovoljeno razne zalivne mase, katerih zalivna temperatura ne sme preseči 100°C. Dovoljena je tudi uporaba silikonskih mas, medtem ko se bitumenske in cementne mase ne smejo uporabiti za tesnjenje.

4.6.16 POLAGANJE KABLOV Z VRTANJEM KABELSKEGA ROVA PO PRINCIPU PREDORSKE CEVI

V primerih, ko ni možnosti prekinitve posameznih komunikacijskih poti ali v primeru strogih okoljevarstvenih pogojev, pa tudi ob prečkanju vodotokov ali vodnih zajetij, se lahko za krajše razdalje uporabi sistem polaganja kabla brez kopanja kabelskega jarka z uporabo tehnologije vodenega podbijanja. S stroji povprečne velikosti, ki omogočajo sprotno krmiljenje smeri izkopa, je možno izkopati rov dolžine 250 m, globine 10 m in premera do 300 mm. Z večjimi stroji je možno izkopati rov dolžine do 800 m, globine 70 m in premera do 800 mm. Hitrost kopanja v idealnih pogojih znaša 100 m dnevno. Pomanjkljivost te metode je ta, da ni uporabna za terene z neugodno geološko sestavo tal in visoka cena izvedbe.

4.6.17 KABELSKE OBJEMKE

Pri pritrjevanju kablov s plaščem iz umetnih mas je potrebno uporabljati objemke z zaščitnim vložkom, ki preprečuje poškodbe kabla zaradi pritiska objemk.

4.6.18 VARNOSTNE ODDALJENOSTI DO OSTALIH KOMUNALNIH VODOV

Za elektroenergetske kable napetosti 110 kV ne obstajajo posebni predpisi in standardi o varnostnih oddaljenostih oziroma dodatnih zaščitnih križanjih objektov, obstajajo pa posamezna področja in zahteve, katere predpisujejo navodila in predpisi posameznih organizacij in ustanov, oziroma v skladu z zahtevanimi pogoji soglasodajalcev.

V fazi priprave prostorskih načrtov umeščanja 110 kV kablovoda v prostor je potrebno obvezno izdelati študijo vpliva kabelskih sistemov na ostale porabnike prostora (elektromagnetno sevanje, ...). Pred pričetkom je potrebno izdelati tudi študijo enosmernih blodečih tokov na predvidene 110 kV sisteme, s posebnim poudarkom na izvedbo električne in mehanske zaščite.

4.6.18.1 TK KABLI

Paralelno vodenje 110 kV kablov ob trasi telekomunikacijskih kablov je dopustno, če medsebojna oddaljenost ni manjša od 2 m oz. 0,5 m pri križanju. Ob manjših oddaljenostih je potrebno TK kabel mehansko in termično zaščititi z uvlečenjem v termoodporno betonsko cev, ki mora segati vsaj 0,5 m izven območja križanja (PTT Vestnik, št 5/73), energetski kabel pa uvleči v jekleno cev. Zaščita mora segati vsaj 3 m od roba objekta. Kabelske spojke na mestu približevanja morajo biti ozemljene, ozemljilo pa mora biti oddaljeno od TK inštalacije najmanj 2 m.

4.6.18.2 TOPLOVOD

Pri vzporednem poteku s toplovodno kineto je potrebno zagotoviti minimalni odmik 1 m, kar velja tudi za križanje. V primeru, ko ni mogoče doseči predvidene oddaljenosti ali pa, ko prihaja do dodatnega segrevanja tal v okolici kabla za več kot 10°C, je potrebno izdelati dodatno termično zaščito (npr. polibeton) debeline najmanj 0,2 m in v širini, ki mora segati vsaj 2 m preko roba zaščitne cevi kablovoda. Kabli se pri tem uvlečejo v betonske cevi, katerih dolžina sega 1,5 m čez zunanji rob toplovoda. V tem primeru je obvezna kontrola obremenitve kabla zaradi povišanja temperature, kar lahko pomeni uporabo večjega preseka kabla (na celotni trasi). Elementi naprav, ki se pri toplovodu ali kablovodu vzdržujejo, morajo biti oddaljeni najmanj 2 m od mesta križanja.

4.6.18.3 PLINOVOD

Pri vzporednem poteku kablov in plinovoda s tlakom enakim ali manjšim od 4 bar-ov je potrebno zagotoviti odmik 0,5 m oz. 1,5 m pri plinovodih s tlakom večjim od 4 bar-ov. Pri križanju je vertikalni odmik najmanj 0,3 oz. 0,5 m. Kabel mora biti na mestu križanja zaščiten s PE cevjo, ki mora segati 3 m na vsako stran križanja.

4.6.18.4 VODOVOD

Za vodovod se zahteva minimalni odmik kablov 1 m za obstoječi vodovod z nižjim tlakom (hišni priključki) oz. 1,5 m za magistralni vodovod oz. 1,5 m za predviden vodovod. Približevanje in križanje vodovodnih naprav je dopustno, če razdalje niso manjše od 0,5 m, pri križanjih pa je potrebno izvesti enako zaščito kot pri plinovodnih napravah.

4.6.18.5 KANALIZACIJA

Pri približevanju kanalizacijskim kolektorjem dimenzij, premer $\Phi 60/90$ in več, znaša minimalna oddaljenost 1,5 m, za manjše kanalizacijske priključke pa 0,5 m. V primeru križanja medsebojne oddaljenosti ne smejo biti manjše od 0,3 m, pri tem pa se mora kabel zaščititi na dolžini 3,0 m z uvlečenjem v PE oz. jekleno cev.

4.6.18.6 CESTE

Pri prehodih cestnih tras se kabli uvlečejo v kabelsko kanalizacijo izdelano iz PE cevi, ki se obbetonirajo z betonom MB20. Kabelska kanalizacija naj sega vsaj 3,0 m izven utrjenega območja ceste oz. morebitnega odtočnega jarka. Kanalizacija mora potekati najmanj 1,5 m pod utrjenim delom cestišča, asfalt-beton, oziroma mora zgornji rob kanalizacijske cevi potekati najmanj 1,2 m pod koto terena.

4.6.18.7 ŽELEZNICA

Elektrificirane železniške proge predstavljajo zaradi t.i. blodečih tokov problem za vse jeklene kovinske dele v zemlji, ker povzročajo »odnašanje« materiala, s tem pa predvsem nevarne mehanske slabitve vgrajenih elementov. V ta namen je potrebno izdelati študijo vplivov blodečih tokov na predvidene 110 kV kablovode. Prehod pod železniškimi tiri se izvede s podbijanjem. V tem primeru se glede na podane zahteve in tehnologijo dela kabli lahko uvlečejo posamezno v PE cevi $\Phi 160$ oz. se v vrtno uvlečejo jeklene cevi premera $\Phi 300$ v katere se nato uvleče en sistem kablov (3 kabli v trikotu). Na mestih, kjer je predviden podboj železniških tirov, se po potrebi predvidi izgradnja kabelskih jaškov svetle mere najmanj $2,0 \times 4,0 \times 1,8$. Izgradnjo kabelskih jaškov zahteva tehnologija križanja železniških tirov oz. jeklenih cevi (prehod kablov iz PE cevi v jeklene cevi) in višinske menjave poteka kabelske trase. Zaradi podbijanja je potrebno predvideti na vstopnem in izstopnem mestu izdelavo odprte gradbene jame dimenzije ca. 5×10 m, ki se po končanju elektromontažnih del zasuje, teren pa utrdi. Medsebojni odmik med kabelskimi jaški naj ne bi presegal dolžine 60 m.

4.6.18.8 *DRUGI ELEKTRIČNI VODI*

Najmanjša dopustna oddaljenost med visokonapetostnimi vodi znaša pri paralelnem polaganju ali križanju 0,3 m (priporočljivo 0,5 m), pri paralelnem poteku s kabli Javne razsvetljave pa je potrebno zagotoviti razdaljo med kabli 0,5 m (priporočljivo 1,0 m). Oddaljenost od ozemljitev stebrov 20 kV naj ne bi bile manjše od 2,0 m, priporočljivo 3,0 m. Enako velja za žične ograje.

V območju, kjer je zasajeno drevje morajo biti kabli zaščiteni z uvlečenjem v zaščitne cevi, ki se obbetonirajo.

4.6.18.9 *KRIŽANJE ENERGETSKIH KABLOV Z DRUGIMI KOMUNALNIMI VODI*

Pri približevanju ali križanju toplovoda z energetskega kablom je treba zagotoviti take razmike, da ne more priti do nedopustnih toplotnih vplivov. V kolikor takšnega razmika ne moremo doseči, je treba uporabiti dodatne izolacijske ukrepe. Poskrbeti je potrebno za zaščito pred blodečimi toki in korozijo, mehanskimi poškodbami kabla in kemijskimi vplivi.

4.6.18.10 *KRIŽANJE ENERGETSKIH KABLOV S PROMETNIMI POTMI*

Kot križanja cest, železnic in drugih komunikacij ne sme biti manjši od 30°. Na prehodih preko prometnic, kakor tudi na vseh mestih, kjer se pričakuje večja mehanska obremenitev tal oziroma možnost mehanske okvare, se kabli polagajo v kabelsko kanalizacijo. Kabelska kanalizacija se izdeluje iz betonskih ali plastičnih cevi ali se sestavlja iz predfabriciranih betonskih elementov. Jeklene cevi se uporabljajo le za zaščito kablov pri križanju z visokotlačnimi cevovodi, 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.

☐ **Kabel zaščitimo z uvleko v cev v naslednjih primerih:**

- pri križanju trasa kabla s potmi, tramvajskimi in železniškimi progami,
- pri prekoračitvi dopustne minimalne oddaljenosti kabla od določenih tujih objektov,
- pri nevarnosti mehanske poškodbe kabla,
- pri približevanju elektroenergetskih vodov in postrojev,
- za zaščito kablov pred blodečimi toki.

Polaganje cevi pod prometnicami se izvaja z neposrednim izkopom jarka v prometnici, podvrtavanjem, podbijanjem ali z izdelavo rova pod prometnico.

Kabelsko kanalizacijo je treba praviloma postaviti pravokotno na os prometnice v smeri podaljška trase kabla in samo izjemoma je dovoljeno odstopanje do 30°.

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

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

☐ **Pri uvleki kabla v cevi oziroma v kabelsko kanalizacijo morajo biti izpolnjeni naslednji pogoji:**

- na krivinah tras se mora spoštovati določeni minimalni polmer krivljenja kablov,
- odvisno od konstrukcije kablov ne smemo prekoračiti maksimalne dopustne vlečne sile.

4.6.18.11 *PREIZKUŠANJE KABLA PO POLAGANJU*

Za preskušanje VN kablov se je kot najprimernejša uveljavila metoda z napetostjo zelo nizke frekvence VLF (0.01 – 0.1 Hz), za preskušanje visokonapetostnih kablov pa metoda z izmenično napetostjo na osnovi resonance, pri kateri se kompenzira reaktivna komponenta moči s spreminjanjem frekvence. Preskusna oprema, ki deluje na resonančnem principu omogoča preskušanje visokonapetostnih kablov nazivne napetosti 110 kV dolžin do 5 km oziroma kapacitivnosti do 1 μ F.

4.7 OSTALA OPREMA VN 110 KV KABLA

V obseg ostale opreme VN 110 kV kabla spadajo:

- prostozračni kabelski končniki,
- kabelske spojke,
- odvodniki prenapetosti,
- omarica za ozemljitev zaslonov v kabelskem prostoru,

- enožilne objemke za pritrdjevanje kablov na jeklene podstavke, nosilne konstrukcije v kleti GIS postroja in na DV stebri,
- trižilne objemke za pritrdjevanje kablov na nosilne konstrukcije in na tla v kabelskem postroju GIS stikališča in
- ostali spojni in vezni ter pritrdilni drobni material.

Zasloni kablov so ozemljeni enostransko (na zunanem delu so zasloni ozemljeni neposredno, v kabelskem prostoru 110 kV GIS stikališča, pa so ozemljeni preko prenapetostnih odvodnikov).

4.7.1 PROSTOZRAČNI KABELSKI KONČNIKI

Kabelski končniki morajo biti primerni za enožilne XLPE kable in ustrezati preseku dobavljenih kablov. Zdržati morajo vse predvidene mehanske in električne obremenitve do katerih lahko pride na mestu vgradnje. Plazilna razdalja mora biti v skladu z pripadajočimi standardi IEC ter zahtevami naročnika podane v tabelah tehničnih podatkov. Končniki morajo biti zunanje izvedbe, samostojno stoječi, z zunanjimi izolatorjem iz silikonske gume (kompozitni material), kjer mora izvajalec dobaviti tudi ves potreben material za pravilno montažo kabelskih končnikov na kable. Komplet mora vsebovati natančen spisek vseh potrebnih orodij in materialov ter vsebovati tudi detaljne risbe in navodila za ustrezno montažo.

Kabelski končniki za zunanjo montažo morajo biti odporni na vse pogoje v katerih bodo vgrajeni, zato morajo biti izdelani iz mehansko in kemijsko odpornih materialov ter imeti ustrezno plazilno razdaljo. Električni priključki morajo biti sorniške oblike, $\Phi 30 \times 125$ mm in ustrezati za priključitev aluminijastih sponk. Priključne sponke morajo biti dobavljene skupaj s kabelskimi končniki (vpetje ACSR 240/40). Prostožračni kabelski končniki se preizkušajo skladno s standardom IEC 60840:2011 (točka 11).

4.7.2 KABELSKE SPOJKE

4.7.2.1 ŠTEVILO SPOJK

Dolžina posameznega kabla je omejena z velikostjo kabelskega bobna oziroma s transportnimi omejitvami. Velikost kabelskega bobna je običajno do 3 m, kar omogoča kabelske dolžine nekje do 1000 m – odvisno od preseka vodnika. Temu ustrezno je tudi število kabelskih spojk.

4.7.2.2 VRSTE KABELSKIH SPOJK

Trenutno stanje tehnike kabelskih spojk za 110 kV kabl:

- **Klasične (večdelne) spojke**, pri katerih se izolacija izvede s samovulkanizirajočim plastičnim trakom. Nameščanje spojk zahteva veliko higieno in izkušnost, zato vsi proizvajalci zahtevajo montažo z lastnim osebjem.
- **Predfabricirane (enodelne) spojke**. Za te spojke se vsi bistveni elementi izdelajo v tovarni in se tudi preizkusijo. Izolacija je v tem primeru izdelana v obliki tulca iz silikonske gume, v njem pa so tudi polprevodni elementi za oblikovanje potenciala. Te spojke so enostavnejše za montažo, zahtevajo pa specialna orodja in ustrezno usposobljen kader s strani dobavitelja.
- **Kabelske spojke za preplet zaslonov**. Za spojitev se uporablja namenske spojke, ki imajo možnost prepleta električnega zaslona kabla.

Vsi tipi spojk so v končni fazi zalite v dvokomponentno tesnilno smolo in se lahko nameščata neposredno v zemljo.

Za napetost 110 kV ustrezajo vsi navedeni tipi spojk, pri čemer je predfabricirana spojka zanesljivejša, ker zmanjšuje tveganje napake pri montaži.

4.7.3 ODVODNIKI PRENAPETOSTI

Za zaščito 110 kV kablov kablovoda se na DV stebrih namesti odvodnike prenapetosti. Odvodniki so običajno predvideni za viseče obešanje na vodnik. Odvodniki prenapetosti morajo biti opremljeni z ustreznim števcem delovanja z daljinskim odčitavanjem. Parametri odčitavanja morajo biti ($X, I_k, I_{\text{odvodni}} \dots$).

Ohišje odvodnikov mora biti iz kompozitnega materiala (silikonske gume ali podobno). Samostojni odvodnik prenapetosti mora biti dobavljen skupaj s števcem praznjenja z izolacijskimi podnožjem in linijskim priključkom. V kolikor so tovarniško predvideni za izbrani tip odvodnika izenačevalni obroči, morajo biti dobavljeni tudi ti.

Aktivni del odvodnikov prenapetosti mora biti izdelan iz kompozitnega oksida z močno nelinearno karakteristiko. Bloki iz kovinskega oksida morajo biti obdelani tako, da so lahko direktno v stiku z izolacijskim materialom. Vsak blok uporabljen v modulu odvodnikov prenapetosti mora biti individualno preizkušen glede na energetske sposobnosti in prestalo napetost.

Prenapetostni odvodniki morajo imeti tipski preizkus po IEC 60099-4. Prenapetostni odvodniki se določijo oziroma izberejo glede na omrežje. Izračun in izbira prenapetostnega odvodnika morata biti predložena ponudbi, skupaj z vsemi tabelami, ki so relevantne za izbiro prenapetostnega odvodnika.

Dokumentacija odvodnikov mora vsebovati tudi obratovalna in vzdrževalna navodila. Kosovni preizkus odvodnikov prenapetosti s polimerno izolacijo se izvedejo skladno z IEC 60099 – 4 (točka 9), kjer obsegajo naslednje:

- VN vzdržnostni preizkus z napetostjo omrežne frekvence,
- Preostala napetost pri 10 kA ($8/20 \mu s$),
- Meritev parcialnega praznjenja,
- Meritev izgub in ubežnega toka (leakage current),
- Preizkus števca praznjenja s tokovnim impulzom (razred 5 kA/ μs).

Npr.: 10 kA, class 3, 7,8 kJ/kV(U_r), $U_m = 123$ kV, $U_r = 0,72 \times U_m$, U_p/U_r pri 10 kA je 2,33, mehanična trdnost 4 000 Nm, U_c –določi dobavitelj, silikonsko ohišje, plazilna razdalja 3625 mm, prebojna trdnost v suhem 1,2/50 -578, dolžina cca 1400 mm.

4.7.4 OMARICA ZA OZEMLJITEV ZASLONOV PREKO PRENAPETOSTNIH ODVODNIKOV V KABELSKEM PROSTORU 110 kV GIS STIKALIŠČA

Omarica za ozemljitev zaslonov preko prenapetostnih odvodnikov se uporablja za zaščito plaščev kablov. V omarici so nameščeni prenapetostni odvodniki z ločilnim mestom, zbiralkami, podpornimi izolatorji in pomožno opremo kot so uvodnice za vodnike (morajo biti trifazne).

Omarica mora biti iz nerjavnega kovinskega materiala s kovinsko ploščo za montažo opreme. Stopnja mehanske zaščite omarice naj bo minimalno IP55. Potrebno je glede na dejansko nudeni kabel kontrolirati in določiti ustrezne prenapetostne odvodnike za zaščito plašča kabla glede na dane podatke kratkostičnih razmer v tem delu 110 kV omrežja ter na lastnosti 110 kV kabla. Kabel od kablanskega končnika do omarice za ozemljitev zaslonov mora imeti izolacijo, ki ustreza napetostnemu nivoju prenapetostnih odvodnikov.

4.7.5 OMARICA ZA NEPOSREDNO OZEMLJITEV EKRANOV NA PODSTAVKIH KABELSKIH KONČNIKOV

Omarice so namenjene za izvedbo neposrednih ozemljitev kablaskih ekranov preko tokovnega mosta oziroma ločilke, morajo biti nameščeni ločilno mesto, zbiralka, podpornimi izolatorji in pomožna oprema kot so uvodnice za vodnike ipd. Omarice so enofazne izvedbe, kjer mora komplet vsebovati tri omarice za posamezen kablovod.

Omarice, ki so nameščene na jeklenih konstrukcijah kablaskih končnikov na prostem naj bodo iz nerjavnega materiala ali iz primerne kompozitnega materiala s kovinsko ploščo za montažo opreme. Stopnja mehanske zaščite omarice naj bo minimalno IP55. Kabel od kablanskega končnika do omarice za ozemljitev ekranov mora imeti izolacijo, ki ustreza namestitvi na prostem.

4.7.6 SISTEM MONITORINGA TEMPERATURE (DTS)

Na zahtevo investitorja se za stalno spremljanje temperaturnih razmer kabla v zemlji lahko vgradi sistem DTS (Distributed Temperature sensor System), ki po optičnem vodniku na podlagi Raman back-scatter efekta zvezno merijo temperaturo okoli optičnega vodnika. Takšen optični vodnik je lahko nameščen v ali ob VN kablu in posreduje informacije o temperaturi na trasi dolžine do 12 km (večrodna vlakna, $\Delta 1^\circ K$ na 1 m) ali celo 30 km (enorodna vlakna, $\Delta 2^\circ K$ na 2 m). Ob 110 kV kabliah se položi cev PE 40, v katero je možno upihniti optični vodnik, s katerim bi se lahko izvajal on-line temperaturni monitoring kablanskega sistema z možno integracijo v sistem vodenja – SCADA.

V primeru uporabe kabla s prerezom Cu 1200 mm² tega sistema ni potrebno vgrajevati.

4.7.7 OZEMLJILNI KABEL

V primeru potreb se predvidi ozemljilni kabel za katerega je potreben izračun (npr. 10 kV kabel N2X(F)2Y 1x120 mm² Cu), ki naj bo nameščen v zemljo med oba VN kablaskima sistemoma tam, kjer bodo VN kabli nameščeni v PHD cevi pa se ozemljilni kabel namesti v cevi skupaj z VN kabli.

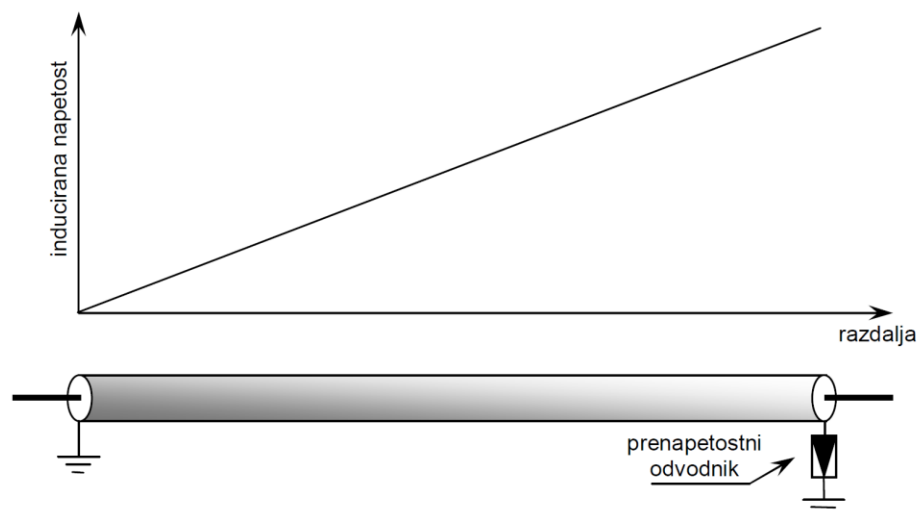
4.7.8 NAČINI OZEMLJEVANJA KABELSKIH ZASLONOV

Načini ozemljevanja kabelskih zaslonov so povzeti po [2.3.1] in podani v spodnjih poglavjih.

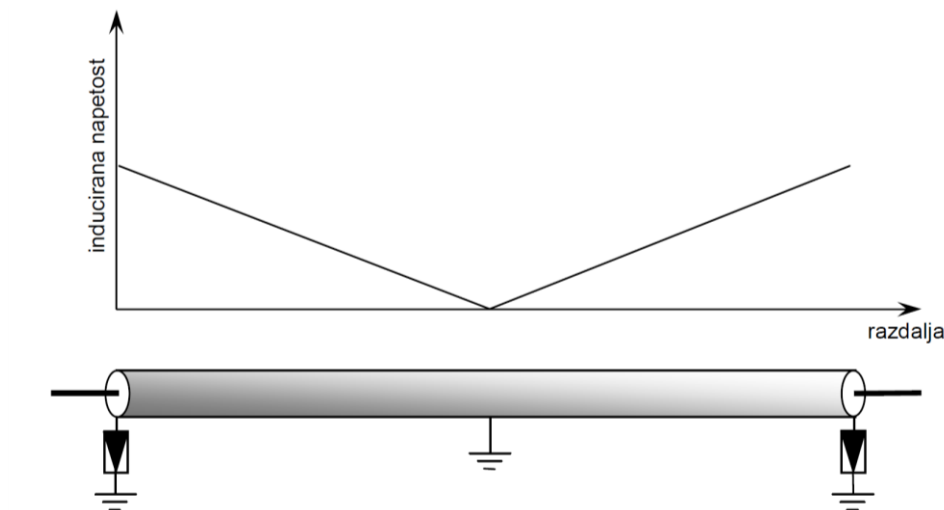
Pri načinih ozemljevanja kabelskih zaslonov se pojavi vpliv tako na obratovalno kot na defektno stanja kablovoda. V normalnih obratovalnih stanjih je način ozemljevanja kabelskih zaslonov odvisen od višine izgub (v zaslonu) in s tem povezana tokovna obremenljivost oziroma prenosno zmogljivost kablovoda. V defektnih stanjih se pojavi problematika zaključevanja kratkostičnih tokov in povečanih induciranih napetosti. Za razumevanje nastanka dodatnih toplotnih izgub v kabelskem zaslonu si moramo kablovod predstavljati kot transformator. Pri prevajanju električnega toka se okoli kabelskega vodnika formira cirkularno magnetno polje, ki z oddaljenostjo padajoči magnetni fluks zajema bližnja telesa in v prevodnih strukturah (kabelski zaslon, paralelni vodnik) inducira napetost. Ta inducirana napetost v primeru sklenjene prevodne strukture (npr. obojestransko ozemljen kabelski zaslon) požene tok, ki je odvisen predvsem od višine (gonilne) inducirane napetosti in impedance nastalega tokokroga. Posledično ta tok v kabelskem zaslonu povzroča dodatne toplotne izgube in nam tako zmanjšuje prenosno kapaciteto kablovoda.

4.7.8.1 ENOSTRANSKA OZEMLJITEV KABELSKIH ZASLONOV

S stališča izvedbe in prenosnih zmogljivosti kablovoda je enostranska ozemljitev kablovodnih zaslonov najenostavnejša rešitev. Ker so kabelski zasloni ozemljeni le v eni točki, se s tem onemogoči sklenitev tokokroga. Inducirana napetost na kabelskem zaslonu tako ne more pognati inducirane toka, ki bi v kablovodu povzročal dodatne toplotne izgube. Velikost inducirane napetosti na zaslonu kablu je premo sorazmerna z dolžino kablovoda, tokom kabla vodnika 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. Pri dolgih in obremenjenih kablji se nivo inducirane napetosti lahko dvigne na visoke vrednosti, ki so lahko izolacijsko vprašljive, saj zunanji PE plašč kabla navadno ni konstruiran niti dimenzioniran za visoke zdržne napetosti. Zato je potrebno na neozemljenem koncu med kabelskim zaslonom in zemljo vgraditi ustrezen prenapetostni odvodnik, ki mora biti dimenzioniran tako, da je v normalnih obratovalnih razmerah neaktiven. Slika 7 prikazuje shematski prikaz profila inducirane napetosti na enostranskem ozemljenem kabelskem zaslonu.



Slika 7: Napetostni profil inducirane napetosti na zaslonu enostransko ozemljenega kablovoda



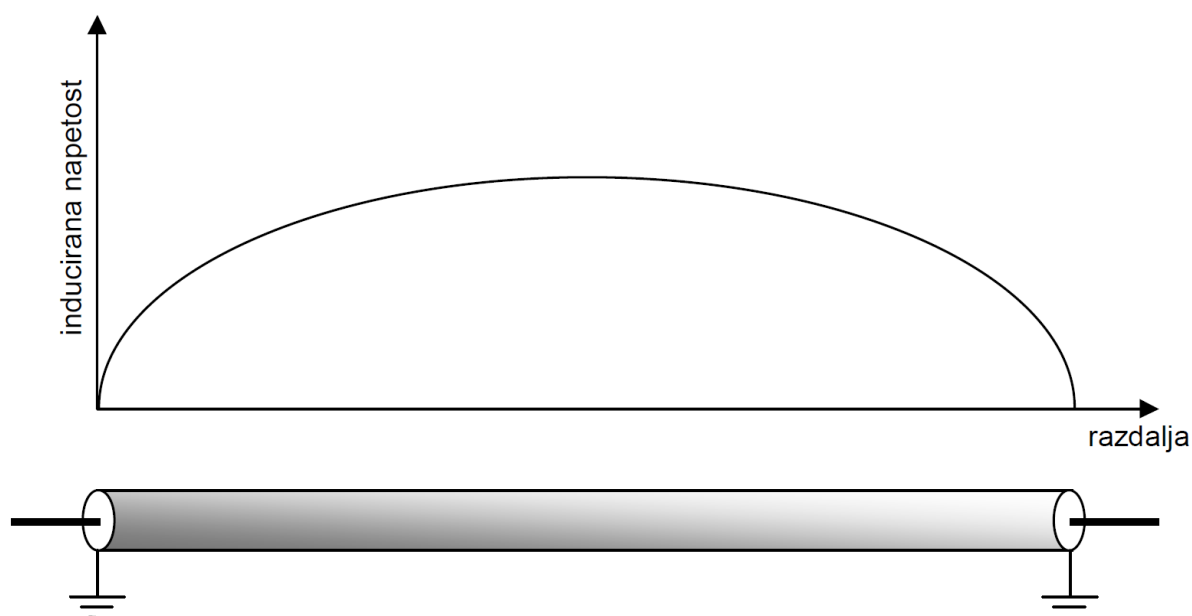
Slika 8: Napetostni profil inducirane napetosti na zaslonu sredinsko ozemljenega kablovoda

V primeru izvedbe s sredinsko ozemljilno točko, se na koncih kablovoda zmanjša nivo inducirane napetosti na polovico. Opisano situacijo prikazuje Slika 8.

Nivo inducirane napetosti pri dolгих kablovodih in visokih tokih (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. Na tem mestu je potrebno poudariti, da kablovod z enostransko ozemljenimi zasloni nima nikakršnega redukcijskega faktorja. To predstavlja problem predvsem v gosto zazankanih kablovodnih 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 galvanjsko povezuje ozemljitvena sistema obeh s kablovodnih povezanih RTP-jev. Enostransko ozemljevanje zaslonov je torej primerno pri razmeroma kratkih kablovodih ali kabelskih odsekih (ca. 500 m), katerih tokovna obremenjenost je razmeroma nizka. Dejansko maksimalno dolžino kablovoda z enostransko ozemljenimi kabelskimi zasloni natančneje določa sprejemljiv nivo potencialne razlike med kabelskimi zasloni in okolico, kar je odvisno od posameznega primera. Uporaba takega načina ozemljevanja kabelskih zaslonov zagotavlja nizke izgube v kabelskem zaslonu in zato možnost izkoriščanja polne prenosne kapacitete zadevnega kablovoda. Pri tem se je potrebno zavedati varnostnih ukrepov, ki jih zahteva (visoka) inducirana napetost na razemljenem koncu kabelskega zaslona. Posledično morajo biti vse kabelske spojke zadostno napetostno izolirane za primer nenamernega dotika, ki se lahko zgodi v vzdrževalnih okoliščinah.

4.7.8.2 OBOJESTRANSKA OZEMLJITEV KABELSKIH ZASLONOV

Pri obojestranski ozemljitvi kabelskih zaslonov so le-ti na začetku in koncu kablovoda sklenjeni in togo ozemljeni. Posledično se s tem kabelskemu zaslonu preko sosednjih kabelskih zaslonov in zemlje omogoči sklenjen tokokrog in s tem prosta pot induciranim tokom. Velikost induciranih tokov v kabelskih zaslonih je odvisna le od toka kabelskega vodnika, od katerega je neposredno odvisna velikost inducirane napetosti na zaslonu, od preseka kabelskega zaslona in od formacije polaganja. Nikakor pa ni velikost inducirane napetosti odvisna od dolžine kablovoda. Zaradi obojestransko ozemljenih kabelskih zaslonov je velikost inducirane napetosti na koncih kabla enaka nič. Z varnostnega stališča je to vsekakor boljše izvedbo v primerjavi z enostransko 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. Slika 9 shematično prikazuje napetostni profil inducirane napetosti na zaslonu obojestransko ozemljenega kabelskega zaslona.



Slika 9: Napetostni profil inducirane napetosti na zaslonu obojestransko ozemljenega zaslona kabla

Kablovod z obojestransko ozemljenimi kabelskimi zasloni ima zaradi dodatne toplotne obremenitve, ki jo producirajo inducirani toki v zaslonu, posledično manjšo prenosno kapaciteto. To zmanjšanje je odvisno predvsem od faktorjev, ki vplivajo na velikost induciranih tokov v kabelskem zaslonu. Zmanjšanje prenosne kapacitete 110 kV kablovodov z obojestransko ozemljenimi kabelskimi zasloni v primerjavi z enostransko ozemljenimi kabelskimi zasloni prikazuje Tabela 9.

Tabela 9: Primer zmanjšanja prenosne kapacitete obravnavanih kablovodov zaradi obojestransko ozemljenih kabelskih zaslonov (brez korekcijskih faktorjev polaganja)

kablovod 110 kV		način ozemljitve kabelskih zaslonov (95 mm ²)		zmanjšanje prenosne zmogljivosti
vodnik Cu	formacija	enostransko	obojestransko	
630 mm ²		925	700	24 %
		865	805	9 %

Iz podatkov v zgornji tabeli je razvidno, da je zmanjšanje prenosne zmogljivosti oz. tokovne obremenitve kablovoda v primeru obojestranskega ozemljevanja kabelskih zaslonov večje pri ravninski formaciji polaganja. Razlog za to je v dejstvu, da kablovod z enostransko ozemljenimi zasloni, položen v ravninski formaciji, zagotavlja boljše termično odvajanje. Zato je obremenljivost kablovoda z enostransko ozemljenimi zasloni, položenega v ravninski formaciji, 6,5 % višja v primerjavi s trikotno izvedbo. Situacija pa se spremeni pri obojestransko ozemljenih kabelskih zaslonih. Zaradi višjih medsebojnih reaktanc (X_m), ki so prisotne pri ravninsko položenih kablovodih, je tudi inducirani tok v kabelskih zaslonih višji kot v trikotni izvedbi. Višji inducirani toki v kabelskih zaslonih 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, za 15 % slabša v primerjavi s trikotno položeno izvedbo. Obojestransko ozemljevanje prevodnih kabelskih zaslonov je torej primerno pri razmeroma nizkih prenosnih močeh oz. nizkih tokovnih obremenitvah in majhnih presekih kabelskih zaslonov. Pri tem je primernejša trikotna formacija polaganja kablovoda. Poleg nižje prenosne kapacitete kablovoda in višjih termičnih izgub je potrebno omeniti tudi aspekt varnosti, ki je s tem načinom ozemljevanja na najvišjem nivoju.

4.7.8.3 OZEMLJITEV KABELSKIH ZASLONOV Z NAVZKRIŽNIM PREPLETANJEM

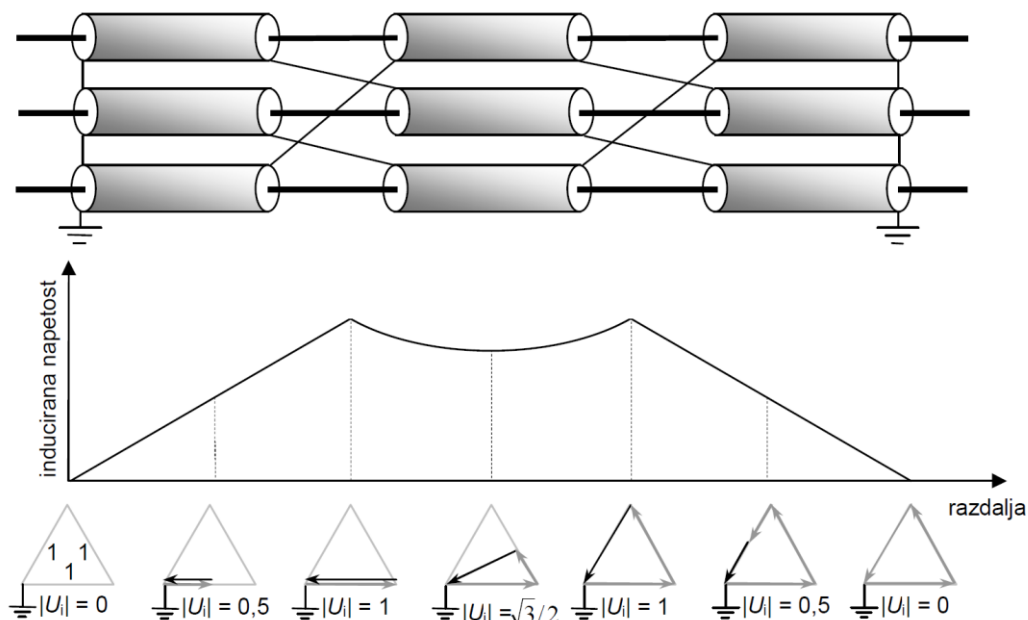
Z načinom navzkrižnega prepletanja kabelskih zaslonov dejansko ustvarimo hibrid obeh, od katerih povzema mešanico dobrih lastnosti; nizke izgube pri visoki stopnji prenosne kapacitete. Fizikalno se navzkrižno prepletanje kabelskih zaslonov izvede tako,

da se obravnavani kablovod razdeli na tri (ali večkratnik števila tri) enako dolge odseke, zasloni na koncih kablovoda se toga ozemljijo, pri prehodu posameznih odsekov pa se izvede navzkrižno prepletanje kabelskih zaslonov. Pri tem je potrebno paziti, da se posamezni kabelski zaslon skozi celotno dolžino kablovoda izmenjuje med tremi različnimi fazami. Le tako lahko dosežemo vektorsko seštevanje in s tem izničenje sumarne inducirane napetosti na kabelskem zaslonu. Izničenje inducirane napetosti onemogoči nastajanje induciranih tokov v kabelskem zaslonu, s čimer se prepreči tudi dodatne toplotne izgube. Opisana fizikalna slika velja tam, kjer so medsebojne reaktance (X_m) posameznih faz kablovoda enake (trikotna formacija), zato je za doseg želenega cilja potrebno 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 kabelskih zaslonov. Slika 10 prikazuje osnovni koncept navzkrižnega prepletanja kabelskih zaslonov, vzdolžni profil inducirane napetosti na kabelskem zaslonu ter fizikalno sliko vektorskega seštevanja kazalcev inducirane napetosti v posameznih kabelskih odsekih. Nivo inducirane napetosti na kabelskem 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 potrebno vgraditi ustrezne prenapetostne odvodnike, ki so v normalnih obratovalnih razmerah neaktivni.

4.7.8.4 DIMENZIONIRANJE PRENAPETOSTNE ZAŠČITE KOVINSKEGA ZASLONA

V primeru, da so kovinski zasloni enostransko ozemljeni ali prepleteni (cross bonding), se v njih inducira napetost, ki je proporcionalna toku v vodniku in dolžini kabla. V primeru, da teče po vodniku tok 1 kA, se giblje vrednost inducirane napetosti v kovinskih zaslonih med 0.1 kV/km in 0.3 kV/km, odvisno od preseka vodnika, debeline izolacije, formacije in razdalje med kablji posameznih faz. Pri VN kabljih z zelo velikimi preseki te vrednosti dosegajo tudi do 0.6 kV/km. Pri zemeljskih stikih so vrednosti induciranih napetosti v kovinskih zaslonih mnogo višje in dosegajo nekaj kV/km, saj vrednosti tokov zemeljskega stika v 110 kV omrežjih dosegajo okrog 15 kA.

Zaradi inducirane napetosti v kovinskih zaslonih je potrebno kovinske zasloni zaščititi s prenapetostnimi odvodniki. Za njihovo dimenzioniranje je bistvena vrednost toka zemeljskega stika, poleg tega pa je potrebno upoštevati še dolžino kablovoda, način ozemljitve nevtralne točke, formacijo oz. način polaganja kablov ter konfiguracije omrežja pri čemer je bistvena predvsem bližina prehoda daljnovoda v kablovod, ki vpliva na stopnjo ogroženosti kablovoda pred atmosferskimi prenapetostmi



Slika 10: Napetostni profil inducirane napetosti pri navzkrižnem prepletanju kabelskih zaslonov

V praksi 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 kabelskih zaslonov. Ozemljevanje z navzkrižnim prepletanjem kabelskih zaslonov je zaradi učinkovitega zmanjšanja induciranih tokov v kabelskih zaslonih razširjen 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 zaslonom, medtem ko je

obnašanje pri enofaznih zemeljskih stikih (redukcijski faktor) primerljivo s sistemi obojestransko ozemljenih kabelskih zaslonov. Načeloma obstaja poleg treh zgoraj opisanih načinov ozemljevanja še številne izpeljanke slednjih, ki so prilagojene posameznim konstrukcijskim in obratovalnim razmeram, vendar se po lastnostih ne razlikujejo bistveno.

4.7.8.5 UPORABA NAČINOV OZEMLJEVANJA PRI GRADNJI KBV

Obojestransko ozemljeni zasloni se priporočajo pri daljših dolžinah, pri čemer pa je odločitev o izvedbi navzkrižnega povezovanja zaslonov prepuščena projektantu.

Pri obojestranski ozemlitvi zaslonov brez izvedbe navzkrižnega povezovanja zaslonov se namreč večja obremenljivost doseže pri polaganju v trikot. Trikotna razporeditev se odlikuje tudi z zelo nizkimi vrednostmi magnetnega polja v okolici kablovoda.

V takem primeru predstavlja ustrezno rešitev polaganje kablov v trikot in ozemljitev zaslonov na obeh straneh kablovoda brez njihovega navzkrižnega povezovanja, ki pri kablilih 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.

Enostranska ozemljitev kovinskih zaslonov z odvodniki pride v poštev le pri krajših dolžinah (500 – 1000 m). Pri enostranski ozemlitvi kovinskih zaslonov je potrebno na strani, kjer ti niso ozemljeni, namestiti prenapetostne odvodnike za zaščito plaščev kabla. Pri enostranski ozemlitvi zaslonov se priporoča polaganje v ravnini, ki omogoča večjo obremenljivost.

Pri obojestranski ozemlitvi zaslonov z navzkrižnim povezovanjem zaslonov se doseže večja obremenljivost kot pri obojestranski ozemlitvi zaslonov brez navzkrižnega povezovanja zaslonov tako pri polaganju v trikot, kot pri polaganju v ravnini. Običajno se navzkrižno povezovanje zaslonov uporabi pri kablilih katerih prerezi so večji od 1000 mm^2 oz. 1200 mm^2 , če dolžina trase presega 3 km do 5 km. Razlika v obremenljivosti je bistveno večja pri polaganju v ravnini kot pri polaganju v trikot in se povečuje s povečevanjem prereza vodnika.

Navzkrižnega povezovanja 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.

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.

5 VPLIV NA OKOLJE IN VARNOST ZDRAVJA PRI DELU

Proizvodnja kablov vpliva na okolje. Proizvajalec kablov mora imeti vzpostavljen in ustrezno vzdrževan sistem vodenja kakovosti proizvodnje, ki izpolnjuje zahteve standarda ISO 14001.

Vpliv gradnje je potrebno obdelati skladno z Zakonom o graditvi objektov in zahtevam ISO 45000.

Vpliv kablovoda med obratovanjem mora ustrezati uredbi [2.1.8].

Pri visokonapetostnih kablovodih nazivne napetosti 110 kV, ki jih uvrščamo med obstoječe vire sevanja ne prihaja do preseganja mejnih vrednosti magnetnih polj $100 \mu\text{T}$, razen pri nekaterih večsistemskih kablovodih. Pri ravninski razporeditvi kablov vrednosti magnetnih polj zlahka presežejo mejno vrednost I. območja $10 \mu\text{T}$, medtem ko pri trikotni razporeditvi večinoma ostanejo pod to mejo ne glede na način polaganja. Mejno vrednost I. območja $10 \mu\text{T}$ lahko presežejo le pri največjih razdaljah med posameznimi fazami in majhnih globinah polaganja. V takih primerih je potrebno poskrbeti, da mejne vrednosti ne bodo presežene z izbiro ustrezne razporeditve in globine polaganja, v primeru da to ne bi zadostovalo ali tega ni mogoče izvesti, pa je potrebno uporabiti dodatne kompenzacijske ukrepe, ki so opisani v študiji Elektroinštituta Milan Vidmar ref.št. 1605, 2004 [2.3.3].

6 PREIZKUSI, PREVZEM IN PREGLED

6.1 ZAHTEVE ZA PROIZVAJALCA KABLA

Zaradi zagotavljanja višje stopnje kvalitete kablov in kabelskega pribora mora proizvajalec kabla izpolnjevati spodaj naštetе zahteve:

- tehnologija izdelave kabla v trislojni ekstruziji,
- sodobna proizvodnja linija,
- kvalitetna in kontinuirana kontrola procesa proizvodnje in kontrola produktov tega procesa,
- tipsko preskušanje mora biti ažurirano z dopolnitvami in amandmaji ustreznih standardov,

- kosovno preskušanje se mora izvajati na vsaki proizvedeni dolžini kabla,
- podati je potrebno priporočila za izbiro ustreznega pribora (spojk in končnikov) in navodila za montažo,
- reference proizvajalca,
- predvideno življenjsko dobo kabla,
- izvajanje dodatnega neobveznega preskušanja kabla v poostrenih obratovalnih pogojih.

6.2 TIPSKI PREIZKUSI

Poročila oziroma izvlečki o tipskih preizkušanjih morajo biti priložena k ponudbi in morajo podati osnovne informacije o vseh tipskih preizkusih, ki so bili izvedeni na ponujeni opremi za potrditev ustreznosti izvedbe in izdelave tipa kabla. Tipski preizkusi so lahko izvedeni v lastnih preizkusnih VN laboratorijih ali v neodvisnih.

Vsi preizkusi morajo biti izvedeni po zahtevah zadnjih veljavnih EN in IEC standardov. V obsegu dobave se ne predvideva ponovitev enega ali več tipskih preizkusov ampak predložitev ustreznih potrdil o uspešno opravljenih tipskih preizkusih.

Tipski preizkusi morajo biti izvedeni za:

- 110 kV kable,
- 110 kV kabelske končnike in
- 110 kV odvodnike prenapetosti.

6.2.1 KOSOVNI PREIZKUSI

6.2.1.1 110 kV KABLI

Preizkusi zajemajo električne preizkuse skladno s standardom IEC 60840, ki v 9. in 10. točki standarda opredeljuje rutinske in vzorčne teste.

☐ Kosovni preizkusi VN kablov, ki morajo biti izvedeni na istem kosu kabla, zajemajo:

- Meritev delnih razelektreitev,
- Napetostni preizkus,
- Ponovna meritev delnih razelektreitev,
- Električni preizkus na nekovinskih ovojih.

☐ Na istem vzorcu kabla še naslednji vzorčni preizkusi:

- Vizualni pregled kabla,
- Meritev električne upornosti kabla,
- Meritev debeline izolacije in nekovinskih ovojev,
- Meritev debeline kovinskih ovojev,
- Meritev premerov,
- Vroča postavitvev – preskus izolacije,
- Meritev kapacitivnosti,
- Preskus na kompletu kabla z prečno vodno zaporo – kovinsko folijo in
- Mehanski preskus.

6.2.1.2 110 kV KABELSKI KONČNIKI

Preizkusi zajemajo električne preizkuse skladno s standardom IEC 60840, ki v 11. točki standarda opredeljuje vzorčne teste. V primeru, da je naročeno število manjše od minimalnega vzorca 50 kosov, mora izvajalec podati za nujeno opremo tipski test kabelskega sistema skladno s standardom.

6.2.1.3 110 kV PRENAPETOSTNI ODVODNIKI

Kosovni preizkus odvodnikov prenapetosti s polimerno izolacijo se izvedejo skladno z IEC 6009-4, 9n točka standarda, ki obsega najmanj:

- VN vzdržnosti preizkus z napetostjo omrežne frekvence,
- Preostala napetost pri 10 kA (8/20 μ s),

- Meritev parcialnega praznjenja,
- Meritev izgub in ubežnega toka (leakage current),
- Preizkus števca praznjenja s tokovnim impulzom (razred 5 kA/ μ s).

6.2.2 TOVARNIŠKI PREVZEM

6.2.2.1 TOVARNIŠKI PREVZEM 110 kV KABLOV

Vsi preizkusi, ki se bodo izvedli med prevzemom pri proizvajalcu, predstavljajo ponovitev preizkusov, ki so bili že izvedeni med rutinskimi preizkusi. Prevzemni preizkusi pri proizvajalcu se izvedejo na enem izbranem kolutu kabla, ki ga izbere naročnik.

Na željo izdelovalca se lahko za potrebe tovarniškega prevzema izbere posebej kolut za ponovitev električnih preizkusov in posebej kolut za ponovitev mehanskih preizkusov.

Poleg ponovitve kosovnih preizkusov se na tovarniškem prevzemu preveri še:

- Vizualni pregled kabelskih zaključkov,
- Vizualni pregled ostale opreme za montažo,
- Način zaščite kabla med transportom,
- Kosovni pregled celotnega kabla.

Pri tovarniških preizkusih obvezno sodeluje predstavnik izvajalca.

6.2.2.2 TOVARNIŠKI PREVZEM 110 kV KABELSKIH KONČNIKOV

Prevzem se izvrši na lokaciji dobave. Ob prevzemu se izvede:

- Izvajalec preda tipske teste in
- Izvede se vizualni pregled opreme ter meritve skladnosti dimenzij s tovarniškimi risbami.

Pri prevzemih obvezno sodeluje predstavnik izvajalca.

6.2.2.3 TOVARNIŠKI PREVZEM 110 kV PRENAPETOSTNIH ODVODNIKOV

Prevzem se izvrši na lokaciji dobave. Ob prevzemu se izvede:

- Izvajalec preda rezultate rutinskih preskusov in
- Izvede se vizualni pregled opreme ter meritve skladnosti dimenzij s tovarniškimi risbami.

Pri prevzemih obvezno sodeluje predstavnik izvajalca.

7 TEHNIČNA DOKUMENTACIJA ZA NAROČANJE

7.1 TEHNIČNA PONUDBENA DOKUMENTACIJA

Zahtevana tehnična ponudbena dokumentacija mora poleg izpolnjenih dokumentov »tabela tehničnih zahtev« ter ponudbenega predračuna imeti še naslednji minimalni obseg in vsebino:

- Splošni opis ponujene opreme:
 - splošni opis,
 - opis odvodnikov prenapetosti,
 - opis in skice 110 kV kablov, kabelskih spojk in kabelskih priključkov,
 - ostalo.
- Tipski testi ponujene opreme,
- Brošure, prospekti in ostali tehnični material ponujene opreme,
- Dimenzioniranje 110 kV kablov in prenapetostnih odvodnikov v skladu z dejanskimi pogoji na mestu vgradnje (specifična upornost zemlje, geometrija polaganja, temperature).

7.2 TEHNIČNA DOKUMENTACIJA PO PODPISU POGODBE

Zahtevana dokumentacija po podpisu pogodbe o dobavi razpisane opreme ima naslednji minimalni obseg in obliko:

- 2 tedna po podpisu pogodbe:
 - Terminski plan poteka projekta,
 - Organizacijo izvajanja projekta.
- 1 mesec po podpisu pogodbe:
 - Konstrukcijsko risbo 110 kV kablov,
 - Konstrukcijsko risbo 110 kV kabelskih končnikov,
 - Konstrukcijsko risbo 110 kV odvodnikov prenapetosti in števeci delovanj,
 - Konstrukcijske risbe omarice za ozemljitev zaslonov.
- 2 meseca po podpisu pogodbe:
 - Seznam ostale dobavljene opreme,
 - Seznam rutinskih testov med proizvodnjo,
 - Seznam preizkusov ob tovarniškem prevzemu v potrditev.
- 1 meseca pred tovarniškimi preizkusi:
 - Navodila za obratovanje in vzdrževanje,
 - Navodila za montažo ponujene opreme,
 - Dokumentacija za potrebe šolanja.
- Ob prevzemu:
 - Protokole vseh preizkusov opravljenih v tovarni.
- 1 mesec po končani montaži in zagonu opreme:
 - Vnos sprememb, ko si nastale tekom montaže in spuščanja v pogon, v dokumentacijo, ki je bila dobavljena in izdelana PID tovarniške dokumentacije,
 - Seznam vgrajene (ime komponente, tip, leto proiz., serijsko št., proizvajalec) opreme (za komponente in pogone) in mesto vgradnje (polje/faza).

Tovarniška in ostala dokumentacija je lahko v slovenskem, angleškem ali nemškem jeziku.

Izrecno se v slovenskem jeziku zahteva naslednja dokumentacija:

- Navodila za montažo,
- Navodila za obratovanje,
- Navodila za vzdrževanje,
- Dokumentacija za potrebe šolanja.

Poleg slovenskega izvoda, je zaželeno, da ponudnik priloži še original navodila proizvajalca v angleškem in/ali nemškem jeziku.

Slovenska navodila morajo biti verodostojen prevod originalnih navodil. Prevod povzetka navodil ne zadostuje.

8 SKLADIŠČENJE

Kable je potrebno skladiščiti na pokritem mestu in zavarovati pred direktnimi sončnimi žarki, atmosferskimi vplivi in možnostjo poškodb. Skladiščiti se morajo na ustreznih bobnih, ki naj ne ležijo na boku. Glej dodatek C.

9 TRANSPORT

Kabli naj bodo naviti na ustrezne kabelske kolute z leseno zaščitno oblogo po obodu koluta, ki jih dobavitelj po končani montaži odstrani na svoje stroške. Kabli naj bodo pakirani na tak način, da bodo preprečene morebitne poškodbe med transportom in delom na objektu.

Transport kablov se izvaja na lesenih ali kovinskih kolutih s premerom jedra,

$$\emptyset = 18 \cdot D_{kabela}$$

Na vsakem lesenem kolutu mora biti etiketa z naslednjimi podatki:

- Ime proizvajalca,
- Oznaka tipa in preseka (mm²),
- Dolžina (m),
- Standard, predpis,
- Identifikacijska številka koluta,
- Številka naročila,
- Bruto in neto teža (kg).

Pakiranja so v standardnih dolžinah 500 in 1000 m, oz. po želji naročnika. Konci kabla morajo biti pritrjeni na kolutih in zaščiteni z gumijastimi kavicami. Transport se vrši s tovornim vozilom z dvigalom ter ustrezno prikolico za transport kablov.

Glej Dodatek C: Skladiščenje, transport odvijanje in previjanje.

1 POSEBNE ZAHTEVE PRI VGRADNJI

Pri polaganju kablov moramo uporabljati navodila [2.3.1], veljavne standarde ter navodila proizvajalcev.

1.1 POSEBNE ZAHTEVE PRI VZDRŽEVANJU

1.1.1.1.1 PREIZKUŠANJE KABLA V OBRATOVANJU

Tudi v obratovanju se priporoča opravljanje diagnostike kabselske izolacije, posebno v primeru povečanih obremenitev in okvar. V tem smislu je zelo pomembno, da se izbere kakovostno merilno opremo, ki je prilagojena za uporabo v specifičnih pogojih, zato je pri njeni izbiri potrebno spremljati njen razvoj in upoštevati izkušnje tistih prenosnih in distribucijskih podjetij, ki predmetno opremo že uporabljajo. V zadnjem obdobju se za ugotavljanje kvalitete kabselske izolacije v obratovanju pogosteje uporablja metoda merjenja izgubnega faktorja $\tan \delta$ pri napetosti industrijske ali napetosti zelo nizke frekvence (VLF) s sinusno obliko napetosti. Metoda merjenja $\tan \delta$ sicer ne omogoča določitve šibkega mesta v izolaciji, pač pa je z njo mogoče dovolj natančno ugotoviti povprečno stanje izolacijskega sistema.

Pred meritvijo faktorja $\tan \delta$ je potrebno izmeriti upornost kabselske izolacije. Če je njena vrednost dovolj visoka (med 20 000 M Ω in 200 000 M Ω), to pomeni, da v kabselskih spojkah ni vlage, tako da v tem primeru z meritvijo pridobimo podatek o dejanski vrednosti faktorja $\tan \delta$ kabselske izolacije. V primeru, da je izmerjena vrednost faktorja $\tan \delta$ dovolj nizka, se kabel preskusi še z napetostjo zelo nizke frekvence 0.1 Hz 3 $\underline{U}_0$ v trajanju 60 min. Če je preskus uspešen, potem je zagotovljeno varno obratovanje kabla. V primeru, da je vrednost faktorja $\tan \delta$ previsoka, je izolacijska sposobnost kabla poslabšana in kabel obratuje s povečanim rizikom. V tem primeru ni priporočljivo opraviti napetostnega preskusa, saj obstaja velika nevarnost, da bo kabel prebil. Slaba izolacijska sposobnost kabla se odraža tudi v neodvisnosti faktorja $\tan \delta$ od napetosti. Preverjanje stanja kabselske izolacije, je smiselno nadgraditi tudi z merjenjem delnih razelektritev, ki nam omogoča odkrivanje posameznih šibkih mest v izolaciji, pa tudi pomanjkljivosti pri montaži kabselskega pribora.

Merjenje delnih razelektritev poteka pri izmenični napetosti zelo nizke frekvence 0.1 Hz ali pri izmenični napetosti industrijske frekvence in se uporablja tako pri sredjenapetostnih kot tudi pri visokonapetostnih kablilih.

Periodiko preventivnega preverjanja izolacijske sposobnosti kabla se določi glede na obratovalno napetost, tip in konstrukcijo kabla ter vlogo in pomembnost kablovoda v elektroenergetskem sistemu. Prav tako se priporoča preverjanje izolacijske sposobnosti kabla ob zaključku večjih gradbenih posegov v kabselskih koridorjih in ob spremembi obratovalnih pogojev na kabselski trasi. V primeru nastanka okvare je potrebno preveriti izolacijo kabselskega plašča in glavno izolacijo kabla in sicer po nastopu druge okvare, ki ni bila povzročena zaradi evidentnih mehanskih poškodb pri gradbenih delih in bi utegnila pomeniti povečanje intenzitete slabšanja kabselske izolacije.

12 DODATKI

DODATEK A: POGOJI, KI VPLIVAJO NA KAPACITETO PRENOSA

Kapaciteto prenosa kablovoda načeloma omejuje presek vodnika.

Pri kablilih napetosti nad 30 kV je določitev dejanske obremenljivosti kablov domena proizvajalcev. Le-ti imajo za svoje konstrukcije kablov izdelane matematične izračune za optimalen izkoristek kabla ob zmernih pogojih namestitve kabla.

Podatki, ki jih dobimo od proizvajalcev za kable, se nanašajo na optimalne razmere, ki jih lahko opišemo z naslednjimi karakteristikami:

- Za kable nameščene v zemljo:
 - Faktor obremenitve 1,0 ali 0,7. To pomeni, da je povprečna obremenljivost kabla v 2 – urnem ciklu 100 % ali 70 %.
 - 70% obremenitev je blizu običajnemu dnevnemu diagramu povprečne potrošnje.
 - Temperatura zemlje je 20 °C, ob globini vkopa kabla 0,7 do 1,2 m.
 - Specifična termična upornost zemlje 1 km/W.
- Za kable nameščene v zrak podajajo proizvajalci vrednost ob enakih pogojih obremenitve, s tem da je stalna temperatura zraka 30 °C.

V primeru okvirnih izračunov oz. pomanjkljivih podatkov za določen tip kabla se uporabijo informativni izračuni in koeficienti v nadaljevanju tega dodatka.

A.1 KOREKCIJSKI FAKTORJI

Včasih se podajajo karakteristike in kapacitete kablov za nekoliko nižje temperature okolja. Pogosto se pri v zemljo položenih kablilih nanašajo na temperaturo 15 °C in na specifično toplotno upornost zemljine 1,2 km/W, za kable nameščene v zraku pa se podajajo vrednosti ob temperaturi okolice 25 °C.

Vplivi na tokovno obremenljivost, ki nastanejo zaradi odstopanja od referenčnih obratovalnih pogojev, se zajamejo s korekcijskimi faktorji, s katerimi je potrebno pomnožiti nazivno vrednost tokovne obremenitve, ki velja pri nazivnih obratovalnih pogojih za posamezne načine polaganja in ozemljitve kovinskih zaslonov.

Tokovna obremenljivost kablovoda v zemlji se izračuna iz enačbe:

$$I_d = I_n \cdot f_g \cdot f_{Tze} \cdot f_{R\theta} \cdot f_d \cdot f_N \cdot f_Z \cdot f_{cev}$$

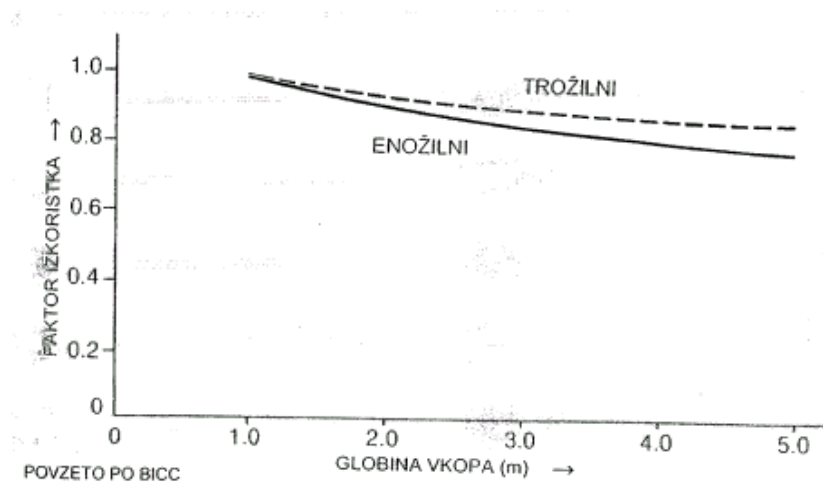
pri čemer so f_x korekcijski faktorji obremenitve, ki jih je potrebno upoštevati zaradi odstopanja od referenčnih pogojev polaganja pri katerih je podana obremenitev kabla.

I_d	dejanska nazivna tokovna obremenitev [A]
I_n	tokovna obremenljivost [A]
f_g	korekcijski faktor tokovne obremenitve v odvisnosti od globine polaganja
f_{Tze}	korekcijski faktor tokovne obremenitve v odvisnosti od temperature zemlje
$f_{R\theta}$	korekcijski faktor tokovne obremenitve v odvisnosti od toplotne upornosti zemlje
f_d	korekcijski faktor tokovne obremenitve v odvisnosti razdalje med kabli posameznih faz v ravnini
f_N	korekcijski faktor tokovne obremenitve v odvisnosti od števila sistemov in razdalje med njimi
f_Z	korekcijski faktor tokovne obremenitve v odvisnosti od prereza kovinskega zaslona
f_{cev}	korekcijski faktor tokovne obremenitve pri polaganju v cevi v zemlji

Vrednosti korekcijskih faktorjev tokovne obremenitve podaja proizvajalec, nekatere pa določi projektant. Če kateri izmed referenčnih pogojev ni izpolnjen, je potrebno pri izračunu tokovne obremenljivosti kabla upoštevati ustrezen korekcijski faktor. Višja kot je obratovalna napetost kablanskega omrežja, večji je vpliv naštetih pogojev na obremenljivost kablovoda.

A.2 GLOBINA VKOPA

Obremenitve so izračunane za predvideno globino vkopa 0,9 m, izmerjeno od površine do vrha kabla ali cevi. Obremenitve se sicer lahko povišujejo z nižjo globino vkopa, vendar je treba pri tem paziti, da se zagotovi primerna mehanska zaščita. V primeru večjih globin se dovoljena obremenitev zmanjšuje. Vpliv zniževanja obremenitve glede na globino vkopa prikazuje Slika 11.



Slika 11: Vpliv zniževanja obremenitve glede na globino vkopa

Tabela 10: Faktor izkoristka kabla glede na globino vkopa

Globina Vkopa [m]	Korekcijski faktor
1,0	1,00
1,2	0,98
1,5	0,95

A.3 TALNA TEMPERATURA

Koeficienti ki jih podaja Tabela 10 so podani glede na temperaturo tal 20°C. Za višje temperature so korekcijski faktorji manjši (manjše obremenitve) za nižje temperature pa so ti večji (večje obremenitve).

Odvajanje toplote je proporcionalno razliki med dovoljeno temperaturo prevodnika in temperaturo zemlje. Za XLPE kable je maksimalna trajna temperatura obratovanja vodnika 90 °C. Stopinje v tabeli so podane za navedeno temperaturo, ki ustreza dvigu za 70 °C pri talni temperaturi 20 °C.

Za drugačne temperature tal in napetosti do vključno 132 kV se uporabljajo redukcijski faktorji, ki jih podaja Tabela 11.

Tabela 11: Redukcijski faktorji glede na temperaturo zemlje

Temperatura vodnika [°C]	Temperatura zemlje [°C]							
	10	15	20	25	30	35	40	45
90	1,07	1,04	1	0,96	0,93	0,89	0,84	0,80
65	1,11	1,05	1	0,94	0,88	0,82	0,74	0,66

A.4 TOPLOTNA UPORNOST TAL

Od proizvajalcev podana tokovna obremenljivost navadno temelji na toplotni upornosti tal (γ) 1,0 ali 1,2 km/W. Vrednost 1,2 je lahko privzeta vnaprej brez predhodnega pregleda terena, vendar pa je to mogoče le, če zemlja ni pretirano suha in ni homogena granulacije peska, grušča, razkrojenih odpadkov ali pepela. Pri takšnih talnih razmerah lahko (γ) naraste celo na 3,0. Na mestih, kjer naletimo na takšne pogoje, je priporočljivo izvesti meritve toplotne upornosti zemlje. Meritve naj bi se izvajale tekom daljšega časovnega obdobja, saj se le tako upoštevajo vsa sezonska nihanja in vplivi okolja. Ob takšnih meritvah je vedno potrebno zabeležiti delež vloge v zemlji.

Vrednosti γ nižje kot 1,2 km/W se ne smejo sprejemati brez preverjanja, saj se kabli, določeni po napačni domnevi toplotne upornosti, zaradi pregrevanja lahko poškodujejo. Po drugi strani nižja toplotna specifična upornost zagotavlja višjo prevodnost toka, zato lahko položimo vodnik z manjšim presekom. Posledični nam izrabljanje nižje vrednosti γ , kjer je to mogoče, zniža stroške. Vedeti pa moramo, da prinaša takšna zamenjava kabla, zaradi ugodnosti zemeljskih pogojev, večje izgube v prevodniku. Možno je, da dodatne izgube stanejo več, kot bi pridobili s pocenitvijo kabla zaradi manjšega preseka.

Če se na eni strani nihanja v temperaturi tal lahko obdelajo v sprejemljivi natančnosti z enostavnimi aritmetičnimi operacijami, pa to ni tako pri toplotni upornosti. Pri določanju obremenljivosti kabla se vpliv γ izraža v kombinaciji z dimenzijami kablov in interno toplotno upornostjo kabla. Pri neobičajni upornosti tal je potrebno pri izbiri primernih dimenzij vodnika celovito načrtovanje in izračun. Nekateri temeljni vplivi toplotne upornosti na izkoristek kablov so zbrani v Tabeli 12.

Pri načrtovanju v zemlji zakopanih kablovodov za relativno visoke moči se navadno predvidi uporaba posebnih polnilnih materialov, ki jih nameščamo okoli kabla (posteljica). Ti materiali se označujejo kot »stabilizirani« in imajo v suhem stanju toplotni upornost manjšo od 1,2 km/W.

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.

Tabela 12: Faktor izkoristka kabla glede na karakteristike zemlje

Termična upornost zemljine [K·m/W]	0,7	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
Korekcijski faktor	1,14	1,00	0,93	0,84	0,74	0,67	0,61

A.5 VPLIV POGOJEV NAMESTITVE

Sposobnost kabla za prevajanje toka je v veliki meri odvisna od maksimalne temperature, pri kateri lahko prevodnik še deluje varno. S tega vidika je prevajalna sposobnost vodnika močno odvisna od načina instalacije kabla (pod zemljo, v zraku ali pod vodo). Le ta direktno vpliva tudi na toplotne izgube, ki se pojavljajo ob delovanju.

A.6 POLAGANJE KABLOV V RAVNINI Z OZEMLJITVIJO

Tabela 13: Faktor obremenitve enosistemskega kablovoda v odvisnosti od razdalje med kabli v ravninski razporeditvi z enostransko ozemljenimi ali navzkrižno poveznimi zasloni f_d

Medosna razdalja [mm]	D	D+70	200	250	300	350	400
	f_d						
D < 80 mm	0,93	1,00	1,03	1,05	1,07	1,08	1,09
81 < D < 110 mm	0,93	1,00	1,03	1,04	1,06	1,08	1,09
110 < D < 140 mm	0,93	1,00	1,03	1,03	1,06	1,09	1,11

D - premer kabla

A.7 POLAGANJE VEČ SISTEMOV Z OZEMLJITVIJO

Tabela 14: Faktor obremenitve večsistemskega kablovoda v odvisnosti od osne razdalje med sistemi v ravninski ali trikotni razporeditvi f_N

Razdalja med sistemi [mm]	Število sistemov				
	1	2	3	4	5
100	1	0,75	0,67	0,59	0,55
200	1	0,81	0,71	0,65	0,61
400	1	0,85	0,77	0,72	0,69
600	1	0,88	0,81	0,77	0,74
800	1	0,90	0,84	0,81	0,79
2000	1	0,96	0,93	0,92	0,91

A.8 FAKTOR ODVISEN OD PREREZA EKRANA

Tabela 15: Faktor obremenitve 110 kV kablovoda v odvisnosti od preseka kovinskega zaslona pri trikotni razporeditvi in obojestranski ozemljitvi zaslonov brez navzkrižnega povezovanja f_Z

Presek vodnika [mm ²]		Presek kovinskega zaslona [mm ²]						
Al	Cu	25	35	50	95	150	240	300
300		1,02	1,02	1,01	1	0,99	0,98	0,97
500	300	1,03	1,03	1,02	1	0,98	0,96	0,96
800	500	1,05	1,04	1,03	1	0,97	0,94	0,94
1200	630	1,06	1,05	1,04	1	0,97	0,93	0,92
2000	800	1,07	1,06	1,04	1	0,96	0,92	0,91
	1200	1,12	1,10	1,07	1	0,94	0,89	0,88

Če sta vzporedno položena dva ali več kablov, se zaradi medsebojnega gretja zmanjša njihova sposobnost prevajanja toka. V takšnih okoliščinah uporabimo faktorje zmanjšanja.

A.9 KABLI POLOŽENI V ZRAKU

Obremenljivost kablov položenih v zraku je odvisna predvsem od temperature okolja. Za normalne inštalacije v zmernih klimatskih razmerah se svetujejo obremenitve računane za temperaturo zraka 25 oziroma 30 °C. Obremenitve so izračunane na podlagi predvidevanj, da so kabli zaščiteni pred soncem. V primeru, da so kabli izpostavljeni soncu, lahko temperatura močno naraste, kar povzroči zmanjševanje obremenljivosti.

Nasprotno, kot v primeru zemeljskih kablov, pri zračnih kablilih toplotne izgube niso linearne s temperaturo tokovodnika. Korekcijske faktorje podaja Tabela 16.

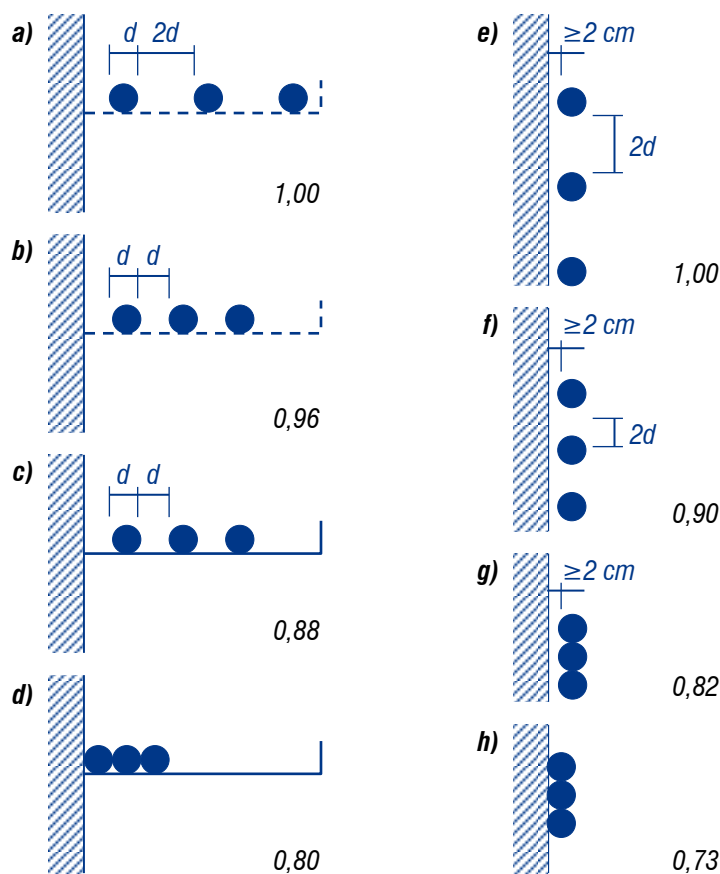
Tabela 16: Faktor izkoristka glede na temperaturo zraka okolice

Temperatura zraka [°C]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Korekcijski faktor	1,28	1,24	1,19	1,15	1,10	1,05	1,0	0,95	0,89	0,83	0,77

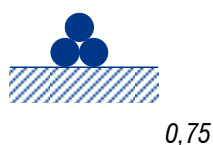
Vse vrednosti v tabelah (za kable v zraku) so podane za primere, kjer je zadovoljiva zračna cirkulacija, kot je na primer na prostem ali v prostorih z dobro ventilacijo.

Pri različnih namestitvah kablov je sposobnost oddajanja toplote s konvekcijo odvisna od cirkulacije okoliškega zraka. Kjer je kabel postavljen v bližini tal ali stene, je kroženje zraka oteženo. Oddajanje toplote s sevanjem je odvisna 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. Sposobnost oddajanja toplote je odvisna tudi od formacije kablov. Za posamezne karakteristične formacije kablov se podajajo faktorji

obremenitve kot to prikazuje Slika 12 s katere je razvidno, da je pri vertikalni razporeditvi hlajenje nekoliko slabše kot pri horizontalni razporeditvi, kjer je zrak okoli zgornjega kabla nekoliko toplejši kot okoli spodnjega kabla.



Slika 12: Faktor obremenitve pri različnih razporeditvah kablov v zraku



Slika 13: Faktor obremenitve pri polaganju v trikot na tla v kabelskem prostoru

A.10 POLAGANJE KABLOV V CEVNO KANALIZACIJO

Opis polaganja kablov v cevno kanalizacijo je podan v poglavju 4.6.11. V Tabeli 17 so navedeni faktorji polaganja za kable v ceveh zakopanih v zemljo.

Tabela 17: Faktor polaganja za kable v ceveh zakopanih v zemljo

Enožilni kabli delno vkopani v ločenih ceveh	Enožilni kabli v ločenih ceveh	Enožilni kabli v skupni cevi	Trižilni kabli v cevi
0,94	0,90	0,90	0,90

A.11 KRATKOSTIČNA ZMOGLJIVOST

V Tabeli 18 so podatki za tokove podani za neprekinjeno obratovanje ob enakomernih toplotnih razmerah.

Tabela 18: Kratkostična zmogljivost kablov nazivne napetosti $U/U_m = 110/123$ kV v odvisnosti od začetne temperature vodnika

Presek [mm ²]	Kratkostična zmogljivost [kA]			
	Temperatura vodnika pred nastankom kratkega stika			
	Vodnik iz aluminija		Vodnik iz bakra	
	65 °C	90 °C	65 °C	90 °C
300	31,1	28,3	47	42,9
630	65,2	59,5	98,7	90,1
800	82,8	75,6	125	114
1000	104	94,5	157	143
1200	124	113	188	172

Podzemnemu kablu, ki prevaja nihajoče breme, navadno dovolimo, da je maksimalno breme nekaj večje od možnega maksimalnega neprekinjenega toka. Ker male termične mase povzročajo nagel prehod tokovodnika v termično ravnovesje, so takšna povišanja obremenljivosti le redko možna v primerih v zraku položenih kablov. Če so kable zakopani, termična masa okoliške zemlje upočasni temperaturne spremembe v vodniku. Rezultat tega je, da lahko zakopani kabel prenese kratkotrajno višji tok od dovoljenega toka pri neprekinjenem obratovanju, ne da bi temperatura vodnika preseгла 90°C. V primeru hitro ponavljajočega se bremena in če je oblika ciklusa bremena blizu dnevnega diagrama široke potrošnje, lahko obremenimo kable 10 do 15 % nad dovoljenim tokom za neprekinjeno obratovanje.

Iz navedenega sledi, da sta za višino investicije izredno pomembna pravilen izbor cikla obremenljivosti in način polaganja kablov – na temperaturo okolja in na lastnosti zemlje pa ne moremo bistveno vplivati.

Tabela 19: Tokovna obremenitev enosistemskega 110 kV kablovoda v ravninski in trikotni formaciji z izvedenim prepletom s kable prereza 630 mm² (Cu) in 800 mm² (Al)

Presek vodnika	Cu 630 mm ²				Al 800 mm ²			
Formacija	RAVNINA		TRIKOT		RAVNINA		TRIKOT	
Zahteva N-1	660 A							
Polaganje v odprti jarek - globina osi kablovoda 1,0 m								
Razdalja med fazami [mm]	300	D+70	300	D+70	300	D+70	300	D+70
ρz = 0,7 Km/W	1135 A	1071 A	1075 A	1014 A	1274 A	1202 A	1202 A	1134 A
ρz = 1,0 Km/W	996 A	940 A	943 A	890 A	1118 A	1055A	1055 A	995 A
ρz = 1,5 Km/W	836 A	789 A	792 A	747 A	939 A	886 A	885 A	835 A
Polaganje v odprti jarek - globina osi kablovoda 1,5 m								
Razdalja med fazami [mm]	300	D+70	300	D+70	300	D+70	300	D+70
ρz = 0,7 Km/W	1078 A	1017 A	1020 A	963 A	1210 A	1142 A	1142 A	1077 A
ρz = 1,0 Km/W	946 A	893 A	895 A	845 A	1062 A	1002 A	1001A	945 A
ρz = 1,5 Km/W	795 A	750 A	752 A	710 A	891 A	841 A	841 A	794 A

Tabela 20: Tokovna obremenljivost Cu kablov nazivne napetosti $U/U_m = 110/123$ kV v zemlji pri temperaturi zemlje 20 °C

Prerez Cu vodnika [mm²]	Tokovna obremenljivost [A]			
	Kabli položeni v ravnini		Kabli položeni v trikot	
	Način ozemljitve kovinskih zaslonov			
	Prepletanje	Obojestranska	Prepletanje	Obojestranska
300	640	535	610	580
630	940	705	890	810
800	1055	755	995	885
1000	1165	800	1095	950
1200	1345	860	1280	1055

Tabela 21: Prenosna moč Cu kablov nazivne napetosti $U/U_m = 110/123$ kV v zemlji pri temperaturi zemlje 20 °C

Prerez Cu vodnika [mm²]	Prenosna moč [MW]			
	Kabli položeni v ravnini		Kabli položeni v trikot	
	Način ozemljitve kovinskih zaslonov			
	Prepletanje	Obojestranska	Prepletanje	Obojestranska
300	122	102	116	110
630	179	134	170	154
800	201	144	190	169
1000	222	152	209	181
1200	256	164	244	201

DODATEK B: TABELE TEHNIČNIH PODATKOV 110 KV KABLOV

B.1 110 KV KABEL

Tabela 22: Primer tabele tehničnih podatkov za VN kable v postopku naročanja

Poz	Opis	Enota	Zahtevana vrednost	Ponudbena vrednost
SPLOŠNI PODATKI				
1	Proizvajalec	-		
2	Tipska oznaka	-		
OKOLJE				
3	Nadmorska višina	m	< 1000	
4	Najvišja temperatura (v senci)	°C	40	
5	Najnižja temperatura okolja: -za zunanjo opremo	°C	-25	
OBRATOVALNI POGOJI				
6	Nazivna napetost: - med vodnikom in zaslonom (U_0) - med dvema faznima vodnikoma (U) - največja obratovalna napetost (U_m)	kV kV kV	64 110 123	
7	Impulzna vzdržna napetost 1,2/50 ms pri 20°C: - pozitivni val - negativni val	kV kV	550 550	
8	Vzdržna napetost industrijske (omrežne) frekvence	kV	230	
9	Nazivna frekvenca	Hz	50	
10	Nazivni tok tripolnega kratkega stika (1 s)	kA	40	
11	Nazivni udarni tok kratkega stika	kA	100	
VODNIK				
12	Nazivni presek	mm ²	min. 800 Al oz. 630 Cu	
13	Oblika vodnika			
14	Material			
15	Zunanji premer kabla	mm		
16	Število žic vodnika			
17	Premer žice v vodniku	mm		
18	Teža vodnika po dolžini	kg/km		
19	Enosmerna upornost pri 20°C	Ω/km		
20	Izmenična upornost pri 90°C	Ω/km		
21	Najvišja obratovalna temperatura vodnika v realnih pogojih obratovanja po tej razpisni dokumentaciji	°C	≤90	
22	Priporočljiva temperatura vodnika	°C		
23	Polprevodni sloj vodnika: - tip in vrsta materiala - najmanjša debelina - max. temperatura obratovanja v realnih pogojih obratovanja po tej razpisni dokumentaciji	mm °C		
IZOLACIJA				
24	Material		XLPE	
25	Debelina	mm	≥16 oz. določi naročnik	
26	Vrsta nanosa in hlajenja			

27	Teža izolacije po dolžini	kg/m		
28	Najvišja obratovalna temperatura izolacije v realnih pogojih obratovanja po tej razpisni dokumentaciji	°C		
29	Priporočljiva temperatura izolacije	°C		
30	Najmanjša izolacijska upornost pri 20°C	Ω/cm		
31	Izolacijska upornost pri 90°C	Ω/cm		
32	Zaslon izolacije: - material - debelina	mm		
33	Ekscentričnost izolacije (po IEC 60840)	%	≤5	
KOVINSKI ZASLON IN METALNA VODNA ZAPORA				
34	Material zaslona		baker	
35	Premer vodnika zaslona	mm		
36	Nazivni presek zaslona	mm ²		
37	Teža zaslona po dolžini	kg/m		
38	Najvišja obratovalna temperatura zaslona v realnih pogojih obratovanja po tej razpisni dokumentaciji	°C		
39	Priporočljiva temperatura zaslona	°C		
40	Najvišja dovoljena temperatura zaslona pri	°C		
41	Enosmerna upornost pri 20°C	Ω/m		
42	Izmenična upornost pri 90°C	Ω/m		
43	Material metalne vodne zapore in debelina	mm	Al	
PLAŠČ KABLA IN CELOTNI KABEL				
44	Material		HDPE	
45	Debelina	mm	min. 4	
46	Prevodna zunanja plast plašča, nanešena istočasno z ekstrudacijo	da/ne	Da	
47	Teža plašča po dolžini	kg/m		
48	Skupni zunanji premer kabla	mm		
49	Teža kompletnega kabla na enoto dolžine	kg/m		
50	Najmanjši dovoljeni radij krivljenja	m		
ELEKTRIČNI PODATKI IN ZAHTEVE				
51	Preskus z vzdržno napetostjo industrijske frekvence (4 ure pri 20°C)	kV	2,5 U ₀	
52	Impulzna vzdržna napetost oblike 1,2/50 μs pri 20°C: - pozitivni val - negativni val	kV kV	550 550	
53	Preskus vzdržne napetosti industrijske frekvence – 15 minut pri 20°C (po impulznem testu)	kV	2,5 U ₀	
54	Preskus parcialnih praznjenj pri 2,5 U ₀	pC	≤2	
55	Preskus vzdržne napetosti industrijske frekvence – preskus kabelskega plašča pri 20°C	kV	25	
56	Normalna tokovna kapaciteta kabla v realnih pogojih namestitve po tej razpisni dokumentaciji	A	≥645	
57	Največja trajna dopustna obremenitev kabla (trifazno)	MVA	123	
58	Dopustni enosekundni kratkostični tok vodnika (tripolni kratki stik) po trajni obremenitvi	kA		
59	Največja poljska jakost na vodniku pri U ₀	kV/mm		
60	Največja poljska jakost na zaslonu pri U ₀	kV/mm		

61	Delovna kapacitivnost (po fazi)	$\mu\text{F/km}$		
62	Polnilni tok pri U_0 (po fazi)	A/km		
63	Polnilna moč	kvar/km		
64	Skupne izgube v trikotni formaciji (trifazno)	kW/km		
65	Delovna induktivnost v trikotni formaciji	mH/km		
66	Pozitivna/negativna impedanca pri trikotni formaciji	Ω/km		
67	Nična impedanca pri trikotni formaciji	Ω/km		
68	Največji $\tan \delta$ pri U_0 in 20°C	$\times 10^{-4}$		
69	Največji prirastek $\tan \delta$ med $0,5 U_0$ in $2 U_0$ pri 20°C	$\times 10^{-4}$		
70	Dielektrične izgube:			
	- največji $\tan \delta$ pri 20°C	$\times 10^{-4}$		
	- največji $\tan \delta$ pri 90°C	$\times 10^{-4}$		
	- največji $\tan \delta$ pri U_0	$\times 10^{-4}$		
71	Tokovne kapacitete kabla pod standardnimi pogoji:			
	- najvišja temperatura vodnika	$^\circ\text{C}$		
	- temperatura zemlje	$^\circ\text{C}$		
	- temperatura zraka	$^\circ\text{C}$		
	- kabel položen v zemljo	A		
	- kabel v zraku	A		
	- kabel v kabelskem kanalu	A		
72	Izredne obremenitve kabla pod standardnimi pogoji:			
	- najvišja temperatura vodnika	$^\circ\text{C}$		
	- temperatura zemlje	$^\circ\text{C}$		
	- temperatura zraka	$^\circ\text{C}$		
	- kabel je nazivno obremenjen pred pričetkom izrednih A/s obremenitev			
	- kabel položen v zemljo (tok v odvisnosti od časa A/s trajanja)			
	- kabel v zraku (tok v odvisnosti od časa trajanja)	A/s		
	- kabel v kabelskem kanalu (tok v odvisnosti od časa A/s trajanja)			
73	Dopustna obremenitev kabla položenega v zemljo	A	priložiti	mejne krivulje
74	Največji dovoljeni tok kratkega stika v zaslonu kabla v času 1 s	kA	min. 20	
75	Tipski preskusni protokoli (povzetek)		morajo biti priloženi	
NEELEKTRIČNI PODATKI IZOLACIJE				
76	Toplotna distorzija izolacije			
77	Absorpcija vlage v izolaciji			
78	Krčenje izolacije			
79	Gostota omreženega polietilena	g/cm^3		
80	Temperatura zmeščanja izolacije	$^\circ\text{C}$		
81	Specifična toplotna upornost	mK/W		
82	Trdota			
83	Natezna trdnost	N/cm^2		
DOBAVA KABLA				
84	Najmanjša in največja dolžina kabla na bobnu	m		
85	Dimenzije bobna (premer in širina)	m		
86	Transportna teža bobna z navitim kablom			
87	Material bobna			
88	Zaščita kabla na bobnu			
89	Upogibni radij na bobnu	m		

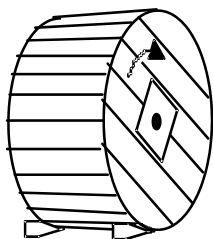
90	Najmanjši radij kabla ob priključnem mestu	m		
91	Dovoljena natezna sila ob montaži:			
	- na vodniku	N		
	- na kabelski vlečni sponki	N		

B.2 KABELSKI KONČNIK ZA ZUNANJO MONTAŽO

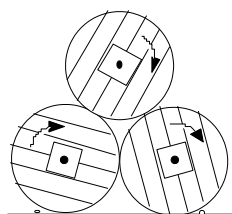
Tabela 23: Primer tabele tehničnih podatkov za VN končnike za zunanjo montažo v postopku naročanja

Poz	Opis	Enota	Zahtevana vrednost	Ponudbena vrednost
SPLOŠNI PODATKI				
1	Proizvajalec			
2	Tipska oznaka			
3	Nazivna napetost:			
	- med vodnikom in ozemljenimi deli	kV	64	
	- med dvema faznima vodnikoma (U)	kV	110	
	- največja obratovalna napetost (Um)	kV	123	
4	Impulzna vzdržna napetost 1,2/50 ms pri 20°C:			
	- pozitivni val	kV	550	
	- negativni val	kV	550	
5	Vzdržna napetost industrijske (omrežne) frekvence	kV	230	
6	Nazivna frekvenca	Hz	50	
7	Nazivni tok kratkega stika (1 s)	kA	40	
8	Nazivni udarni tok kratkega stika	kA	100	
9	Preizkusi parcialnih praznjenj pri 2,5 U ₀	pC	≤2	
KONSTRUKCIJSKE ZNAČILNOSTI				
10	Maksimalna prelomna sila	N		
11	Maksimalna torzijska sila	N		
12	Izolacijski material			
13	Primarni priključki			
DIMENZIJE IN TEŽA				
14	Maksimalni premer	mm		
15	Plazilna razdalja	mm	min. 3075	
16	Skupna masa ene glave	kg		
17	Višina	mm		
18	Širina	mm		
19	Dolžina	mm		

DODATEK C: SKLADIŠČENJE, TRANSPORT ODVIJANJE IN PREVIJANJE



Boben postavimo pokončno in ga z zagozdami pod stranicami bobna utrdimo da se ne premika.

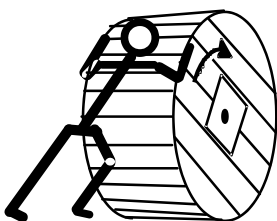


Samo bobni z zaščitnimi deščicami se lahko zlagajo en vrh drugega z naleganjem na stranice bobna.

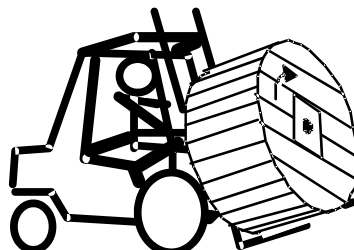


Boben ne sme biti položen vodoravno na stranice

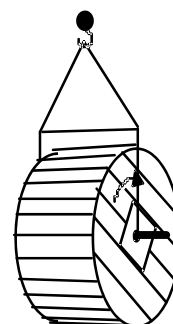
Slika 14: Primer skladiščenja kabla



Premik bobna je mogoč samo v smeri puščice (smeri navijanja kabla)

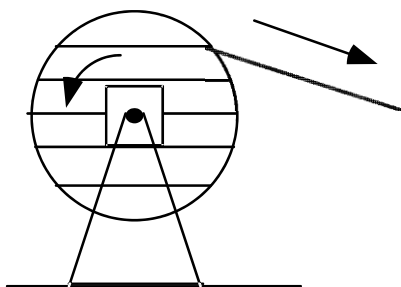


Boben lahko dvignemo z viličarjem ali



avtodvigalom

Slika 15: Primer transporta kabla

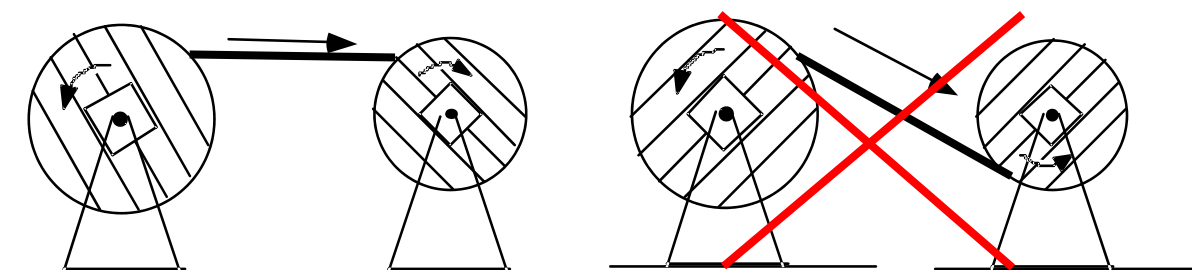


Odvijanje kabla v tej smeri



PREPOVEDANO

Slika 16: Primer odvijanja kabla z bobna



DOVOLJENO

PREPOVEDANO

Slika 17: Primer previjanja kabla iz bobna na boben

DODATEK D: TIPSKE TESTI PO STANDARDU IEC 60840

Tipski test (type test) za ponujeni tip VN 110 kV mora biti izdelan po točkah standarda IEC 60840.

9.0 Rutinski test

9.2 Preskus parcialnega praznjenja (1)

9.3 Napetostni preskus

9.2 Preskus parcialnega praznjenja (2)

9.4 Električni preskus na plašču kabla

10.0 Vzorčni test

10.4 Pregled vodnika

10.5 Meritev električne upornosti vodnika

10.5 Meritev električne upornosti zaslona vodnika

10.6 Meritev debeline izolacije in kovinskega plašča

10.6.2 Meritve na izolaciji kabla

10.6.3 Meritve na plašču kabla

10.8 Meritev zunanjega premera

10.9 Preskus vročih mest na XLPE izolaciji

10.10 Meritev kapacitivnosti

10.14 Preskus komponent kabla na vzdolžni kovinski foliji z kovinskim trakom

10.12 Strelovodni impulzni test ⁽¹⁾

10.13 Preskus vodne prepustnosti kabla ⁽²⁾

10.0 Test za kabelski sistem

12.4.3 Preskus upogibanja kabla $(25x(D+d) + 5\%$ ali $20x(D+d)+5\%$)

12.4.4 Preskus parcialnega praznjenja ST (1) $(1,5 U_0 \text{ Pd nivo} < 5 \text{ pC})$

12.4.5 Preskus tangens delta (U_0 faktor izgub $< 0,001$)

12.4.6 Preskus napetostnega segrevalnega cikla HR ($2U_0$ 20 dni)

12.4.4 Preskus parcialnega praznjenja ST (2) $(1,5 U_0 \text{ Pd nivo} < 5 \text{ pC})$

12.4.4 Preskus parcialnega praznjenja VT (1) $(1,5 U_0 \text{ Pd nivo} < 5 \text{ pC})$

12.4.7 Strelovodni impulzni test VT (BIL 10+/-10- impulzov)

12.4.7 AC napetostni preskus RT $(2,5 U_0$ 15 minut)

12.4.8.1 Pregled kabla in kabelske opreme

12.4.8.2 Preskus kovinske folije ⁽³⁾

12.4.9 Preskus upornosti polprevodnega zaslona kabla

ST= sobna temperatura, VT = visoka temperatura

(1) Uporabljeno samo za kable z izračunano nazivno stresanje vodnika $> 8 \text{ kV/mm}$.

(2) Uporabljeno samo za kable, ki vsebujejo vodno tesnjenje.

(3) Uporabljeno samo za kable z vzdolžno uporabo kovinskega traka ali folije

DODATEK E: PREGLEDI, PREVZEMI IN PREIZKUSI VN KABLOV

Količine materiala in kvaliteta dobavljene opreme se preveri z izvajalcem na deponiji/terenu na podlagi dobavnice. V primeru, da količine in kvaliteta odstopajo od predvidenih, je potrebno odstopanja komisijsko zapisati in overiti s podpisom na relaciji »dobavitelj-izvajalec-nadzor. Med samo montažo opreme izvajalec obvešča naročnika o posameznih fazah del pravočasno tako, da je naročniku omogočen strokovni nadzor med izvajanjem del. Prisotnost naročnika pri pregledih, kontrolah in preizkusih ne zmanjšuje materialne odgovornosti izvajalca o morebitnih pomanjkljivostih ugotovljenih pri strokovno tehničnem pregledu objekta. Izvajalec mora v času gradnje stalno preverjati ali se upoštevajo navodila o varstvu pri delu, preverjati kvaliteto vgrajenih materialov in samo izvedbo vgradnje. Izvajalec dokazuje s predpisanimi izjavami oziroma meritvami.

Po končanih delih na objektu naročnik izvede strokovni tehnični pregled na osnovi pisnega obvestila izvajalca, da je objekt pripravljen za strokovno tehnični pregled (STP) in pripravljen za izvedbo zagonskih in funkcionalnih preizkusov.

Izvajalec del mora po končanju del izročiti naslednjo dokumentacijo:

- Knjigo obračunskih izmer,
- Gradbeno montažni dnevnik z vpisom vseh popravkov in sprememb potrjenimi s strani pooblaščenega nadzornika,
- 1 × izvod projekta za izvedbo z natančno vpisanimi popravki, dopolnitvami in spremembami,
- 1 × izvod delnega dokazila zanesljivosti objekta,
- Ostale podloge za izdelavo projekta izvedenih del (kontrole povosov, varnostnih višin, meritve optičnih vlaken..),
- Izjave po ZGO-1 in podzakonskih aktih,
- Tehnična dokumentacija opredeljena s tem razpisom.

Posamezne faze izvedbe del in pogoji za pristop k prevzemu, izdana potrdila prevzema so navedeni v spodnji tabeli. V primeru daljših izvedbenih rokov se naročnik in izvajalec del dogovorita naknadno.

Tabela 24: Faze izvedbe del in pogoji za pristop k prevzemu

FAZA IZVEDBE DEL	POGOJ ZA PRISTOP K PREVZEMU	ROK ZA IZVEDBO PREVZEMA S STRANI PREDSTAVNIKA NAROČNIKA
Predaja tehnične dokumentacije	Skladno z razpisno dokumentacijo	15 delovnih dni po prejemu tehnične dokumentacije
Prevzem kabla, opreme	Skladno z razpisno dokumentacijo	10 delovnih dni po prejemu končnega poročila
Gradbena dela pred polaganjem kabla	Pisno obvestilo o izvedenem izkopu, podvrtavanje, položitev posteljice	2 delovna dneva po izvedbi, pisnem obvestilu
Polaganje kablovoda	Pisno obvestilo o izvedenem delu	2 delovna dneva po izvedbi, pisnem obvestilu
Gradbena dela po polaganju kabla, končna ureditev	Predana tehnična dokumentacija za dostavljene elemente, Predani certifikati in atesti, skladno z razpisno dokumentacijo	2 delovna dneva po izvedbi, pisnem obvestilu
Montaža kabelskih glav, omarice in ostale opreme na steber	Pisno obvestilo o izvedenem delu	2 delovna dneva po izvedbi, pisnem obvestilu
Preizkusi kablovoda	Pisno obvestilo o predvidenem tednu 5 dni pred izvedbo, Izvedena in zaključena montaža kablovoda, Izdelana in s strani Naročnika potrjena izvedbena dokumentacija, Predana poročila o preskusu.	10 delovnih dni po prejetju poročil
Izdelava delnega dokazila o zanesljivosti objekta	S strani naročnika prevzete vse faze izvedbe del ter prevzet Projekt izvedenih del in ostala tehnična dokumentacija	5 delovnih dni po prejetju dokazila

DODATEK F: PRIKAZ POLAGANJA ENOŽILNEGA 110 KV KABLA PO FAZAH



Slika 18: Priprava kablanskega jarka (izkop, polaganje geotekstila, priprava posteljice)



Slika 19: Priprava na vleko kabla (razporejanje valjčkov, vlečne vrvi, natikanje vlečene nogavice, gibljivi vezni člen)



Slika 20: Vleka kabla (postavitev bobna, vlek v krivini, uvlek v kabelsko kanalizacijo pri križanju ceste)



Slika 21: Potisno vlečni stroj s hidravličnim pogonskim agregatom



Slika 22: Valjčna uvodnica pri prehodu v cev kabelske kanalizacije in valjčna proga za vleko kabla



Slika 23: Zasip kabla



Slika 24: Strojni zasip in polaganje PEHD dvojčka in ozemljilnega kabla



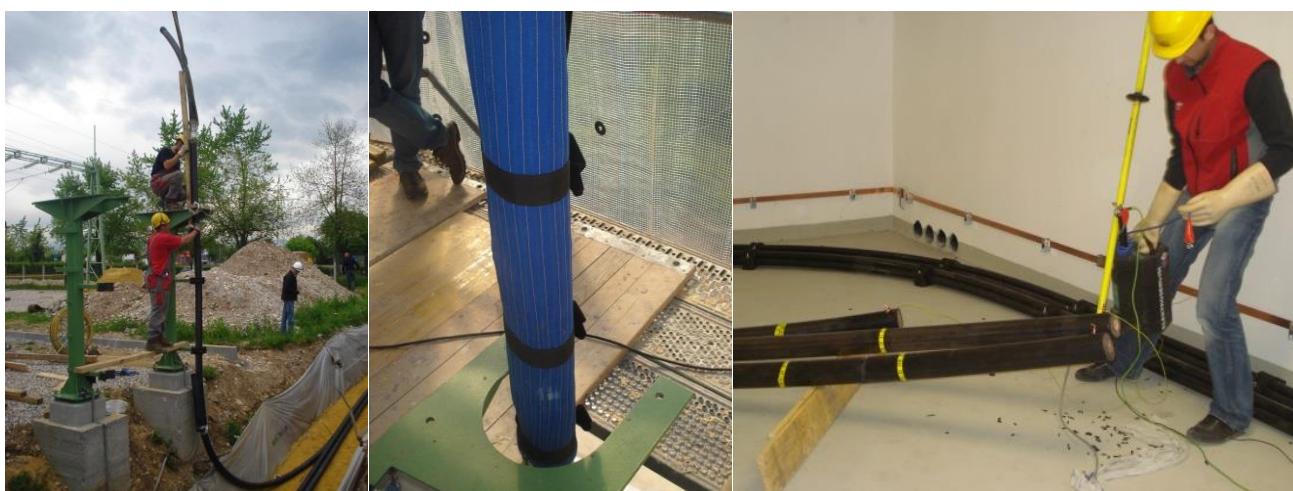
Slika 25: Betonske zaščitne plošče in merilno mesto



Slika 26: Vlečna vitla in stojke za kabelski boben

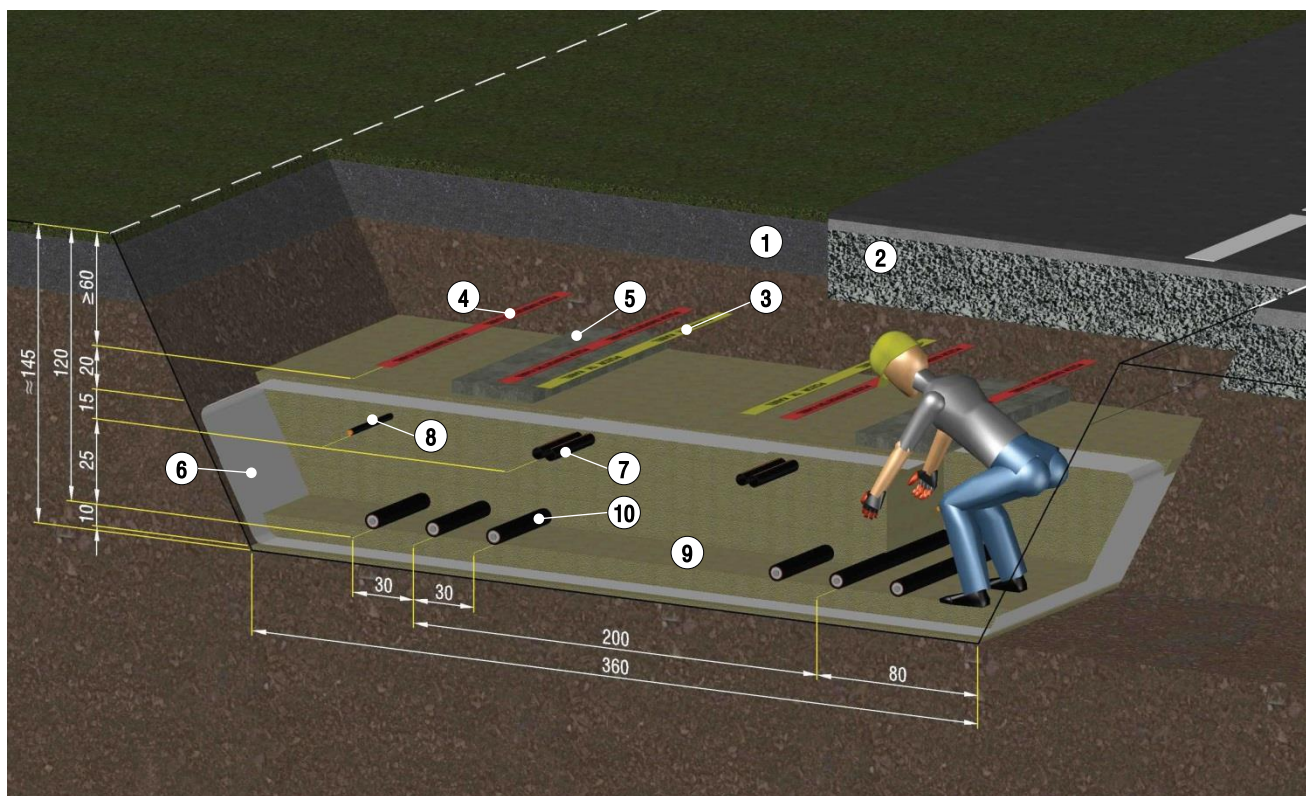


Slika 27: Izvedba kabelskih končnikov v GIS stikališče



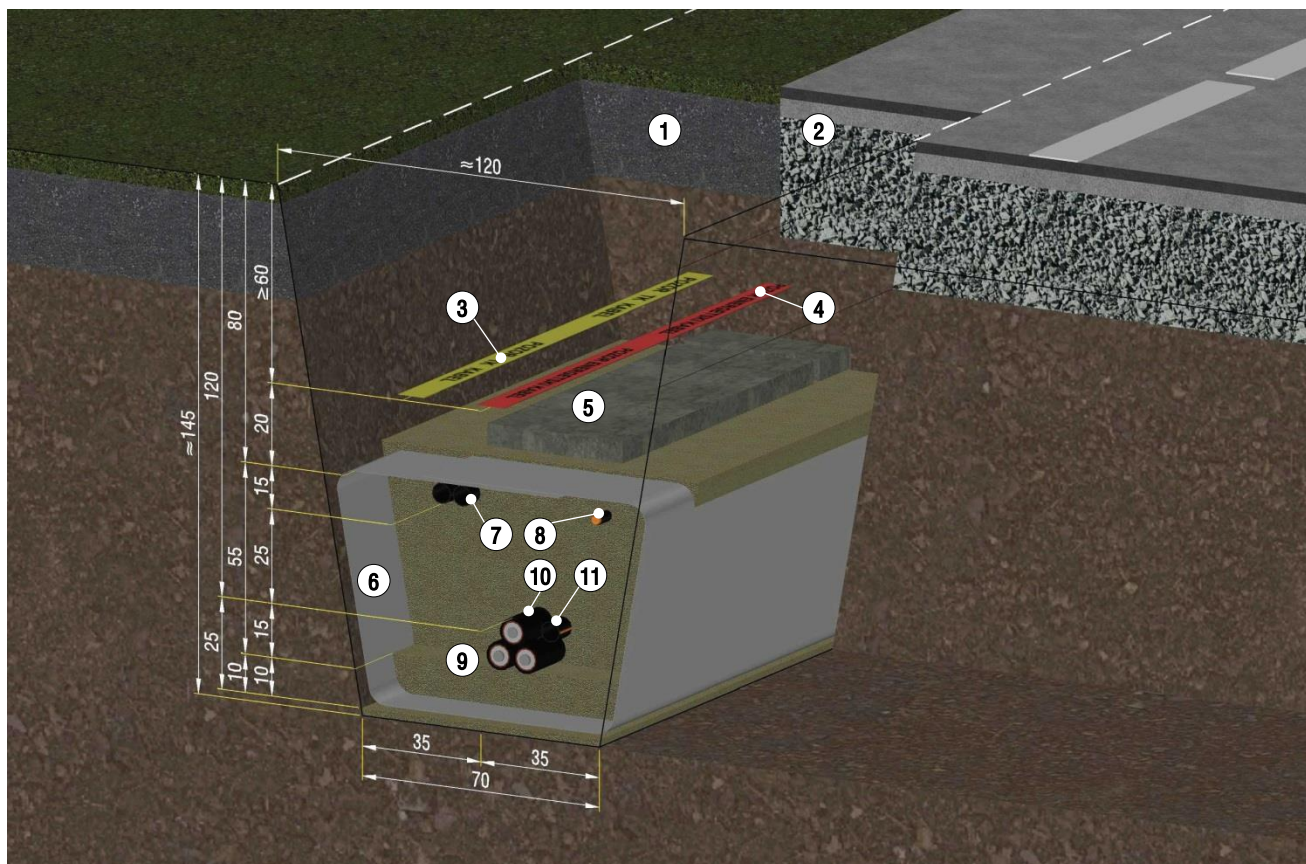
Slika 28: Izvedba zunanjih kabelskih končnikov s predgretjem kabla in meritvami

PROFIL DVOSISTEMSKEGA 110 KV KABLOVODA PRI POLAGANJU V LINIJO DIREKTNO V KABELSKI JAREK



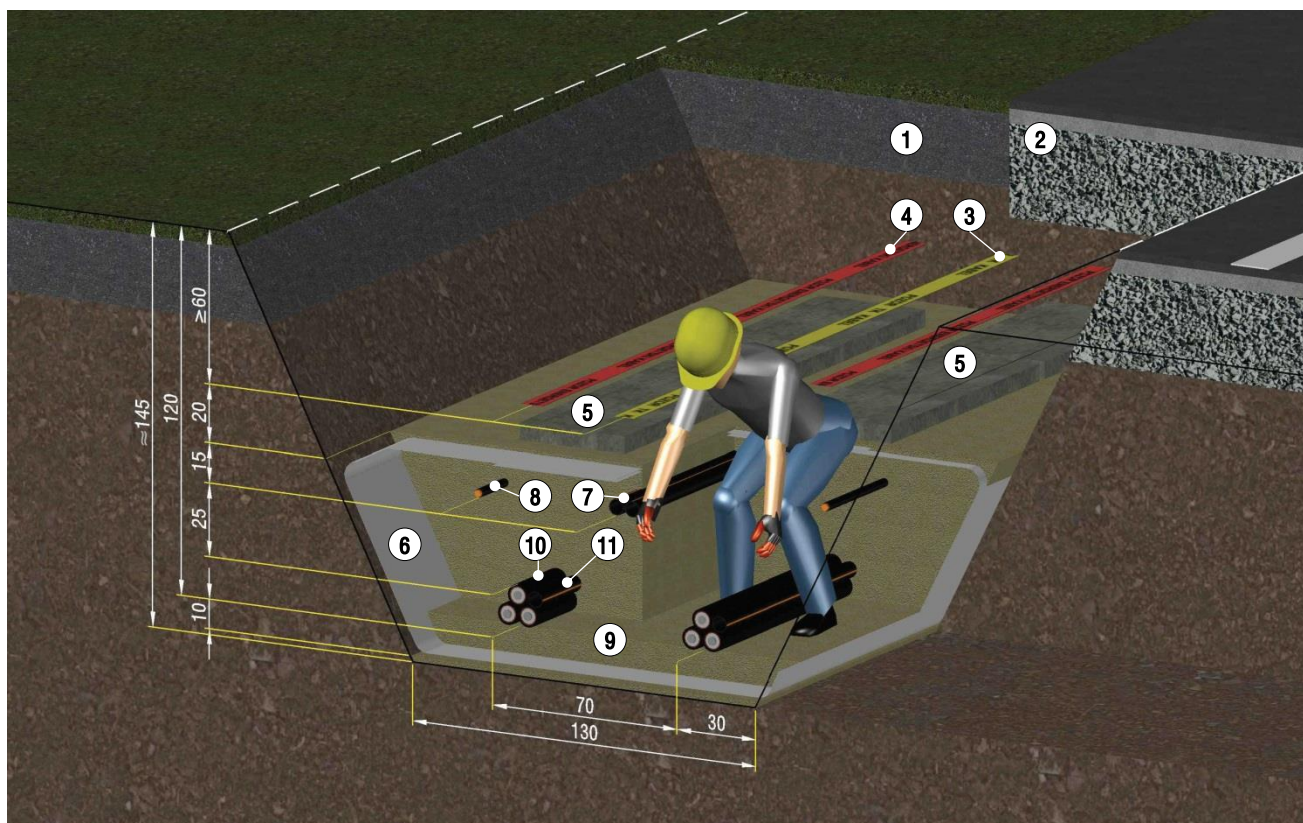
- 1- obstoječa struktura - HUMUS
- 2- obstoječa struktura – CESTNO TELO
- 3- opozorilni trak TK
- 4- opozorilni trak ENERGETSKI KABEL
- 5- AB zaščitne plošče 100×40×6 cm
- 6- geotekstil 150g/m²
- 7- PE cevi za TK kable 2×DN50 mm (dvojček)
- 8- ozemljilni kabel (določen z izračunom)
- 9- peščena posteljica (kremenčev pesek 0-4 mm)
- 10- 110 kV energetski kabel položen v LINIJO

PROFIL ENOSISTEMSKEGA 110 KV KABLOVODA PRI POLAGANJU V TRIKOT DIREKTNO V KABELSKI JAREK



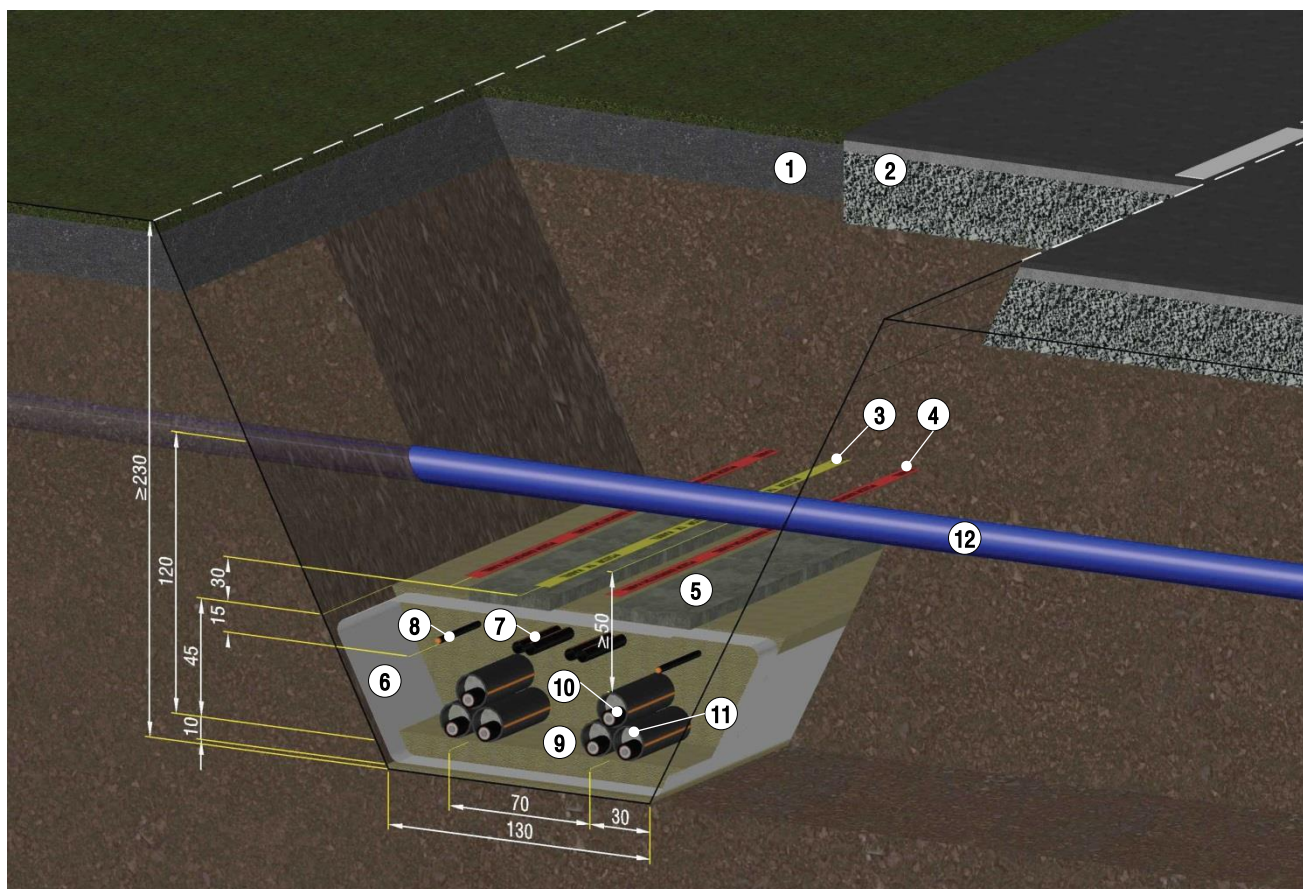
- 1- obstoječa struktura - HUMUS
- 2- obstoječa struktura – CESTNO TELO
- 3- opozorilni trak TK
- 4- opozorilni trak ENERGETSKI KABEL
- 5- AB zaščitne plošče 100×40×6 cm
- 6- geotekstil 150g/m²
- 7- PE cevi za TK kable 2×DN50 mm (dvojček)
- 8- ozemljilni kabel (določen z izračunom)
- 9- peščena posteljica (kremenčev pesek 0-4 mm)
- 10- 110 kV energetski kabel položen v TRIKOT
- 11- PE cevi DN50 mm za temperaturni monitoring

PROFIL DVOSISTEMSKEGA 110 KV KABLOVODA PRI POLAGANJU V TRIKOT DIREKTNO V KABELSKI JAREK



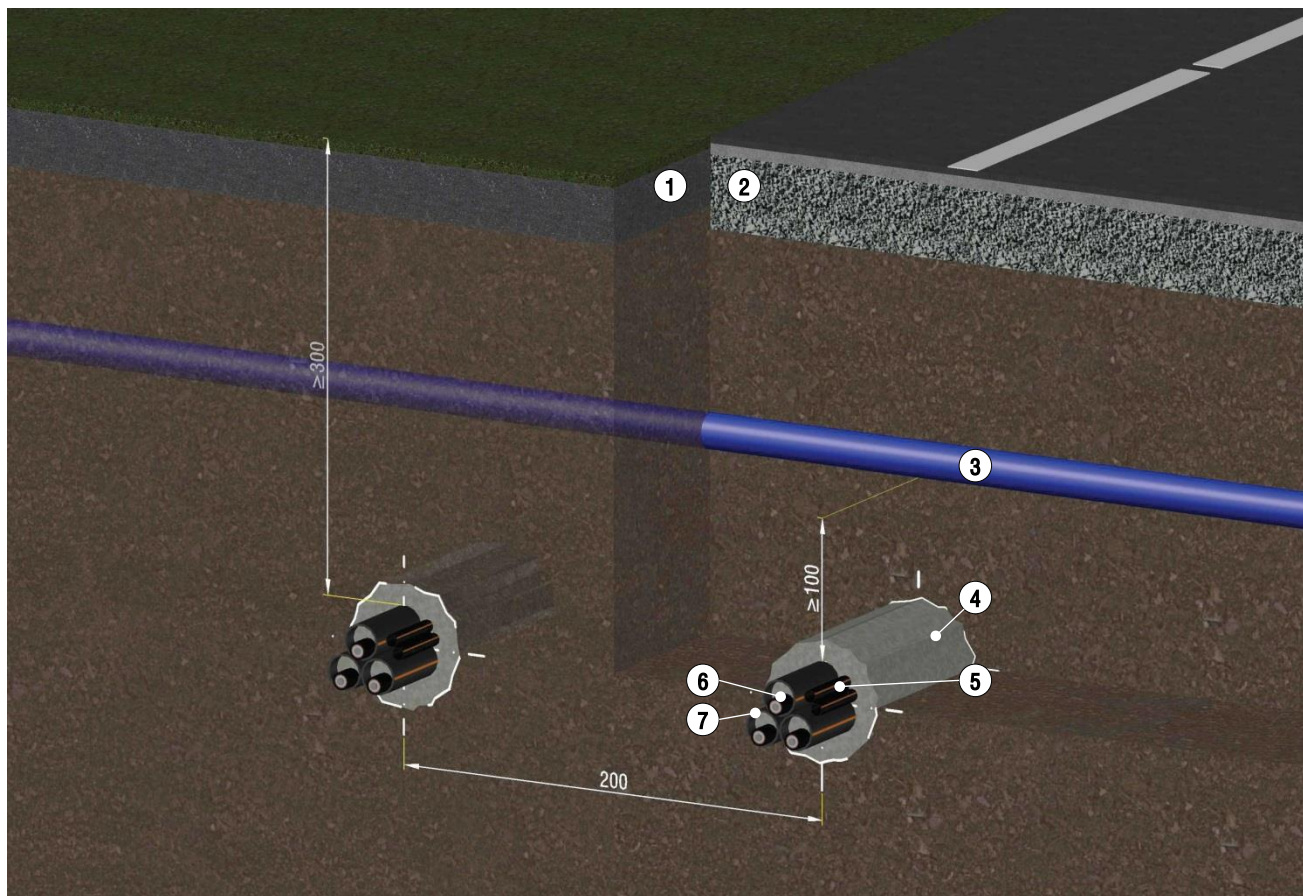
- 1- obstoječa struktura - HUMUS
- 2- obstoječa struktura – CESTNO TELO
- 3- opozorilni trak TK
- 4- opozorilni trak ENERGETSKI KABEL
- 5- AB zaščitne plošče 100×40×6 cm
- 6- geotekstil 150g/m²
- 7- PE cevi za TK kable 2×DN50 mm (dvojček)
- 8- ozemljilni kabel (določen z izračunom)
- 9- peščena posteljica (kremenčev pesek 0-4 mm)
- 10-110 kV energetski kabel položen v TRIKOT
- 11-PE cevi DN50 mm za temperaturni monitoring

PROFIL DVOSISTEMSKEGA 110 KV KABLOVODA OB POLAGANJU V TRIKOT V KABELSKO KANALIZACIJO PRI KRIŽANJU INFRASTR.



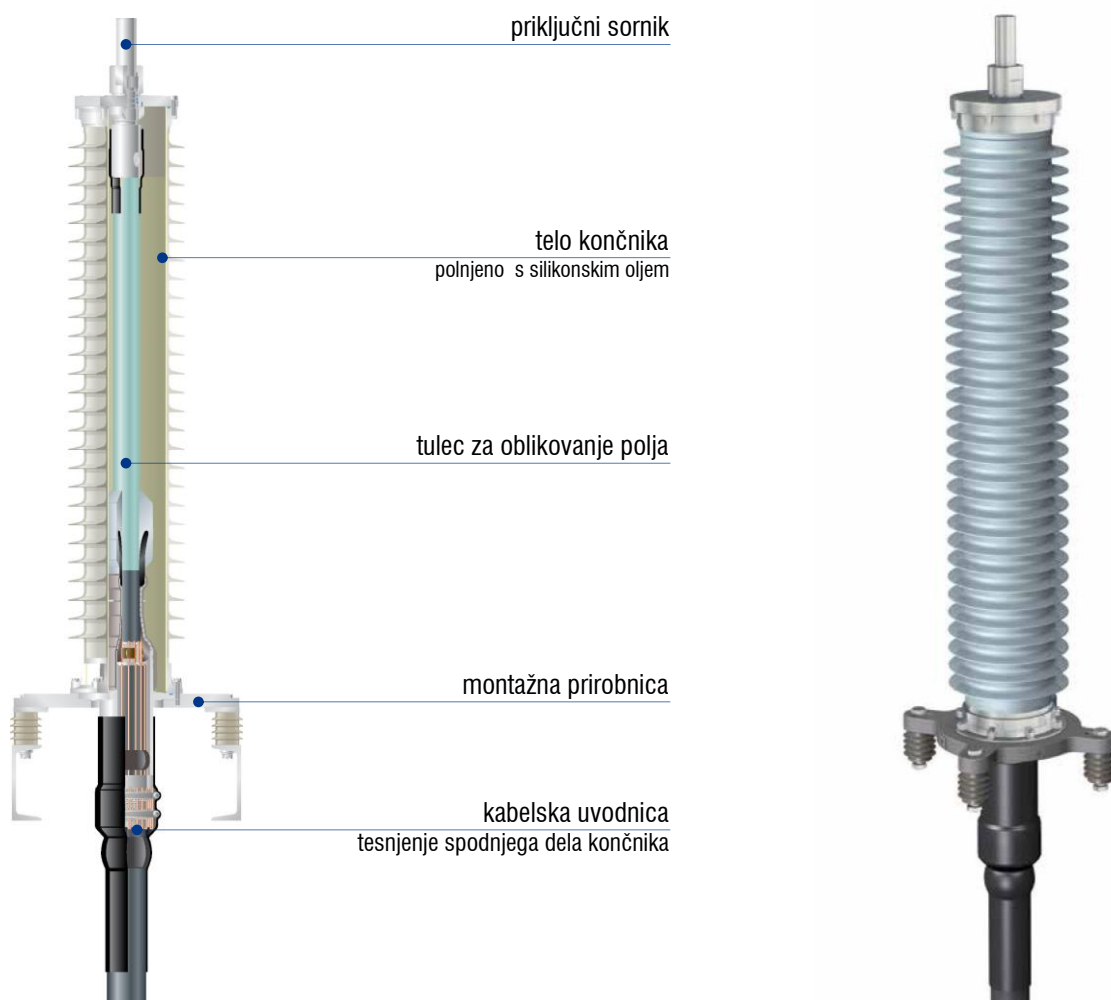
- 1- obstoječa struktura - HUMUS
- 2- obstoječa struktura – CESTNO TELO
- 3- opozorilni trak TK
- 4- opozorilni trak ENERGETSKI KABEL
- 5- AB zaščitne plošče 100×40×6 cm
- 6- geotekstil 150g/m²
- 7- PE cevi za TK kable 2×DN50 mm (dvojček)
- 8- ozemljilni kabel (določen z izračunom)
- 9- peščena posteljica (kremenčev pesek 0-4 mm)
- 10- 110 kV energetski kabel uvlečen v cevi
- 11- PE cevi DN160×9.5 mm (po uvlečenju kablov, zalite z bentonitom)
- 12- vod komunalne infrastrukture

PROFIL DVOSISTEMSKEGA 110 KV KABLOVODA PRI PODVRTAVANJU IN ODDALJENOST OD OSTALE INFRASTRUKTURE.

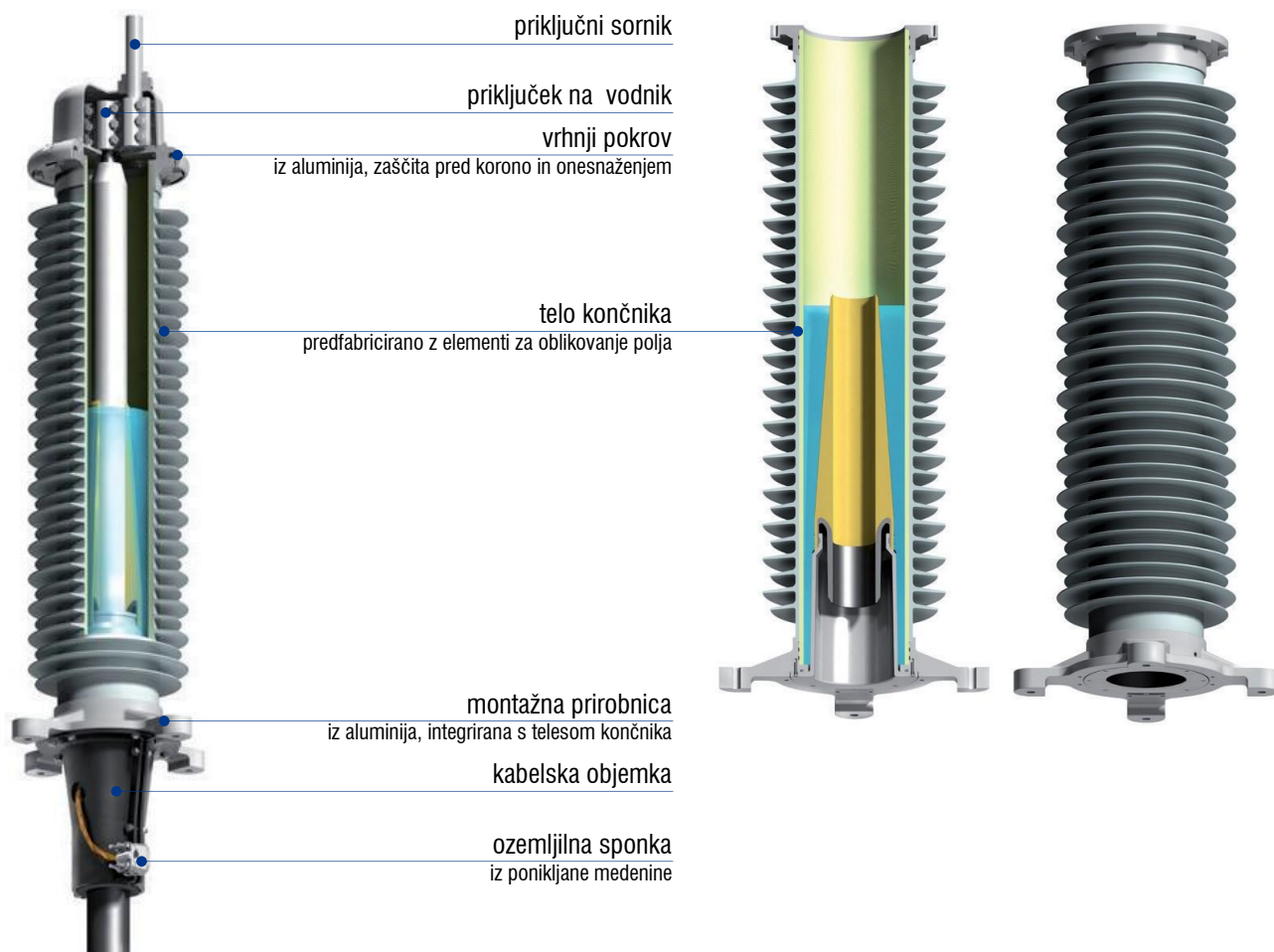


- 1- obstoječa struktura - HUMUS
- 2- obstoječa struktura – CESTNO TELO
- 3- vod komunalne infrastrukture
- 4- vrtina podvrtavanja zalita z bentonitom (stabilizacija vrtine)
- 5- PE cevi za TK kable 2×DN50 mm (dvojček)
- 6- 110 kV energetski kabel uvlečen v cevi
- 7- PE cevi DN160×9.5 mm (po uvlečenju kablov zalite z bentonitom)

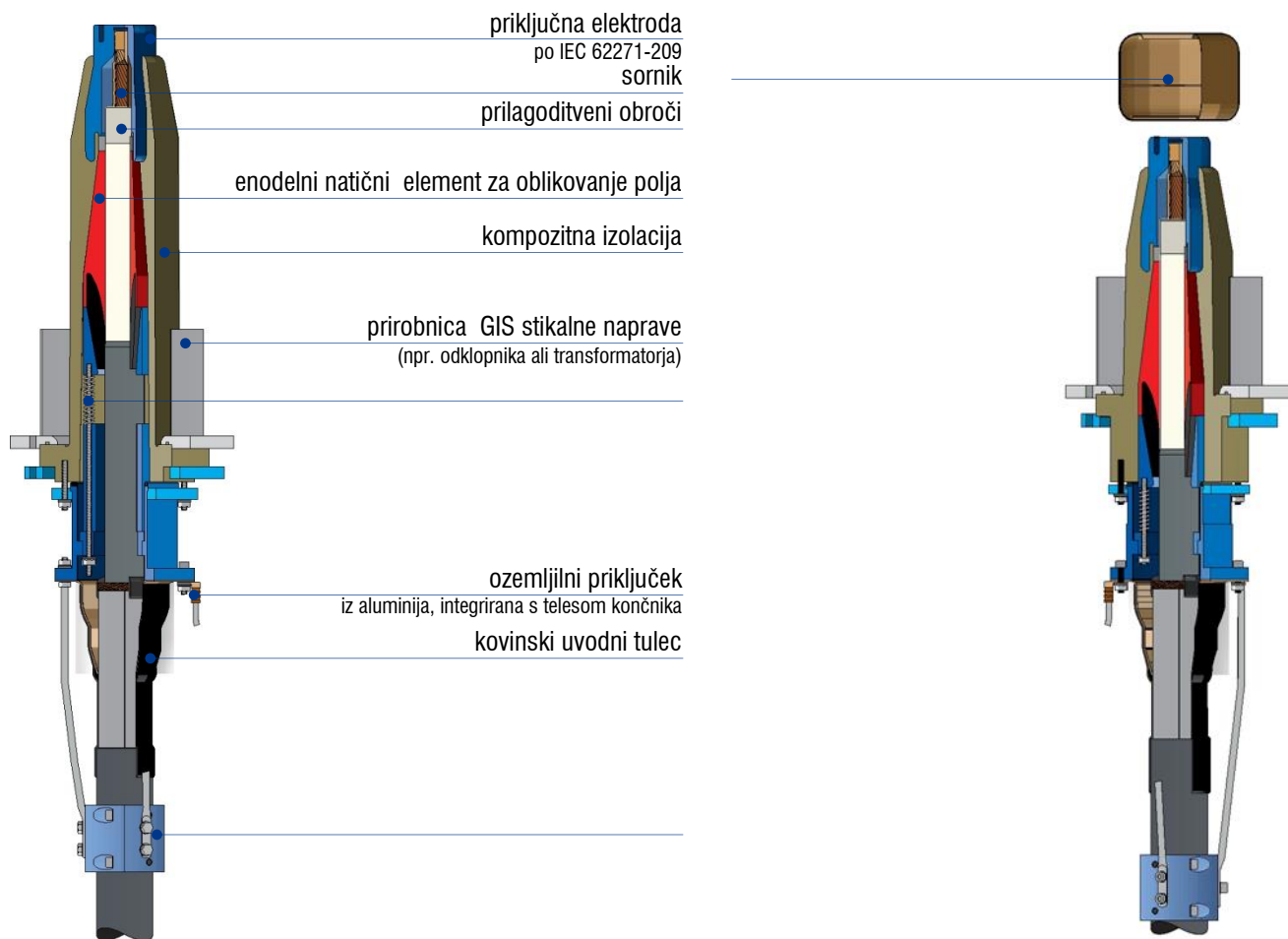
DODATEK H: PRIMERI KABELSKJE OPREME



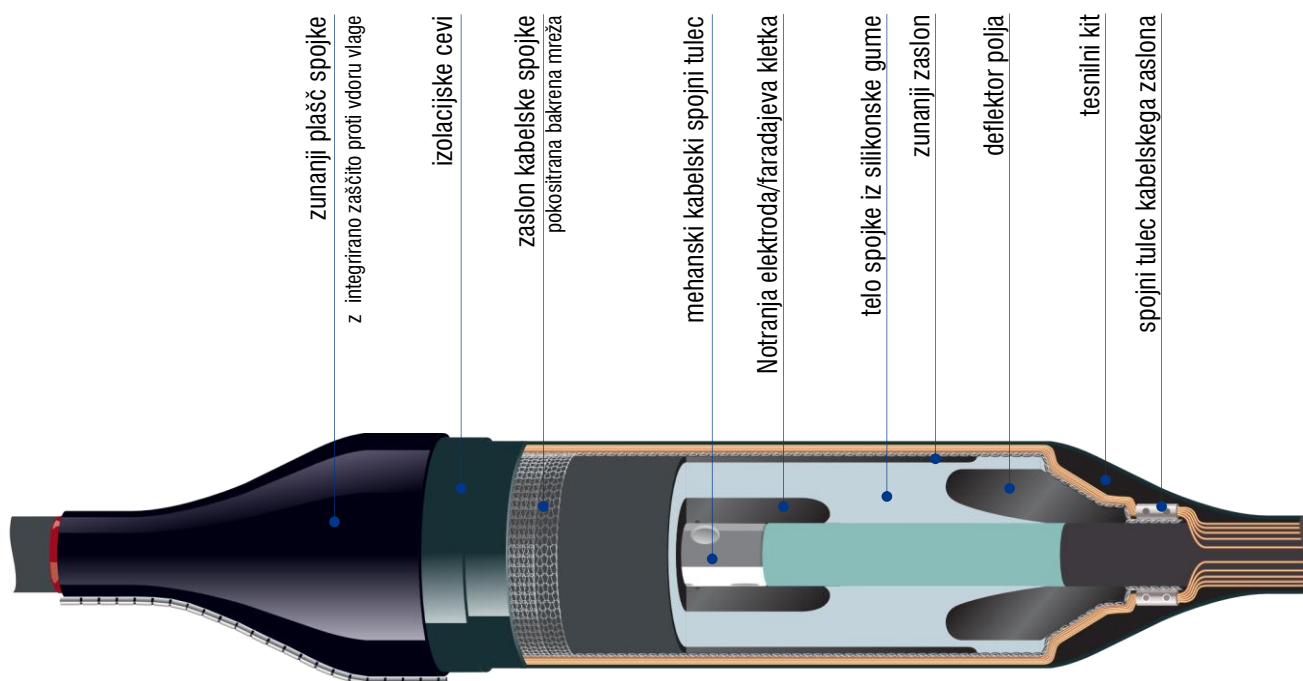
Slika 29: Kompozitni samonosilni kabelski končnik za zunanjo montažo napolnjen s silikonskim oljem (sliki proizvajalca Raychem)



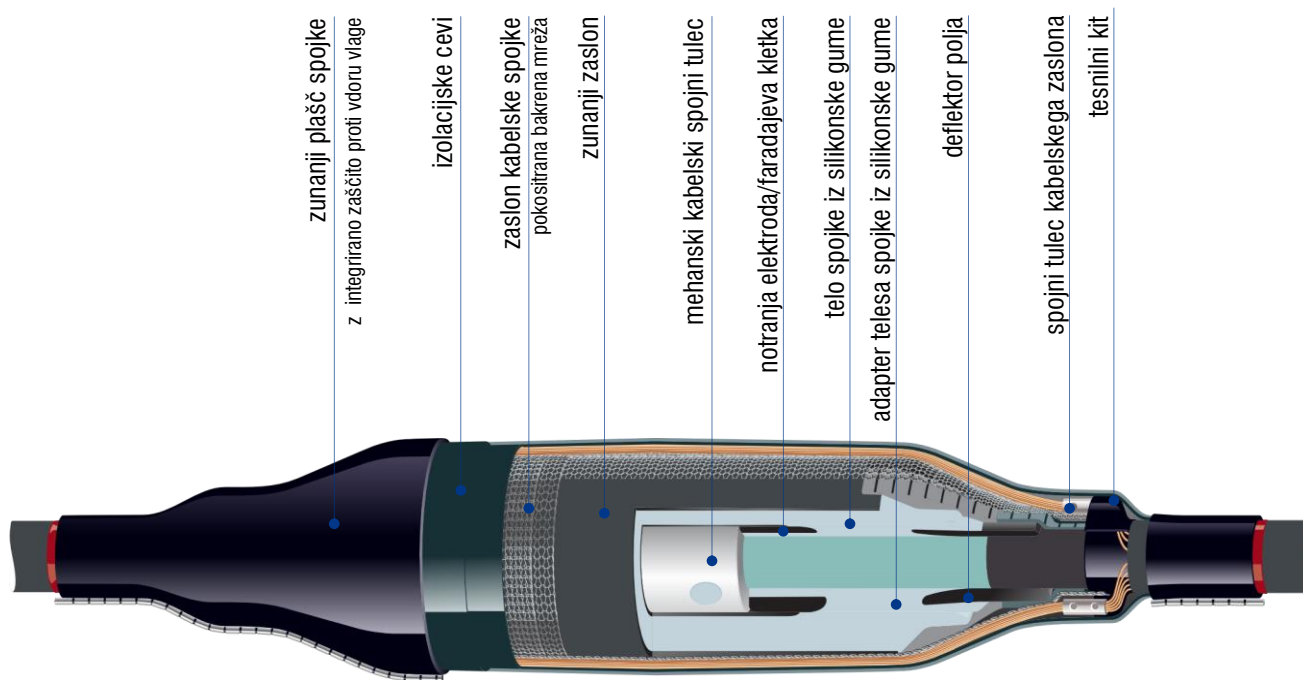
Slika 30: Kompozitni samonosilni kabelski končnik za zunanjo montažo – suha izvedba
(slike proizvajalca ABB)



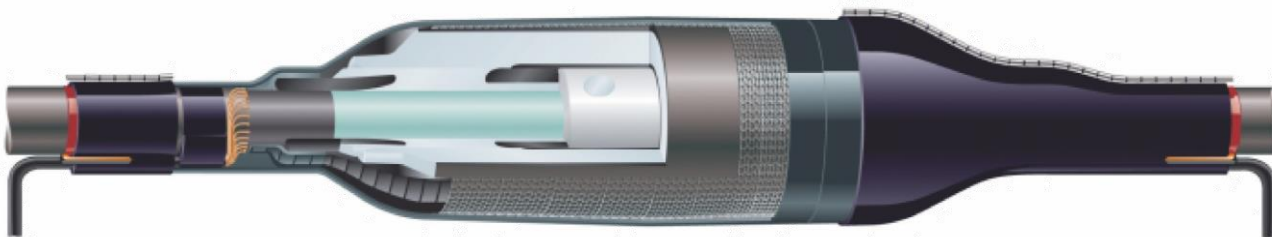
Slika 31: Kabelski konektorji za GIS naprave (levo-daljši: za napolnjene s tekočino, desno-krajši: za suho izvedbo)
(sliki proizvajalca 3M)



Slika 32: Prefabricirana enodelna kabelska spojka
(slika proizvajalca Raychem)



Slika 33: Sestavljiva večdelna kabelska spojka
(slika proizvajalca Raychem)



Slika 34: Primer sestavljive večdelne kableske spojke s simetričnimi priključki za prepletanje zaslonov
(slika proizvajalca Raychem)



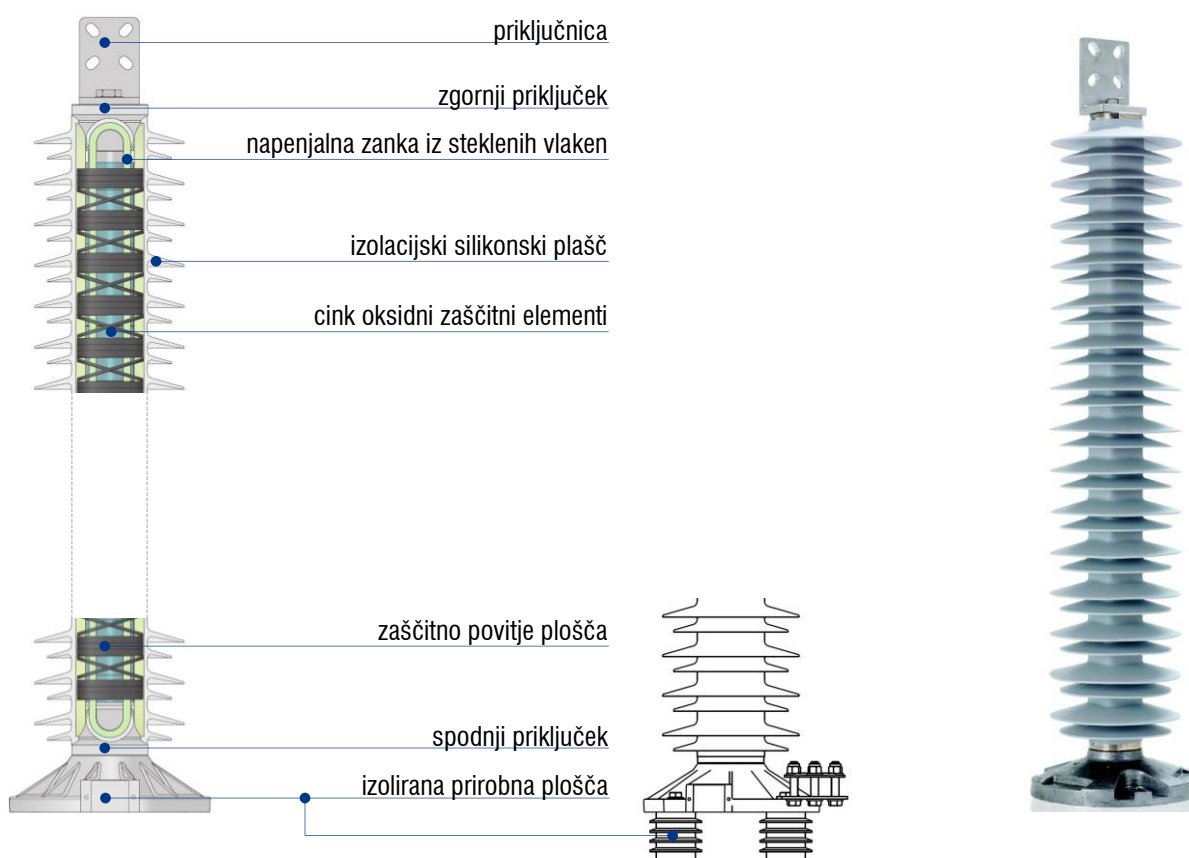
Slika 35: Primer predfabricirane kableske spojke s koaksialnim priključkom za prepletanje zaslonov
(slika proizvajalca ABB)



Slika 36: Primer izdelave kableske spojke s prepletanjem zaslonov



Slika 37: Primer "cross - bonding" omaric za prepletanje simetričnih priključkov ekranov (levo) in koaksialnih (desno)
(slike proizvajalca Raychem)



Slika 38: Primer izgleda zunanjega odvodnika prenapetosti
(slike proizvajalca ABB)



Slika 39: Omarica z odvodniki prenapetosti na kabelskem zaslonu



Slika 40: Vodenje VN kablov v kabelskem prostoru (levo) in kabelska uvodnica na prehodu v kabelski prostor (desno)