

Техничка препорука бр.3
Основни технички захтеви
за избор и монтажу енергетских каблова и
кабловског прибора у електродистрибутивним
мрежама 1 kV, 10 kV, 20 kV, 35 kV и 110 kV

V издање
новембар 2012.

Овим престаје да важи ТП-3 од септембра 2000. године

ИЗДАВАЧ I-ог издања (новембар 1972.), II-ог издања (децембар 1978.) и
III-ог издања (октобар 1991.):

ПОСЛОВНО УДРУЖЕЊЕ ЕЛЕКТРОДИСТРИБУЦИЈЕ СРБИЈЕ

ИЗДАВАЧ IV-ог издања (септембар 2000.):

ЕПС - ДИРЕКЦИЈА ЗА ДИСТРИБУЦИЈУ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ

ИЗДАВАЧ
V-ог издања:

**ЈП ЕПС – ДИРЕКЦИЈА ЗА ДИСТРИБУЦИЈУ
ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ
БЕОГРАД, Војводе Степе 412**

Техничко уређење:

Т. Бојковић и мр А. Поповац Дамљановић

Обрада цртежа:

мр А. Поповац Дамљановић и В. Крстић

Коректура:

Ф. Лончаревић

Напомене уз V-о издање ТП-3:

V-о издање ТП-3 се разликује од IV-ог издања од септембра 2000. године по томе што су унете знатне измене и допуне у вези избора типова, полагања и испитивања СН каблова, као и у вези спојног прибора, дозвољених струјних оптерећења и коришћењу каблова у систему уземљења трансформаторских станица.

Примена ове препоруке је сада проширена и на избор, полагање, прорачун дозвољених струјних оптерећења, као и испитивање енергетских каблова који се користе у електро-дистрибутивној мрежи 110 kV.

Чланови Радне групе указују на велики допринос г. Борислава Лалевића у изради ранијих издања ТП-3 и решавању значајних проблема примене енергетских каблова у електро-дистрибутивним мрежама.

новембар 2012.

Радна група

Из архиве: IV издање

На основу предлога Радне групе, Технички савет ЕПС - Дирекција за дистрибуцију електричне енергије Србије је на 160.-ом састанку који је одржан 12.9.2000. године у Сурдулици донео одлуку: усваја се

**ТЕХНИЧКА ПРЕПОРУКА бр. 3:
Избор и полагање енергетских каблова
у електродистрибутивним мрежама
1 kV, 10 kV, 20 kV и 35 kV**

IV издање

Предложена решења су у складу са важећим прописима и стандардима и задовољавају захтеве сигурности, функционалности и економичности.

Чланови Техничког савета:

1. мр Миладин Танасковић, Председник, "Електродистрибуција" Београд
2. др Јосиф Спирић, "Електродистрибуција" Лесковац
3. мр Зоран Ристановић, "Електровојводина" Нови Сад
4. Драган Балкоски, ЕПС Београд
5. Милосав Филиповић, "Електросрбија" Краљево
6. Миодраг Павковић, "Електротимок" Зајечар
7. Миодраг Миљковић, "Електродистрибуција" Врање
8. Миодраг Симић, "Електродистрибуција" Београд
9. Миодраг Анђелковић, "Електрокосмет" Приштина
10. Миодраг Ристић, "Електроморава" Пожаревац
11. Митар Алексић, "Електрошумадија" Крагујевац
12. Драгољуб Здравковић, "Електродистрибуција" Ниш
13. Жарко Мићин, "Електровојводина" Нови Сад
14. Александар Петровић, "Електросрбија" Ваљево
15. Федора Лончаревић, ЕПС-Дирекција за дистрибуцију Београд
16. Слободан Кујовић, ЕПС-Дирекција за дистрибуцију Београд.

Чланови Радне групе:

1. др Стојан Николајевић, "Електродистрибуција" Београд
2. Звонко Митровић, "Фабрика каблова" Јагодина
3. Хана Албахари Жиграи, "Новкабл" Нови Сад
4. Бранислав Стевановић, "Електросрбија" Јагодина
5. Александар Могин, "Електровојводина" Нови Сад
6. Томислав Бојковић, ЕПС - Дирекција за дистрибуцију.

септембар 2000.

На основу предлога Радне групе, Технички савет ЈП ЕПС - Дирекције за дистрибуцију електричне енергије је на 196. састанку, који је одржан 15.11.2012. у Врњачкој Бањи, донео одлуку: **усваја се**

ТЕХНИЧКА ПРЕПОРУКА бр.3:

Основни технички захтеви за избор и монтажу енергетских каблова и кабловског прибора у електродистрибутивним мрежама 1 kV, 10 kV, 20 kV, 35 kV и 110 kV

V издање

Предложена решења су у складу са важећим техничким прописима и стандардима и задовољавају захтеве сигурности, функционалности и економичности.

Чланови Техничког савета:

- 1 Мирослав Босанчић, председник, ПД "Електродистрибуција Београд" д.о.о. Београд
- 2 Павел Зима, ПД "Електровојводина" д.о.о. Нови Сад
- 3 Саша Стефановић, ПД "Електросрбија" д.о.о. Краљево
- 4 мр Малиша Божић, ПД ЕД "Југоисток" д.о.о. Ниш
- 5 мр Миодраг Ристић, ПД ЕД "Центар" д.о.о. Крагујевац
- 6 Слободан Кујовић, ЈП ЕПС - Дирекција за стратегију и инвестиције
- 7 Миодраг Сретовић, ЈП ЕПС - Дирекција за дистрибуцију, Београд

Чланови Радне групе:

- 1 Федора Лончаревић, ЕПС-Дирекција за дистрибуцију Београд
- 2 мр Александра Поповац Дамљановић, ПД "Електродистрибуција" д.о.о. Београд
- 3 Александар Могин, ПД "Електровојводина" д.о.о. Нови Сад
- 4 Душан Мајсторовић, ПД "Електросрбија" д.о.о. Краљево
- 5 Драган Ђорић, ПД "Југоисток" д.о.о. Ниш
- 6 Иван Савчић, ПД "Центар" д.о.о. Крагујевац
- 7 Милутин Средојевић, ЕИ "Никола Тесла" Београд
- 8 Звонко Митровић, Холдинг "Каблови" Јагодина
- 9 Томислав Бојковић, пензионер - сарадник ЈП ЕПС - Дирекције за дистрибуцију електричне енергије

***Напомена:** Прорачун дозвољених струјних оптерећења кабловског вода 110 kV у поглављу 24 извео: др Миладин Танасковић, ПД "Електродистрибуција" д.о.о. Београд.*

новембар 2012.

1 ОПСЕГ ВАЖЕЊА И НАМЕНА

- 1.1 **Ова препорука се односи на избор и монтажу подземних енергетских каблова и кабловског прибора** који се користе у електродистрибутивним мрежама Србије називних напона 1 kV, 10 kV, 20 kV, 35 kV и 110 kV.
Ова препорука се не односи на избор каблова посебне намене (каблови отпорни на горење, рударски каблови итд.) и на полагање каблова у објектима, као: по зидовима, на полицама, у каналима, у подземним етажама зграда и гаража итд.
Избор и полагање надземних енергетских каблова (самоносећи кабловски снопови) врши се према ТП-8 ЕД Србије.
- 1.2 Ова препорука је усаглашена са важећим техничким прописима и стандардима, као и са техничким препорукама ЕД Србије.
- 1.3 Ова препорука треба да:
- одреди основне погонске и амбијентне услове у којима ради енергетски кабл;
 - изврши типизацију основних конструкција енергетских каблова по напонским нивоима, које највише одговарају условима рада и експлоатације електродистрибутивних мрежа;
 - изврши типизацију пресека проводника и електричне заштите;
 - препоручи основне начине полагања енергетских каблова, као и посебне услове полагања у специјалним условима: укрштање са путевима и железницом, полагање преко мостова, укрштање и паралелно вођење са телекомуникационим водовима, топловодом, водоводом и другим комуналним инсталацијама;
 - препоручи начине спајања проводника и израду кабловских спојница и завршница;
 - препоручи поступке испитивања енергетских каблова;
 - усвоји (прорачуна) дозвољена оптерећења (струја, снага) кабловских водова;
 - препоручи начин коришћења енергетских каблова у систему уземљења трансформаторских станица.

2 ТЕРМИНИ И ДЕФИНИЦИЈЕ

- 2.1 **Кабловски вод:** енергетски кабл који је положен у земљу и са изведеним кабловским спојницама и завршницама служи за пренос и развод електричне енергије.
- 2.2 **Кабл (енергетски кабл):** део кабловског вода који се састоји од једне или више жила и одговарајућих заштитних слојева.
- 2.3 **Кабловски прибор:** део кабловског вода који служи за настављање кабла (кабловска спојница) и за затварање крајева кабла (кабловска завршница - глава).
- 2.4 **Проводник:** метални део кабла намењен провођењу струје.
- 2.5 **Жила:** део кабла који се састоји од проводника, изолације и слабопроводних слојева ако постоје.
- 2.6 **Језгро кабла:** скуп поужених жила, са одговарајућом испуном ако постоји.
- 2.7 **Испуна:** елемент кабла којим се испуњава међупростор између жила да би се добио кружни пресек кабла. Ако је испуна начињена од слабопроводног материјала, она служи као проводна веза између електричне заштите и слабопроводних слојева око жила кабла.
- 2.8 **Арматура:** слој од металних трака или жица који штити кабл од прекомерних механичких напрезања и оштећења кабла.

- 2.9 **Плашт:** заштитни слој од поливинилхлорида (PVC), полиетилена (PE) или олова који штити елементе кабла од влаге и хемијских утицаја, а у мањој мери и од механичких оштећења.
- 2.10 **Слабопроводни слој (екран кабла):** слој који се поставља испод изолације и изнад изолације и служи за радијално обликовање и ограничење електричног поља.
- 2.11 **Електрична заштита:** метални слој који служи за ограничење електричног поља, за одвођење струје земљоспоја и заштиту од индиректног додира. Код једножилних каблова електрична заштита се поставља изнад слабопроводног слоја изолације.
- 2.12 **Полимерна изолација:** група материјала за изолацију каблова од поливинилхлорида (PVC), термопластичног полиетилена (PE) и умреженог полиетилена (ХРЕ).
- 2.13 **Кабловски систем:** узорак енергетског кабла са уграђеним префабрикованим кабловским завршницама, ради испитивања.
- 2.14 **Кабловски сноп:** поужени сноп једножилних енергетских каблова.
- 2.15 **Назначене карактеристике:** нумеричке вредности величина (напон, струја итд.) које дефинишу рад кабла у условима који су утврђени у стандардима и служе за испитивање и гаранцију произвођача.

3 ОСНОВНИ ЗАХТЕВИ

- 3.1 Енергетски кабл треба да буде конструисан, произведен и испитан у складу са признатим светским достигнућима и следећим стандардима:
- SRPS N.C0.501: Производња и транспорт каблова, проводника и жица. Термини, дефиниције и ознаке мера;
 - SRPS N.C5.220: Каблови са изолацијом од термопластичних маса на бази поливинилхлорида, са плаштом од поливинилхлорида или термопластичног полиетилена, за напоне до 10 kV;
 - SRPS N.C5.225: Испитивање каблова са изолацијом од термопластичних маса на бази поливинилхлорида, са плаштом од поливинилхлорида или термопластичног полиетилена, за напоне до 10 kV;
 - SRPS N.C5.230: Каблови са изолацијом од термопластичног или умреженог полиетилена, са плаштом од термопластичних или еластомерних маса, за називне напоне од 1 kV до 35 kV;
 - SRPS N.C5.235: Испитивање каблова са изолацијом од термопластичног или умреженог полиетилена, са плаштом од термопластичних или еластомерних маса, за називне напоне од 1 kV до 35 kV;
 - SRPS IEC 60502: Енергетски каблови са екструдованим пуним диелектриком за називне напоне од 1 kV до 30 kV;
 - SRPS N.C5.020/1991: Каблови са изолацијом од импрегнисаног папира и металним плаштом, за називне напоне до 60 kV;
 - SRPS N.C5.025: Испитивање каблова са изолацијом од импрегнисаног папира и металним плаштом, за називне напоне до 60 kV;
 - IEC 60840/2004: Енергетски каблови са полимер изолацијом и прибором за назначене напоне преко 30 kV до 150 kV: Захтеви и методе тестирања;
 - IEC 60287/2006: Енергетски каблови - Прорачун сталног струјног оптерећења (100% фактор оптерећења);
 - IEC 60853-2/1989-07: Енергетски каблови - Прорачун цикличног струјног оптерећења и струјног оптерећења у режиму нужног погона.

4 ПОГОНСКИ И АМБИЈЕНТНИ УСЛОВИ

4.1 Подземни кабловски вод дистрибутивне мреже ради у окружењу у коме се предвиђа нормална изложеност спољашњим утицајима:

- највиша температура ваздуха: + 40 °С;
- најнижа температура ваздуха: - 25 °С;
- средња годишња температура ваздуха + 20 °С;
- референтна температура тла на нивоу полагања кабла меродавна за прорачун назначеног струјног оптерећења: $\theta_{ref} = + 20$ °С;
- услови загађења тла: нису потребне посебне мере заштите.

4.2 У овој препоруци се користе симболи U , U_0 и U_m да одреде вредности назначених напона енергетског кабла и кабловског прибора, табела 4.2.

Назначени напон U [kV] по вредности одговара називном (међуфазном) напону мреже U_{nm} [kV] на коју је прикључен кабл. **Назначени напон U_0 [kV]** се користи за одређивање вредности испитног напона (поглавље 23) и по вредности приближно одговара фазном напону мреже: $U_0 \approx U/\sqrt{3}$. **Назначени напон U_m [kV]** је максимални напон опреме и по вредности одговара највишем погонском напону мреже.

Табела 4.2: Назначени напони енергетског кабла и прибора

U_{nm} [kV]	U [kV]	U_0 [kV]	U_m [kV]
0,4	1	0,6	1,1
10	10	6	12
20	20	12	24
35	35	20	38
110	110	64	123

4.3 Уземљења неутралних тачака дистрибутивних мрежа називних напона 10 kV, 20 kV, 35 kV и 110 kV изводе се према ТП-6 ЕД Србије:

- Неутрална тачка мреже 10 kV и 20 kV** је изолована или уземљена преко нискоомске импедансе.
- Неутрална тачка мреже 35 kV** је уземљена преко нискоомске импедансе.
- Неутрална тачка мреже 110 kV** је директно уземљена, тако да је коефицијент уземљења мањи од 0,8.

Типска вредност струје земљоспоја у уземљеним мрежама 10 kV, 20 kV и 35 kV је **300 А**. У мрежи 20 kV и 35 kV струја земљоспоја може да буде и већа од 300 А, али највише 1000 А.

Типска вредност струје (снаге) једнофазног кратког споја (земљоспоја) у директно уземљеној мрежи 110 kV према којој се врши димензионисање опреме у постројењу на које се прикључује кабловски вод 110 kV износи: **26,5 kA (5000 MVA) или 31,5 kA (6000 MVA)**.

4.4 У дистрибутивним СН мрежама (10 kV, 20 kV и 35 kV) Србије типизирани су следеће вредности максималних дозвољених трофазних симетричних струја (снага) кратких спојева:

- мрежа 10 kV: 14,5 kA (250 MVA);
- мрежа 20 kV: 14,5 kA (500 MVA);
- мрежа 35 kV: 12,5 kA (750 MVA).

4.5 Време трајања кратког споја у СН мрежи износи највише:

- 0,5 s у мрежи 10 kV и 20 kV;
- 1 s у мрежи 35 kV.

Време трајања кратког споја у каблу СН мреже, за струје кратких спојева из тачке 4.4 износи: $t_k \leq 0,15$ s.

4.6 Време трајања земљоспоја (t_z) износи (ТП-4):

а) у изолованим мрежама 10 kV и 20 kV:

- $t_z \leq 3$ s ако вредност укупне капацитивне струје земљоспоја прелази 10 А;
- $t_z \leq 2$ h ако вредност укупне капацитивне струје земљоспоја не прелази 10 А;

б) у уземљеним СН мрежама:

- $t_z \leq 1$ s у мрежи 10 kV и 20 kV;
- $t_z \leq 2$ s у мрежи 35 kV.

в) у каблу 64/110 kV директно уземљене мреже 110 kV: $t_z = t_{k1} \leq 0,15$ s.

5 ИЗБОР КАБЛОВА НИСКОГ НАПОНА 0,6/1 kV (НН кабл)

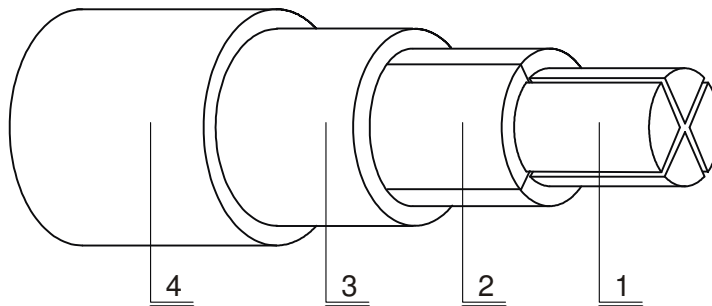
5.1 У мрежи ниског напона (НН) препоручује се примена два основна типа кабла назначеног напона 0,6/1 kV (сл.5.1):

а) Тип **PP00-ASJ** (SRPS N.C5.220).

То је четворожилни кабл са једножилним секторским алуминијумским проводницима ("Солидал"), PVC изолацијом, испуном од гуме или PVC-а и PVC плаштом.

б) Тип **XP00-ASJ** (SRPS N.C5.230).

То је четворожилни кабл са једножилним секторским алуминијумским проводницима, изолацијом од умреженог полиетилена (ХРЕ), испуном од гуме или PVC-а и PVC плаштом. Овај тип кабла има предности на делу конзума са великом густином оптерећења, као и на местима са великим термичким напрезањима кабла (полагање више каблова у исти ров, полагање у тло велике специфичне топлотне отпорности, полагање у близини топловода итд.), под условом да то не доведе до исушивања тла.



1 алуминијумски једножилни секторски проводник; 2 PVC или ХРЕ изолација;
3 испуна од гуме или PVC; 4 PVC плашт.

Сл.5.1 Нисконапонски кабл 0,6/1 kV

5.2 На местима где се очекују повећана механичка напрезања, као: градилишта, провизоријуми, незаштићени регали изложени могућим ударима итд., препоручује се примена кабла са арматуром од две челичне траке, тип **PP41-ASJ** или **XP41-ASJ**, а на местима са изузетним механичким напрезањима, као: за вертикално полагање у дужини преко 30 m, на клизиштима итд., препоручује се кабл са арматуром од челичних жица, тип **PP44-ASJ** или **XP44-ASJ**.

5.3 Дозвољена је примена и одговарајућих конструкција са вишежичним алуминијумским проводницима, на пример: тип PP00-AS, XP00-AS итд.

5.4 **Обележавање жила енергетског НН кабла** изводи се на следећи начин:

- две жиле фазних проводника: црно;
- једна жила фазног проводника: смеђе;
- жила неутралног проводника: светлоплаво.

У НН дистрибутивним мрежама забрањена је примена енергетских каблова код којих је једна од жила обележена жуто-зеленом бојом.

6 ИЗБОР КАБЛОВА 6/10 kV, 12/20 kV, 20/35 kV и 64/110 kV

6.1 **У дистрибутивним мрежама Србије називног напона 10 kV, 20 kV, 35 kV и 110 kV се користи један тип енергетског кабла, усвојене ознаке ХНЕ 49-А, и то:**

- **назначеног напона 6/10 kV у мрежи називног напона 10 kV;**
- **назначеног напона 12/20 kV у мрежи називног напона 20 kV;**
- **назначеног напона 20/35 kV у мрежи називног напона 35 kV;**
- **назначеног напона 64/110 kV у мрежи називног напона 110 kV.**

Кабловски вод се састоји од три једножилна кабла типа ХНЕ 49-А који су поужени у троугластом снопу или положени појединачно у равни, тачка 9.7.

Једножилни кабл типа ХНЕ 49-А се састоји од округлог алуминијумског проводника са изолацијом од умреженог полиетилена (ХРЕ), са слабопроводним слојем испод и изнад изолације, са електричном заштитом од бакарних жица и трака, са слабопроводном бубрећом траком испод и изнад електричне заштите, са алуминијумском полимер фолијом и спољашњим полиетиленским плаштом високе густине (HDPE), сл.6.1.

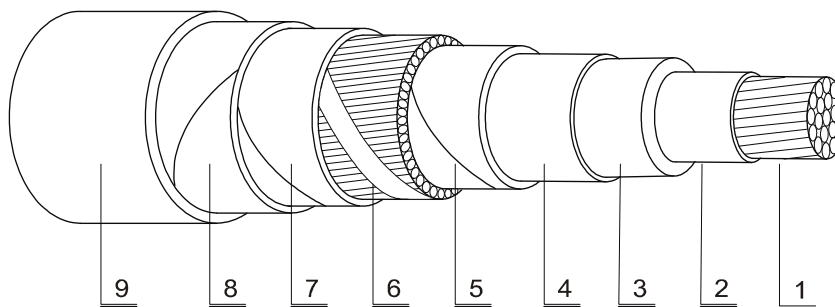
За изолацију СН кабла (SRPS N.C5.230) и 64/110 kV кабла типа ХНЕ 49-А обавезна је примена неке напредне технологије умрежавања високог квалитета и поузданости (на пример: **поступак сувог умрежавања на вертикалној линији**), при чему се процес изоловања изводи једновременим наношењем на проводник сва три слоја (изолација и оба слабопроводна слоја). Тако се постиже **компактна изолација, скоро линеарна расподела напона и мале вредности парцијалних пражњења**. ХРЕ изолација дозвољава температуру проводника од 250 °C при кратком споју у трајању 5 s, односно 90 °C трајно.

6.2 **У дистрибутивној мрежи 10 kV** која је на неком конзумном подручју (граду) доминантно изведена кабловима са изолацијом од импрегнисаног папира, **опционо се дозвољава примена кабла типа NPO 13-AS (SRPS N.C5.020). То је трожилни кабл са секторским алуминијумским проводницима и изолацијом од нарочито импрегнисаног папира** (получврсти компаунд), са оловним плаштом, арматуром од две челичне траке и антикорозивном заштитом од слојева јуте и битумена, сл.6.2.

6.3 **За настављање деоница кабловског вода 35 kV** изведеног трожилним трооловним каблом са изолацијом од импрегисаног папира типа IPZO 13 или NPZO 13 **може да се користи трооловни кабл типа NPZO 13.**

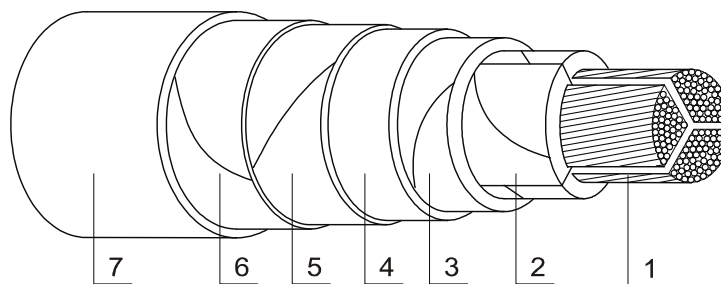
Напомене уз тачке 6.2 и 6.3:

Присуство уља, велика тежина и отежана монтажа утичу да се каблови са папирном изолацијом типа NPO постепено напуштају. Међутим, широка досадашња примена у мрежама 10 kV и 35 kV, велика поузданост и предност при решавању проблема уземљења и даље опционо оправдавају примену NPO каблова.



1 алуминијумски проводник; 2 слабопроводни слој проводника; 3 изолација од умреженог полиетилена (ХРЕ); 4 слабопроводни слој изолације; 5 слабопроводна бубрећа трака; 6 електрична заштита од бакарних жица и траке; 7 слабопроводна бубрећа трака; 8 алуминијумска полимер фолија; 9 полиетиленски плашт високе густине (HDPE).

Сл.6.1 Једножилни СН и 64/110 kV кабл са ХРЕ изолацијом, тип ХНЕ 49-А



1 алуминијумски секторски проводник; 2 изолација жиле од нарочито импрегнисаног папира (NP); 3 појасна изолација; 4 оловни плашт; 5 импрегнисани папир или јута; 6 челична арматура; 7 импрегнисана јута.

Сл.6.2 Трожилни кабл 6/10 kV са папирном изолацијом, тип NPO 13-AS

7 ТИПИЗАЦИЈА ПРЕСЕКА ПРОВОДНИКА И ЕЛЕКТРИЧНЕ ЗАШТИТЕ КАБЛА

- 7.1 За главне напојне водове дистрибутивних мрежа 1 kV, 10 kV, 20 kV и 35 kV, из стандардног низа се препоручује примена каблова пресека проводника: 50 mm² Al; 95 mm² Al; 150 mm² Al; 240 mm² Al.

За главне напојне водове градских кабловских НН мрежа препоручује се примена PVC или ХРЕ каблова типског пресека проводника 3x150 + 70 mm² Al.

Најмањи дозвољени пресек алуминијумског проводника СН кабла који задовољава захтеве с обзиром на струје кратких спојева из тачке 4.4 и време трајања кратког споја $t_k \leq 0,15$ s износи 70 mm² Al, пример 4.а ове препоруке.

Типски пресек проводника за главне напојне водове градских СН мрежа је 150 mm² Al. Међутим, за прве деонице водова 10(20) kV из ТС 110/10(20) kV, због неповољних услова полагања (велики број каблова у рову), препоручује се пресек проводника 240 mm² Al, а исти пресек може да се одабере и ако на ширем простору доминира тло веома лоше специфичне топлотне отпорности (песак).

- 7.2 У дистрибутивној мрежи 110 kV, из стандардног низа се препоручује примена каблова пресека проводника: 630 mm² Al; 800 mm² Al; 1000 mm² Al.

Типски пресек проводника кабла 64/110 kV износи 1000 mm² Al у градским реонима са великом густином оптерећења и 630 mm² Al у градским реонима са мањом густином оптерећења. Ако је кабловски вод део типског техничког

модула за обликовање дистрибутивне **110 kV мреже** (три 110 kV кабловска вода напајају две ТС 110/X kV, тачка 8.1 у ТП-14а), **кабловски вод у нормалном погону може да напаја** (поглавље 24, пример 2, табела Пр.2в):

- **пресек $1000 \text{ mm}^2 \text{ Al}$** : две ТС 110/10(20) kV инсталисане снаге 2 x 40 MVA свака, укупно 160 MVA;
- **пресек $630 \text{ mm}^2 \text{ Al}$** : две ТС 110/10(20) kV инсталисане снаге 2 x 31,5 MVA свака, укупно 126 MVA.

Одабрани типски пресеци кабловских водова задовољавају услове терећења за вредности специфичне топлотне отпорности тла $\rho_t \leq 1,2 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$.

7.3 **Пресек електричне заштите СН каблова** са изолацијом од умреженог полиетилена типа ХНЕ 49-А износи $16 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$. За пресек проводника $240 \text{ mm}^2 \text{ Al}$ може да се користи и пресек електричне заштите $25 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$.

7.4 **Најмањи дозвољени пресек електричне заштите кабла 64/110 kV типа ХНЕ 49-А**, који задовољава захтеве с обзиром на време трајања кратког споја $t_k \leq 0,15 \text{ s}$ износи: $70 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ за струју (снагу) земљоспоја од 26,5 kA (5000 MVA) и $95 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ за струју (снагу) земљоспоја од 31,5 kA (6000 MVA), пример 4.б.

По правилу се користи електрична заштита пресека $95 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ ако је фазни проводник пресека $1000 \text{ mm}^2 \text{ Al}$ и пресека $70 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ ако је фазни проводник пресека $630 \text{ mm}^2 \text{ Al}$.

8 ОСНОВНИ ЗАХТЕВИ ЗА ИЗГРАДЊУ ПОДЗЕМНОГ КАБЛОВСКОГ ВОДА

8.1 **Изградња (пројектовање и градња) подземног кабловског вода** започиње тако да пројектант, на основу одлуке инвеститора и усвојеног пројектног задатка, врши извиђање терена за **избор најповољније трасе вода**. Уочавају се објекти којима би се приближавао или са којима би се укрштао будући кабловски вод, места промене правца или нивоа трасе вода, као и саобраћајна инфраструктура.

8.2 **Траса вода мора да буде усклађена** са урбанистичким плановима и **са трасама (положајем) других подземних инсталација**: водовода, канализације, телефона, топловода, гасовода итд. Због тога, **пре почетка конкретних радова** на пројектовању и градњи кабловског вода **треба проучити одговарајућу пројектну документацију, како би се стекао увид у састав земљишта и положај других инсталација** на будућој траси кабловског вода. **Препоручује се да се у фази пројектовања** будуће трасе кабловског вода **110 kV изврше и пробни ископи** попречно на трасу, како би се утврдио тачан састав земљишта и положај других инсталација.

8.3 После избора најповољније трасе вода врше се претходна испитивања и анализе које обухватају: **геодетско снимање трасе вода**, израду геотехничког елабората, израду елабората амбијенталних услова и испуне кабловског рова.

Ситуација трасе подземног кабловског вода се ради у размери 1:500.

За водове 35 kV и 110 kV обавезно се раде уздужни профили, размера 1:200/500, и карактеристични попречни профили трасе вода.

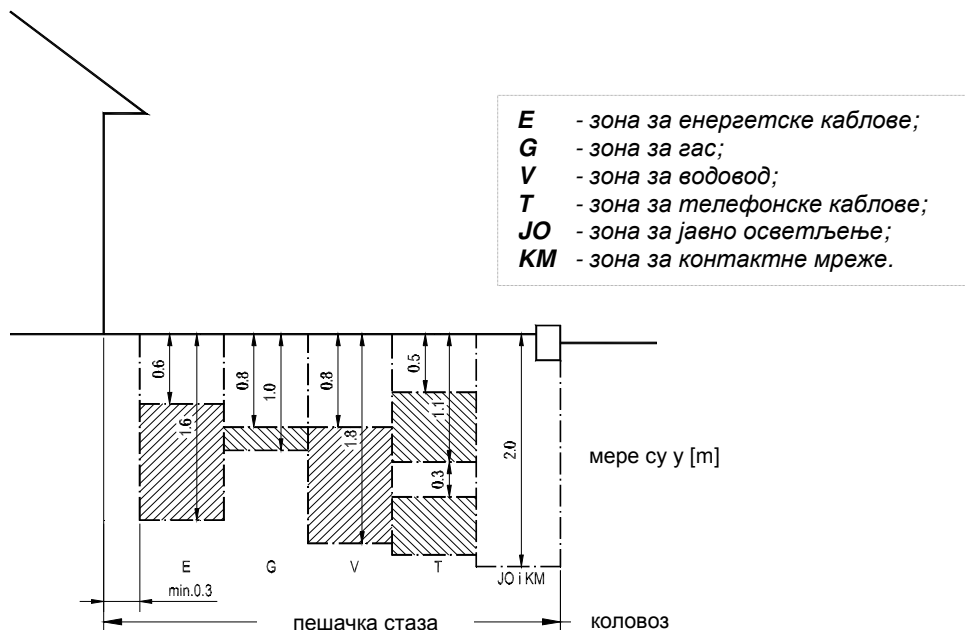
За водове 10 kV и 20 kV уздужни и попречни профили раде се само по потреби, за карактеристичне делове трасе вода које одступају од типских решења: код приближавања зградама, укрштања са значајним објектима (пут, река, топловод, водовод, железничка или трамвајска пруга, други енергетски или ТК кабл итд.).

Ситуација трасе и профили трасе вода раде се у дигиталном облику.

Сагласност на одабрану трасу вода дају лица и овлашћене установе, као: путна привреда, власници других комуналних подземних инсталација (водовод, канализација, телефон, топловод, гасовод итд.), индивидуални власници парцела итд.

Усклађивање трасе са осталим подземним инсталацијама представља се израдом синхрон плана који међусобно потписују овлашћени представници институција које дају сагласност на одабрану трасу.

- 8.4 Због ограниченог простора у урбанизованим насељима, **за полагање појединих подземних инсталација препоручује се подела расположивог простора на зоне.** На сл.8.4 дат је пример поделе пешачког тротоара на зоне.



Сл.8.4 Подела пешачког тротоара на зоне

- 8.5 **Ширина појединих зона** зависи од расположивог простора. Ако је овај простор мали, тада магистралне инсталације водовода и топловода, а по потреби и друге инсталације, могу да се полажу у коловоз.

Уобичајена ширина зоне за НН и СН енергетске каблове износи 0,7 m, док ширине зона за остале инсталације зависе од капацитета тих инсталација и расположивог простора.

- 8.6 Препоручује се да се за смештај појединих инсталација одреди зона са обе стране улице.

- 8.7 У оквиру расположиве зоне, енергетски каблови се распоређују по ширини и дубини.

Полагање енергетских каблова паралелно са зидом или темељем зграде врши се на растојању од најмање 0,3 m за НН и СН каблове, односно најмање 1 m за кабл 64/110 kV.

Полагање енергетског кабла поред дрвореда врши се на растојању од најмање 2 m од осе стабла. У супротном, кабл се полаже у заштитну цев.

Код копања кабловског рова не сме да се прекида корен биљке.

9 ОСНОВНЕ ПРЕПОРУКЕ ЗА ПОЛАГАЊЕ ЕНЕРГЕТСКИХ КАБЛОВА

9.1 Енергетски каблови се полажу у земљу, воду, у канале, на регале, на стубове, преко мостова итд.

9.2 Енергетски кабл се полаже ручно или применом механизације.

На местима паралелног вођења или укрштања енергетског кабла са водоводном или канализационом цеви (поглавље 15), односно топловода (поглавље 16), кабловски ров се копа ручно (без употребе механизације).

Вучење кабла врши се помоћу затезне чарапе или затезне стезаљке везане за проводник или за арматуру од челичних жица.

Није дозвољено вучење кабла моторним возилом, вучење кабла по земљи и упредање кабла.

При полагању кабла морају да се испуне захтеви о дозвољеним полупречницима савијања према табели 9.3 и о дозвољеним вучним силама према табели 9.4.

9.3 Полупречници савијања енергетских каблова не смеју да буду мањи од датих у табели 9.3. Изузетно, вредности дозвољених полупречника савијања из табеле 9.3 могу да се смање за око 30% ако се савијање изводи шаблонима (на пример при уводу у кабловску завршницу).

Табела 9.3: Дозвољени полупречници савијања енергетских каблова

Назначени напон кабла [U_o/U_n]	Тип кабла	Дозвољени полупречник савијања [mm]
0,6/1 kV	PP00-ASJ, PP41-ASJ	15 · D
	XP00-AS, XP41-AS	12 · D
6/10 kV, 12/20 kV и 20/35 kV	NPO 13-AS, NPZO 13-A	15 · D
	XHE 49-A	15 · D ₁
64/110 kV	XHE 49-A	20 · D ₁

D - спољашњи пречник вишежилног кабла [mm];
*D*₁ - спољашњи пречник једножилног кабла [mm].

9.4 У табели 9.4 дате су дозвољене вучне силе енергетских каблова у зависности од начина вучења.

Табела 9.4: Дозвољене вучне силе енергетских каблова

Начин вучења кабла	Тип кабла	Дозвољене вучна сила [N]
преко затезне чарапе	PP00-ASJ, PP41-ASJ XP00-AS, XP41-AS, XHE 49-A	5 · D ²
	NPO 13-AS, NPZO-13A	3 · D ²
преко проводника кабла	сви типови каблова	30 · S _{Al}
преко чел. арматуре	PP44-ASJ, XP44-ASJ	150 · S _с

D - спољашњи пречник кабла [mm];
*S*_{Al} - укупан пресек Al проводника за које се вуче кабл [mm²];
*S*_с - пресек челичне арматуре за коју се вуче кабл [mm²].

9.5 **Затезна вучна сила** контролише се помоћу динамометра, а витло мора да има осигурач (**граничник**) који прекида вучење у случају прекорачења дозвољене вучне силе. За смањење вучне силе користе се **кабловске котураче** за правац и кривине, које се постављају на растојања од 2 m до 3 m.

9.6 **Најнижа температура ваздуха при којој је дозвољено полагање енергетског кабла износи:**

- + 5 °C за каблове са PVC изолацијом и/или PVC плаштом (тип PP00-ASJ, XP00-ASJ итд.) и за каблове са папирном изолацијом (тип NPO 13-AS итд.);
- - 5 °C за каблове типа ХНЕ 49-А.

Толерише се пад температуре и испод датих вредности у трајању од највише 3 часа (поноћни мразеви) током 24 часа пре полагања кабла.

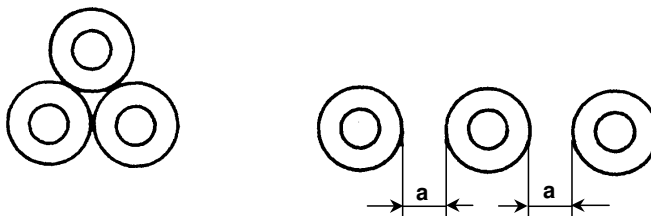
Ако не може да се избегне полагање кабла када су температуре ваздуха ниже од претходно наведених вредности, тада кабл пре полагања треба да се загреје држањем у топлој просторији или загревањем одговарајућим грејним телима, односно пропуштањем електричне струје кроз проводнике.

Загрејан кабл треба што брже да се транспортује и положи.

При загревању кабла на калему пропуштањем електричне струје, мора да се контролише температура плашта спољашњег реда кабла, која не сме да буде изнад 20 °C ако је температура ваздуха испод -10 °C, односно изнад 30 °C ако је температура ваздуха изнад -10 °C.

9.7 **Једножилни СН и 64/110 kV каблови типа ХНЕ 49-А се полажу у троугластом снопу** (сл.9.7а). На краћим деоницама дозвољено је полагање СН каблова и у хоризонталној равни (сл.9.7б). Изузетно, код антенског напајања потрошача посебне намене и важности (објекти за водоснабдевање, болнице, ТК постројења итд.) може да се користи сноп од четири једножилна СН кабла као економичнија замена за двоструки вод, али ово техничко решење није предмет разматрања ове препоруке.

Кабловси сноп се формира провлачењем каблова кроз одговарајућу матрицу при одмотавању са три калема. Формирани сноп се на сваких 1 m до 2 m омотава самолепљивом PVC траком ширине око 0,1 m.



а) у троугластом снопу

б) у хоризонталној равни

Сл.9.7 Полагање једножилних СН и 64/110 kV каблова

9.8 Дозвољено је појединачно провлачење једножилног кабла кроз цев од неферомагнетног материјала, под условом да цев није дужа од 20 m.

Кроз челичну цев дозвољено је провлачење снопа који чине једножилни каблови све три фазе.

9.9 **За причвршћивање једножилних каблова могу да се користе само обујмице од неферомагнетног материјала** (бакар, алуминијум, пластика).

- 9.10 **На оба краја кабловског вода треба галвански да се повежу електричне заштите сва три једножилна кабла и да се уземљи овај спој.**

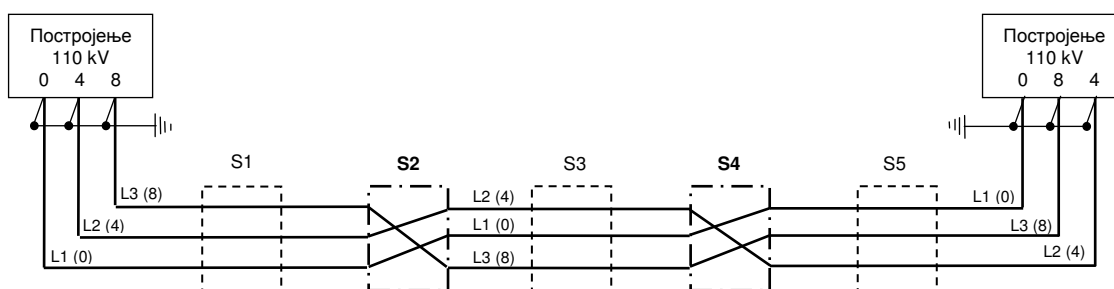
Изузетно, ако кабловски вод 10 kV (20 kV) типа ХНЕ 49-А повезује ТС 110/10(20) kV са само једном ТС 10(20)/0,4 kV, а прорачуном и/или мерењем се докаже да постоји опасност од изношења потенцијала из ТС 110/10(20) kV, тада електричне заштите ХРЕ каблова 10 kV (20 kV) могу да остану изоловане у односу на систем уземљења ТС 110/10(20) kV (поглавље 7 у ТП-7).

- 9.11 **Да би се смањили губици у електричним зашитама једножилних каблова типа ХНЕ 49-А услед циркулационих струја које се јављају у редовном погону, каблови се полажу у троугластом снопу (сл.9.7а), а на кабловском воду 110 kV веће дужине ($\geq 2,5$ km) врши се преплитање електричних заштита (транспозиција - cross bonding), чији шематски приказ је дат на сл.9.11.**

Преплитање електричних заштита врши се преко посебно изведене спојнице која омогућује да се електричне заштите све три жиле кабловског вода изоловано уведу у додатну кутију у којој се врши преплитање електричних заштита, а **кратко спајање и уземљење електричних заштита врши се само у постројењима на крајевима кабловског вода 110 kV.**

Додатна кутија за преплитање има сопствени поклопац и изведену заштиту од влаге, а уграђује се у посебан шахт са поклопцем у равни терена.

Број и места постављања спојница са додатним кутијама за преплитање електричних заштита бирају се тако да деонице кабловског вода буду приближно једнаких дужина.



S1, S3, S5 - стандардне спојнице; S2, S4 - спојнице са додатном кутијом за преплитање електричних заштита; L1, L2, L3 - електричне заштите фаза 0, 4, 8.

Сл. 9.11 Шематски приказ преплитања електричних заштита 110 kV вода

- 9.12 **Крајеви положеног кабла се обележавају** помоћу плочица на којима се налазе основни подаци о каблу и ознака прикључка. Није дозвољено постављање ове плочице на жилу кабла.
- 9.13 **После полагања кабла**, а код директног полагања у земљу пре потпуног затрпавања кабловског рова, **треба да се изврши испитивање кабловског вода** према тачки 23.9 и **геодетско снимање**, са посебно означеним местима укрштања са подземним инсталацијама, другим кабловима, спојним местима, тачним дужинама каблова и траса, са унетим основним подацима о кабловској канализацији (место, дужина, број цеви, број резервних цеви) итд.

10 ПРЕПОРУКЕ ЗА ДИРЕКТНО ПОЛАГАЊЕ ЕНЕРГЕТСКИХ КАБЛОВА У ЗЕМЉУ

- 10.1 **Препоручује се директно полагање енергетских каблова у земљу**, у кабловски ров чије димензије зависе од назначеног напона кабла, врсте тла, амбијента полагања (слободна површина, тротоар, коловоз), као и од броја каблова који се полажу у исти ров.
- 10.2 Пре почетка радова на ископу кабловског рова врши се **обележавање трасе вода** на основу пројектне документације и стања на терену.
Кабловски ров се копа као отворени ров, у који се директно полаже један или више каблова (слике 10.8, 10.9 и 10.10), или се отворени ров користи за извођење кабловске канализације (поглавље 11). Само у случају укрштања енергетског кабла са железничком пругом (тачка 14.1) или са путем изван насеља када не сме да се омета саобраћај (тачка 19.1), буши се хоризонтални отвор за бетонску или пластичну цев кроз коју се провлачи кабл, тако да је касније могућа замена кабла без ометања саобраћаја.
- 10.3 **Нормална дубина рова у који се појединачно полаже кабл** износи:
- 0,7 m до 0,8 m за каблове 1 kV, 10 kV и 20 kV (слике 10.8);
 - 1,1 m за кабл 35 kV;
 - 1,4 m за директно укопавање НН или СН кабла испод пута (сл.10.9);
 - најмање 1,4 m за кабл 110 kV (сл.10.10).
- Одступања су дозвољена на мањим дужинама при укрштањима са другим инсталацијама и кабловима, као и у случајевима неповољних услова полагања (на пример: каменито тло). Такође мора да се уважи и планирана кота терена.
Ако се због разних препрека и инсталација кабл полаже на мању дубину, треба да се предвиди додатна заштита кабла од механичких оштећења применом заштитних цеви, бетонских кабловица, заштитних бетонских плоча итд.
- 10.4 При раскопавању тротоара и/или коловоза за кабловски ров, **сечење асфалта** врши се тестером, компресором или сличним средством. Ширина отсеченог асфалта треба са обе стране рова да буде за око 20 cm већа од ширине рова, ради лакшег каснијег копања и набијања слојева испуне рова.
Материјал из ископа се привремено слаже са једне стране рова, водећи рачуна да се не затрпају сливници кишне канализације, поклопци шахтова комуналних инсталација итд.
Дно кабловског рова треба да се поравна и очисти од камења и других оштрих материјала.
Ископан кабловски ров мора да буде прописно и видљиво обележен ради сигурности пешака и возила. Улази у куће и пословне просторије, као и прелази испод пута, треба да имају одговарајућа премошћења до затрпавања рова.
Пре полагања кабловског вода **обавезан је преглед кабловског рова**. Ако се прегледом утврди да карактеристике тла у рову битно одступају од пројектованих, треба извршити неопходне корекције у избору кабловске постелице и испуне рова.
- 10.5 Кабл се полаже вијугаво, тако да је дужина кабла највише 2% већа од дужине трасе. Код кабловских спојница и завршница треба оставити резерву кабла од 3 m до 5 m.
- 10.6 **Енергетски кабл се полаже тако да буде у слоју постелице** која се ставља на дно кабловског рова (инсталациона зона рова). **Дебљина кабловске постелице** износи најмање 0,2 m за НН и СН каблове (сл.10.8), односно најмање 0,7 m за кабл

64/110 kV (сл.10.10). За набијање слоја кабловске постелице користе се искључиво ручни набијачи.

а) Кабловска постелица за НН и СН каблове:

За стандардну кабловску постелицу користи се мешавина песка и шљунка који имају добре карактеристике одвођења топлоте (висок садржај кварца) гранулације до 4 mm (на пример: песок "Моравац").

У случају тешких услова одвођења топлоте и опасности од исушивања тла, на пример: при полагању више каблова у исти ров (сл.10.8в) или приближавању топловоду, треба обавезно применити постелицу од специјалних мешавина чија специфична топлотна отпорност ρ_p [K·m/W] што мање зависи од садржаја воде, на пример: мешавина 85% шљунка и песка високог садржаја кварца са 15% млевеног кречњака, мешавина песка и цемента итд. Специјална мешавина се примењује и у условима лоше специфичне топлотне отпорности тла (песак), ако се покаже да је то повољније решење у односу на смањење дозвољених оптерећења (поглавље 24, пример 1), или на повећање пресека вода (тачка 7.1).

б) Кабловска постелица за кабл 64/110 kV:

За стандардну кабловску постелицу за уградњу кабла 64/110 kV користи се мешавина шљунка и песка високог садржаја кварца, састава и гранулација:

- пречника честица 0 - 4 mm: 70%;
- пречника честица 4 - 8 mm: 15%;
- пречника честица 8 - 16 mm: 15%.

Специфична топлотна отпорност мешавине у исушеном стању је $\rho_p \leq 1$ K·m/W.

Припрема стандардне мешавине се обавља машинским мешањем на сепарацији при оптималном садржају воде 8% до 10%. Обавезна је контрола гранулометријског састава мешавине, и то приликом набавке и уграђивања у кабловски ров.

Контрола дебљине слоја стандардне мешавине врши се маркерима који се постављају у зид рова.

У случају тешких услова одвођења топлоте и опасности од исушивања тла, на пример: при паралелном вођењу или укрштању са топловодом или групно положеним кабловима, као и при полагању у тло веома лоше специфичне топлотне отпорности ρ_t треба обавезно применити кабловску постелицу од специјалне мешавине, која се формира тако што се стандардној мешавини шљунка и песка претходно дефинисаног састава додаје 2% цемента, тако да је специфична топлотна отпорност мешавине у исушеном стању $\rho_p \leq 1$ K·m/W. У овом случају кабловски ров се испуњава до врха специјалном мешавином, и то најмање по 6 m лево и десно од места укрштања и целом дужином паралелног вођења, односно дуж целе трасе где је тло лоше специфичне топлотне отпорности. Тако се значајно повећава контактна површина између кабловске постелице и околног тла, и спречава исушивање тла.

10.7 Затрпавање (испуна) кабловског рова врши се земљом добре топлотне проводљивости (зона испуне рова), у слојевима од по 0,3 m изнад постелице.

Слојеви земље се прскају водом и појединачно набијају механичким набијачима. Најмања збијеност земље у рову треба да буде 92% (SRPS U.B1.038).

За затрпавање кабловског рова за НН и СН каблове користи се допремљена земља (препурука), али може да се користи и земља из откопа, под условом да не садржи грађевински шут, камење, блато или земљу загађену хемикалијама.

За затрпавање кабловског рова за кабл 64/110 kV се користи допремљена земља контролисаног квалитета (сл.10.10), осим на топлотно критичним местима када се цео кабловски ров испуњава до врха специјалном мешавином.

- 10.8 **При затрпавању кабловског рова, изнад кабла дуж целе трасе треба да се поставе пластичне упозоравајуће траке.**

Препоручује се следећи распоред упозоравајућих трака:

- а) При полагању НН и СН кабла **на регулисаним површинама** поставља се једна упозоравајућа трака на 0,4 m изнад кабла (сл.10.8а).
- б) При полагању НН и СН кабла **на нерегулисаним површинама** постављају се две упозоравајуће траке: прва на 0,3 m а друга на око 0,5 m изнад кабла (сл.10.8б).
- в) Ако се **у исти ров** полаже **више НН и СН каблова**, тада број упозоравајућих трака и њихов међусобни размак треба да се одабере тако да сви каблови буду "покривени" овим тракама (сл.10.8в).

PVC упозоравајућа трака је црвене боје, са утиснутим упозорењем да се испод траке налази енергетски кабл. Ширина траке треба да буде око 0,1 m, а квалитет материјала треба да гарантује век трајања траке од 30 година.

- 10.9 **За прелаз НН или СН кабла испод пута (коловоза) у урбанизованом насељу**, уместо кабловске канализације (поглавље 11) може да се користи директно полагање каблова у земљу (сл.10.9): у ров дубине 1,4 m поставља се кабловска постељица према тачки 10.6, изнад које се постављају армиранобетонске плоче, слој земље (испуна), упозоравајуће траке и слој мршаваог бетона МБ-150.

- 10.10 **Енергетски кабл 64/110 kV се појединачно полаже у кабловски ров дубине најмање 1,4 m и ширине у дну 0,8 m до 1 m, у слој кабловске постељице (тачка 10.6б) дебљине најмање 0,7 m код примене стандардне постељице (сл.10.10) и попуњавањем рова до врха на топлотно критичним местима.**

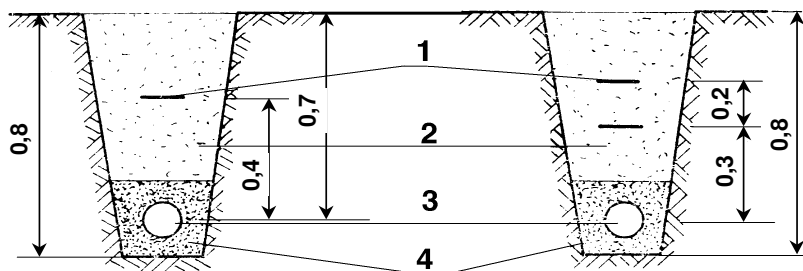
У исти ров се обавезно полаже и оптички кабл који служи као пилот кабл за комуникацију подужних диференцијалних и дистантних заштита између трансформаторских станица које повезује енергетски кабл (поглавље 3 у ТП-4а2/2001), као и за пренос других информација, као: управљање, МТК, топлотни мониторинг кабла ако се користи (тачка 24.10) итд. **Удаљење оптичког кабла** у односу на енергетски кабл треба да износи најмање 0,3 m, колико износи сигурносни размак због обављања радова.

Као **заштита од механичких оштећења** при извођењу радова, изнад енергетског и оптичког кабла постављају се армиранобетонске плоче и упозоравајуће траке.

На сл.10.10 дати су **карактеристични примери појединачног полагања енергетског 64/110 kV кабла типа ХНЕ 49-А**, и то:

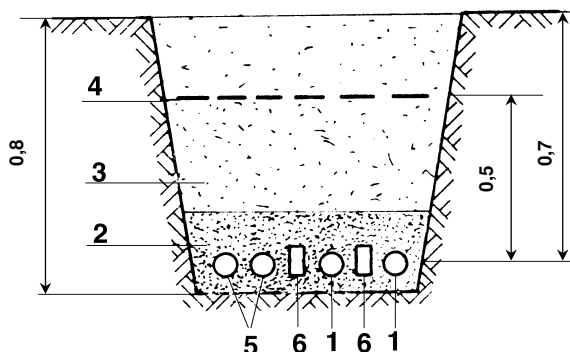
- а) на слободним површинама;
- б) у тротоару;
- в) у коловозу.

- 10.11 **После полагања енергетског кабла, израде кабловских спојница и завршница, испитивања формираног кабловског вода и затрпавања рова, кабловска траса се доводи у првобитно стање: планира се земља, одвози сувишна земља и материјал. На крају, уређују се тротоари и слободне површине, односно асфалтирају саобраћајнице према стандардима за ту врсту посла** (зона површинске конструкције рова).



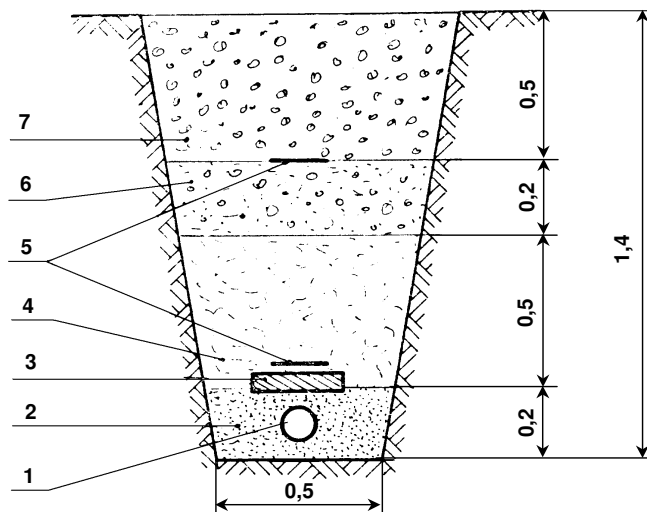
а) на регулисаним површинама б) на нерегулисаним површинама
 1 упозоравајућа трака; 2 земља набијена у слојевима (испуна);
 3 кабл; 4 кабловска постељица.

Сл.10.8 Директно полагање енергетског НН и СН кабла у земљу



1 СН кабл; 2 кабловска постељица од специјалне мешавине; 3 земља набијена у слојевима (испуна); 4 упозоравајућа трака; 5 НН каблови; 6 опека.

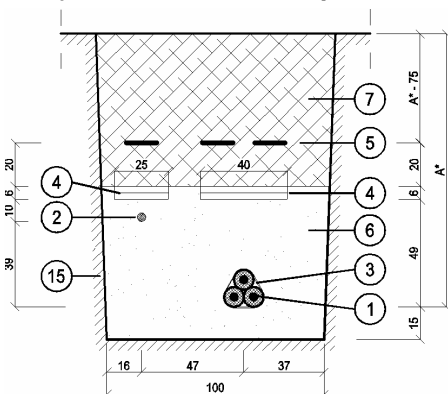
Сл.10.8в Директно полагање више НН и СН каблова у исти ров



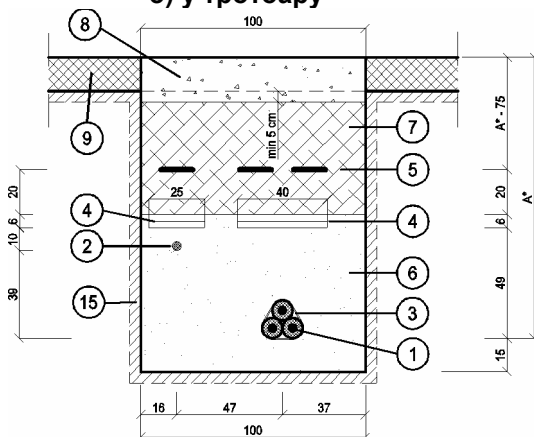
1 енергетски кабл; 2 кабловска постељица; 3 армиранобетонска плоча; 4 земља набијена у слојевима (испуна); 5 упозоравајућа трака; 6 бетон МБ 150; 7 тампон пута.

Сл.10.9 Директно полагање НН или СН кабла испод пута

а) на слободним површинама



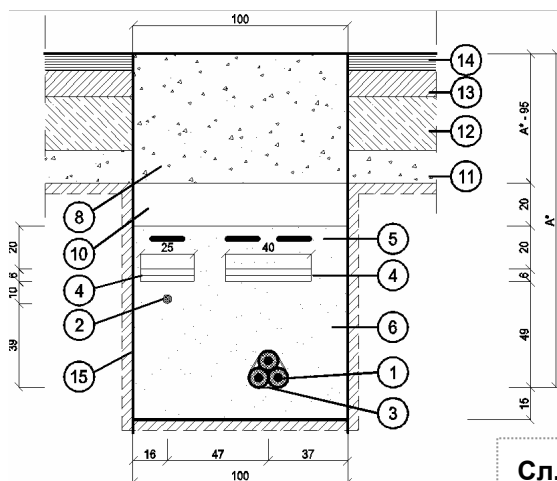
б) у тротоару



мере су у [cm]

$A^* \geq 130$ cm.

в) у коловозу (прелаз испод пута)

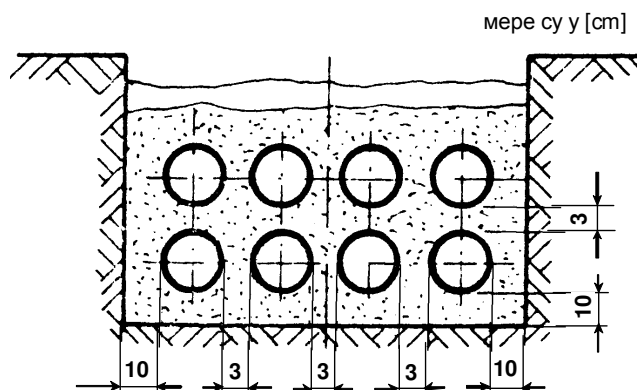


- 1 64/110 kV енергетски кабл, тип ХНЕ 49-А;
- 2 оптички кабл;
- 3 PVC трака за формирање кабловског троугластог снопа;
- 4 заштитне армиранобетонске плоче;
- 5 PVC траке (три) за упозорење;
- 6 кабловска постељица, тачка 10.66;
- 7 земља добре топлотне проводљивости (испуна);
- 8 тампон слој од шљунка;
- 9 тротоар;
- 10 додатна бетонска заштита М150;
- 11 тампон слој од шљунка;
- 12 цементна стабилизација;
- 13 битумен агрегат;
- 14 асфалт / бетон;
- 15 околно тло.

Сл. 10.10 Директно полагање у земљу 64/110 kV кабла, тип ХНЕ 49-А

11 КАБЛОВСКА КАНАЛИЗАЦИЈА

- 11.1 **Кабловска канализација** се користи на прелазима испод коловоза улица, путева, трамвајских колосека, железничких пруга, колских пролаза, за увођење каблова у ТС 110/10(20) kV или ТС 10(20)/0,4 kV, кроз дворишта зграда, када не могу да се постигну дозвољена одстојања кабла у односу на друге подземне инсталације итд.
- 11.2 **Кабловска канализација се израђује од пластичних цеви**, али је дозвољена и примена префабрикованих бетонских елемената (кабловица). Изнад цеви постављају се упозоравајуће траке.
- На сл.11.2 приказан је пример извођења кабловске канализације коришћењем 8 пластичних цеви.



Сл.11.2 Пример извођења кабловске канализације

- 11.3 **Минимални унутрашњи пречник цеви** мора да буде најмање 1,5 пута већи од спољашњег пречника кабла (трожилног, односно снопа три једножилна кабла). Унутрашњи зид цеви мора да буде гладак. Ако се цеви настављају, тада проширени ("женски") крај цеви мора да буде видљив, а кабл се обавезно провлачи са тог краја.
- 11.4 Када се користе **пластичне цеви већих дужина** (преко 10 m), треба да се уважи **струјни корекциони фактор** (k_c) због отежаних услова одвођења топлоте, који за практичне прорачуне има вредности:
- $k_c = 0,80$ ако се у цеви налази вишежилни кабл типа XP00-ASJ, NPO 13-AS итд.;
 - $k_c = 0,85$ ако се у цеви налази снопа три једножилна кабла типа XHE 49-A.
- 11.5 Препоручује се постављање цеви у највише два нивоа (сл.11.2), осим за увођење у ТС 110/10(20) kV, које се посебно пројектује.
- 11.6 Ако се у кабловску канализацију полажу каблови различитих напонских нивоа, тада се каблови нижих напона полажу у виши ниво канализације. Каблови који се полажу раније заузимају најниже отворе у канализацији.
- 11.7 Отвор цеви која се не користи треба да се затвори пластичним чепом или на сличан начин.

12 КАБЛОВСКО ОКНО (ШАХТ)

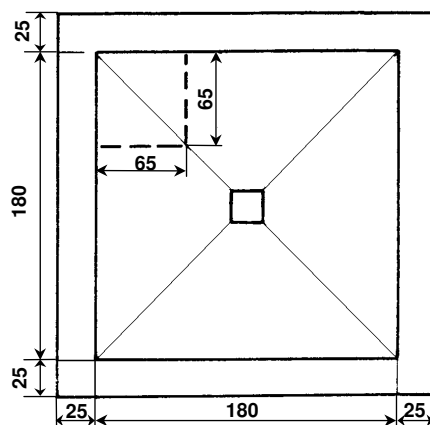
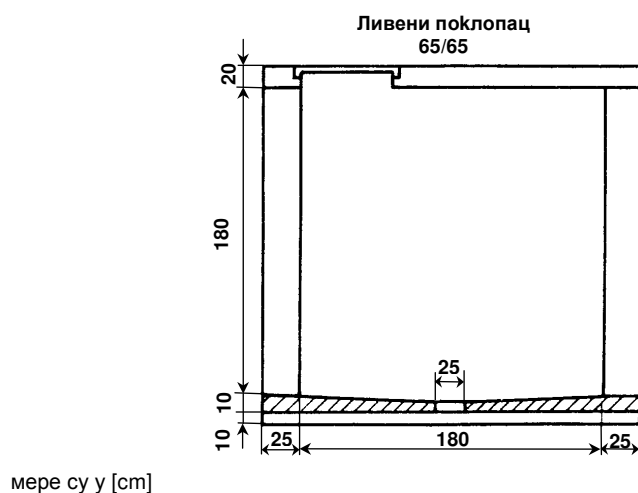
- 12.1 **Кабловско окно (шахт)** се користи на месту промене правца или нивоа кабловске канализације, као и на правој деоници кабловске канализације која је дужа од 40 m.
- 12.2 Кабловско окно се изводи у тротоару, а изузетно и у коловозу улице.
- 12.3 Кабловско окно, заједно са поклопцем, мора статички да поднесе сва оптерећења која се јављају на месту уградње.
- 12.4 **Величина кабловског окна** зависи од броја каблова, услова обављања рада у окну, дозвољеног полупречника савијања каблова итд.

Минимални **улазни отвор кабловског окна**, покривен поклопцем од ливеног гвожђа, треба да износи 0,65 m x 0,65 m.

На дну кабловског окна мора да постоји дренажни отвор.

Бочни зидови кабловског окна могу да буду од бетона или опека.

На сл.12.4 приказан је пример извођења кабловског окна.



Сл.12.4 Пример извођења кабловског окна

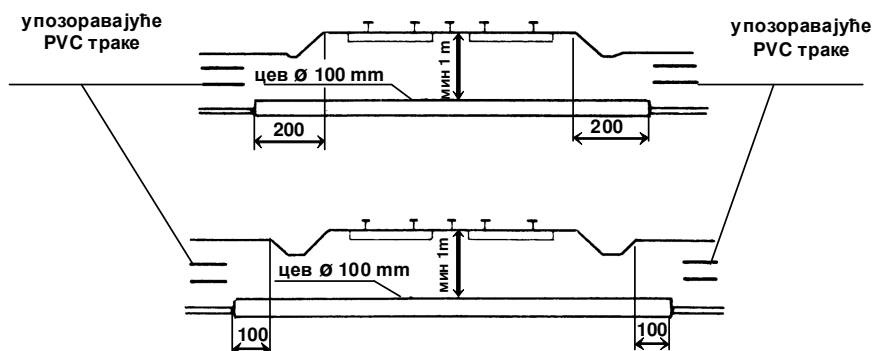
13 ПРИБЛИЖАВАЊЕ И УКРШТАЊЕ ЕНЕРГЕТСКИХ И ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНИХ КАБЛОВА

- 13.1 **Дозвољено је паралелно вођење енергетског и телекомуникационог (ТК) кабла на међусобном размаку од најмање (SRPS N.C0.101):**
- 0,5 m за каблове 1 kV, 10 kV и 20 kV;
 - 1 m за каблове 35 kV и 110 kV.
- 13.2 **Укрштање енергетског и ТК кабла** врши се на размаку од најмање 0,5 m.
Угао укрштања треба да буде:
- у насељеним местима: најмање 30°, по могућству што ближе 90°;
 - ван насељених места: најмање 45°.
- Енергетски кабл се, по правилу, поставља испод ТК кабла.
- 13.3 Уколико не могу да се постигну размаци према тачкама 13.1 и 13.2, на тим местима се енергетски кабл провлачи кроз заштитну цев, али и тада размак не сме да буде мањи од 0,3 m.
- 13.4 **Ограничења (дозвољени размаци и углови укрштања)** према тачкама 13.1, 13.2 и 13.3 се односе само на ТК кабл са упоредним симетричним жичним проводницима (NF кабл), али се не односе на оптичке каблове, јер оптички кабл није осетљив на утицаје електромагнетне природе, тако да удаљење оптичког кабла у односу на енергетски кабл може бити условљено једино сигурносним размаком због обављања радова.
- 13.5 **ТК кабл који служи само за потребе електродистрибуције** (заштита кабловског вода, МТК, управљање, надзор итд.) **може да се полаже у исти ров са енергетским каблом.** За ту намену се користи искључиво оптички кабл. Избор техничких карактеристика оптичког кабла није предмет разматрања ове препоруке.
Оптички кабл се обавезно полаже заједно са кабловским водом 110 kV (тачка 10.10) **или са кабловским водом 35 kV.**
Оптички кабл или полиетиленска (PE) цев кроз коју би се накнадно положио оптички кабл **може да се положи и заједно са кабловским водом 10 kV или 20 kV** ако је својим интерним стандардом, пројектом или сличним документом тако одредила надлежна дистрибутивна компанија.

14 ПРИБЛИЖАВАЊЕ И УКРШТАЊЕ ЕНЕРГЕТСКИХ КАБЛОВА СА ЖЕЛЕЗНИЧКОМ И ТРАМВАЈСКОМ ПРУГОМ

- 14.1 **Укрштање кабловског вода са железничком пругом** се изводи тако да се енергетски кабл полаже у бетонски канал, односно у бетонску или пластичну цев увучену у хоризонтално избушен отвор насипа, тако да је могућа замена кабла без раскопавања и угрожавања стабилности темеља доњег строја пруге, сл.14.1.
Укрштање се изводи под правим углом и тако да кабл буде најмање 1 m испод горње ивице шине. Место укрштања треба видљиво да се обележи ознакама од бетона, пластике итд.
- 14.2 **Укрштање кабловског вода са трамвајском пругом** се изводи тако да се у отворени ров полаже једна или група пластичних цеви (кабловска канализација) кроз коју се провлачи енергетски кабл, тако да је могућа замена или уградња новог кабла без ометања саобраћаја.

Укрштање се изводи под правим углом и тако да кабл буде најмање 1 m испод горње ивице шине. Место укрштања треба видљиво да се обележи ознакама од бетона, пластике итд.



Сл.14.1 Пример укрштања енергетског кабла са железничком пругом

- 14.3 Код паралелног вођења кабловског вода са трамвајском пругом треба користити искључиво каблове са изолованим плаштом, тип XHE 49-A, PP00-ASJ итд. због негативног утицаја једносмерних лутајућих струја на каблове са металним плаштом, тип NPO 13-A, IPZO 13 итд.

Поред тога, целом дужином паралелног вођења енергетски кабл треба да се положи кроз пластичну цев, тако да буде удаљен од шине најмање 2 m.

15 ПРИБЛИЖАВАЊЕ И УКРШТАЊЕ ЕНЕРГЕТСКИХ КАБЛОВА СА ЦЕВИМА ВОДОВОДА И КАНАЛИЗАЦИЈЕ

- 15.1 Није дозвољено паралелно вођење енергетских каблова испод или изнад водоводних и канализационих цеви (паралелно вођење у вертикалној равни).

- 15.2 Најмањи размак енергетског кабла од водоводне или канализационе цеви при паралелном вођењу у хоризонталној или косој равни треба да износи:

- за каблове 110 kV: 2 m за цев пречника већег од \varnothing 200 mm и 1,5 m за цев мањег пречника;
- за каблове 35 kV: 0,5 m;
- за остале каблове: 0,4 m.

Поред испуњења захтева о најмањим размацима, код паралелног вођења у косој равни најближа тачка енергетског кабла, пројектована на хоризонталну раван у нивоу водоводне или канализационе цеви, мора да буде удаљена од ових инсталација најмање 0,5 m за кабл 110 kV и 0,3 m за остале каблове, колико износе сигурносни размаци због обављања радова.

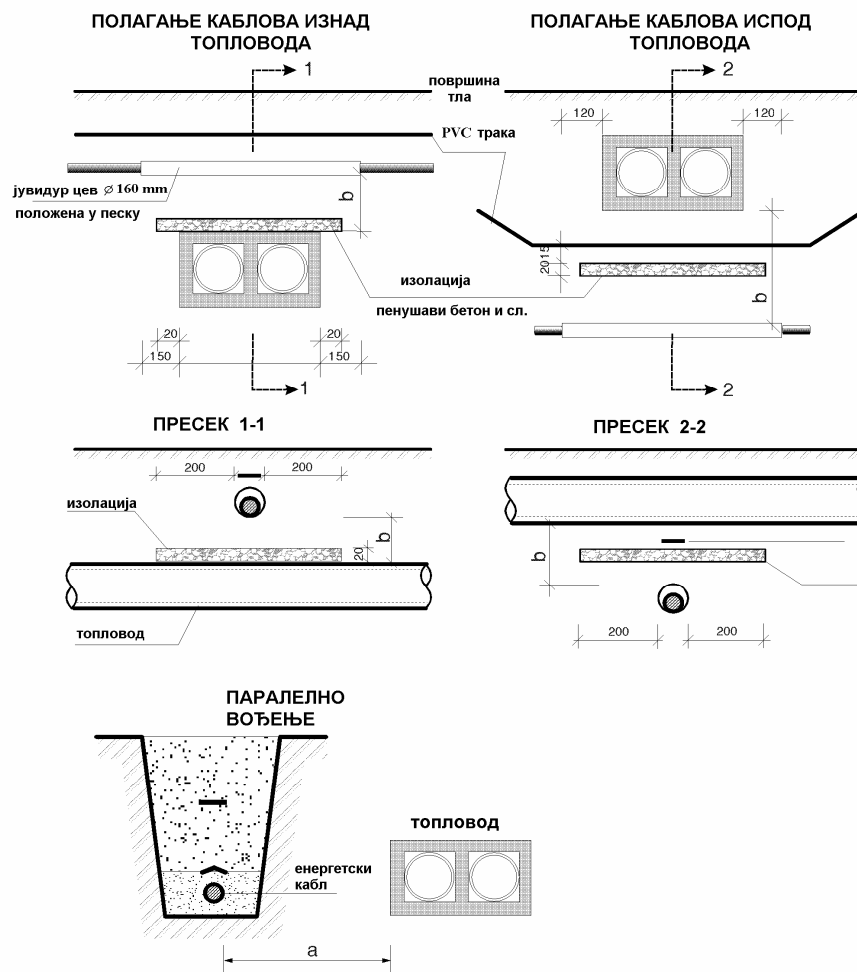
- 15.3 При укрштању, енергетски кабл може да буде положен испод или изнад водоводне или канализационе цеви на растојању од најмање:

- за каблове 110 kV: 0,5 m;
- за каблове 35 kV: 0,4 m;
- за остале каблове: 0,3 m.

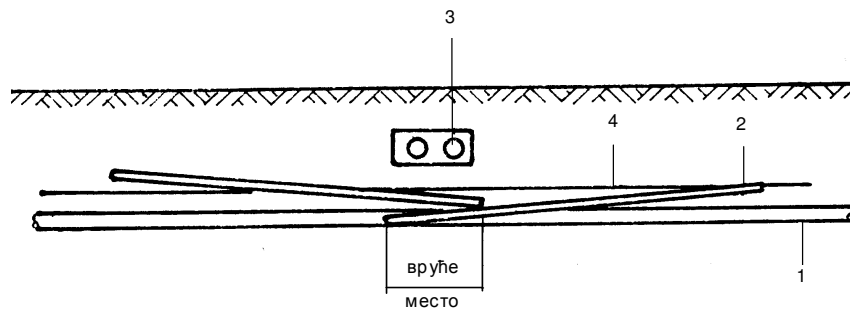
- 15.4 Уколико не могу да се постигну размаци према тачкама 15.2 и 15.3, на тим местима енергетски кабл се провлачи кроз заштитну цев, али и тада размаци не смеју да буду мањи од 0,5 m за кабл 110 kV и 0,3 m за остале каблове.

16 ПРИБЛИЖАВАЊЕ И УКРШТАЊЕ ЕНЕРГЕТСКИХ КАБЛОВА СА ТОПЛОВОДОМ

- 16.1 **Није дозвољено паралелно вођење енергетских каблова испод или изнад топловода** (паралелно вођење у вертикалној равни).
- 16.2 **Ако се изоловане цеви топловода полажу у бетонски канал**, сл.16.2, **најмањи размак енергетског кабла од спољне ивице бетонског канала за топловод треба да износи 1 m при укрштању** за све напонске нивое, односно при паралелном вођењу у хоризонталној или косој равни:
- $a = 2,0$ m за каблове 110 kV;
 - $a = 0,7$ m за каблове 35 kV;
 - $a = 0,6$ m за остале каблове.
- При укрштању, енергетски кабл се полаже изнад топловода, а изузетно и испод топловода.** Између енергетског кабла и топловода се поставља топлотна изолација од полиуретана, пенушавог бетона (сл.16.2) итд.
- Поред испуњења захтева о најмањим размацима, **код паралелног вођења у косој равни** најближа тачка енергетског кабла, пројектована на хоризонталну раван у нивоу топловода, мора да буде удаљена од спољне ивице канала за топловод најмање 0,5 m за кабл 110 kV и 0,3 m за остале каблове, колико износе сигурносни размаци због обављања радова.
- 16.3 **Ако се изоловане цеви топловода полажу директно у земљу**, сл.16.3, **вредност дозвољеног размака између енергетског кабла и топловода код укрштања, односно паралелног вођења, која је дата за одговарајући напонски ниво у тачки 16.2, треба повећати за најмање 0,3 m.**
- 16.4 **Уколико не могу да се постигну размаци према тачкама 16.2 и 16.3, укрштање или паралелно вођење енергетског кабла и топловода третира се као случај тешких услова одвођења топлоте, па је обавезна примена мера којима се обезбеђује да температурни утицај топловода на кабл не прелази 10 °С, као:**
- а) На месту укрштања или паралелног вођења енергетског кабла и топловода кабл се поставља у слој специјалне мешавине чији је састав дат:**
- у тачки 10.6а за НН и СН каблове;
 - у тачки 10.6б за 110 kV кабл, и у овом случају кабловски ров се испуњава специјалном мешавином до врха рова.
- б) Ако и коришћењем постелица од специјалних мешавина утицај топловода на кабл буде већи од 10 °С, код укрштања са топловодом или приближавања топловоду** (паралелно вођење у дужини до 5 m) технички је изводљива и економски оправдана примена додатних заштитних мера, као:
- примена металних екрана између топловода и енергетског кабла (сл.16.4б);
 - примена појачане изолације топловода према енергетском каблу;
 - примена специјалних мешавина за затрпавање и топловода.
- в) Код укрштања или паралелног вођења енергетског кабла 110 kV са магистралним топловодом потребно је урадити топлотни прорачун и доказати да одржавањем одређеног размака и/или применом неких од заштитних мера датих под а) или б), утицај топловода неће изазвати пораст температуре на плашту кабла за више од 10 °С.**
- 16.5 При укрштању и паралелном вођењу енергетског кабла за јавно осветљење и топловода треба да се оствари размак од најмање 0,3 m.



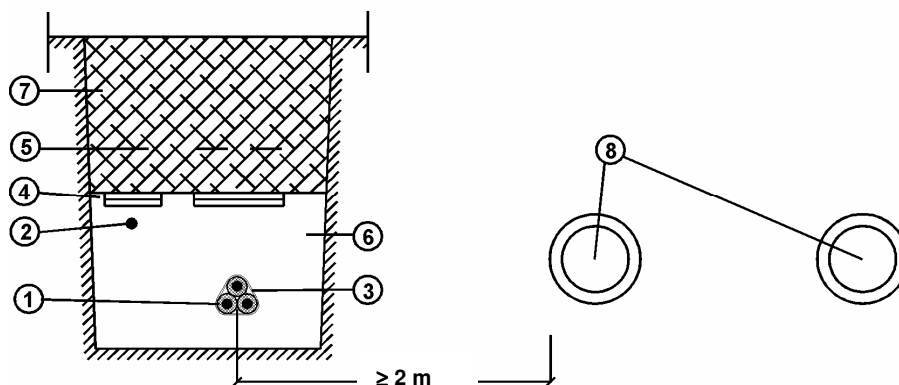
Сл.16.2 Укрштање и паралелно вођење кабла са топловодом у бетонском каналу



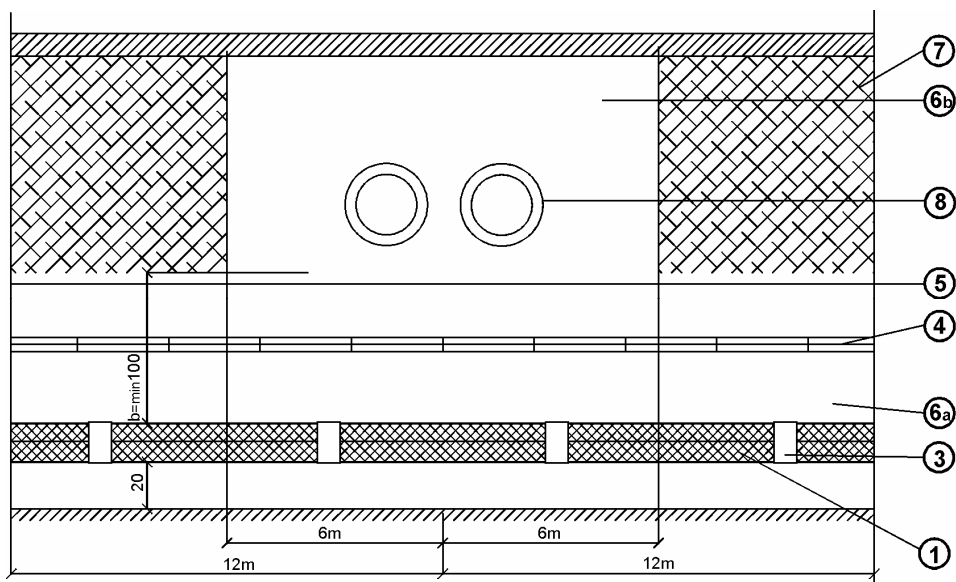
1 енергетски кабл; 2 металне цеви; 3 топловод; 4 упозоравајућа трака.

Сл. 16.46 Примена металних екрана између кабла и топловода

Паралелно вођење кабла са топловодом



Укрштање кабла са топловодом



- 1 64/110 kV енергетски кабл, тип ХНЕ 49-А;
- 2 оптички кабл;
- 3 PVC трака за формирање кабловског снопа;
- 4 заштитна армиранобетонска плоча;
- 5 PVC упозоравајућа трака;
- 6; 6а; 6б кабловска постељица од специјалне мешавине;
- 7 земља добре топлотне проводљивости;
- 8 топловод.

Сл.16.3 Паралелно вођење и укрштање 64/110 kV енергетског кабла типа ХНЕ 49-А са директно укопаном топловодом

17 ПРИБЛИЖАВАЊЕ И УКРШТАЊЕ ЕНЕРГЕТСКИХ КАБЛОВА СА ГАСОВОДОМ

17.1 **Није дозвољено паралелно вођење енергетских каблова испод или изнад гасовода** (паралелно вођење у вертикалној равни).

17.2 **Најмањи размак енергетског кабла од гасовода при укрштању или паралелном вођењу у хоризонталној или косој равни** треба да износи:

- за кабл 110 kV: 1,5 m при укрштању и 2 m при паралелном вођењу;
- за остале каблове: 0,8 m у насељеном месту и 1,2 m изван насељеног места.

Претходни размаци могу да се смање на 1 m за кабл 110 kV и 0,3 m за каблове нижих напона ако се кабл провуче кроз заштитну цев дужине најмање 2 m са обе стране места укрштања или целом дужином паралелног вођења.

Поред испуњења захтева о најмањим размацима, **код паралелног вођења у косој равни** најближа тачка енергетског кабла, пројектована на хоризонталну раван, мора да буде удаљена од гасовода најмање 0,5 m за кабл 110 kV и 0,3 m за остале каблове, колико износе сигурносни размаци због обављања радова.

18 МЕЋУСОБНО ПРИБЛИЖАВАЊЕ И УКРШТАЊЕ ЕНЕРГЕТСКИХ КАБЛОВА

18.1 **Међусобни размак НН и СН енергетских каблова** при паралелном вођењу у **истом кабловском рову** одређује се на основу дозвољеног струјног оптерећења (тачка и табела 24.9а), примењене кабловске постелице и броја каблова, али **не сме да буде мањи од 0,07 m** (сл.10.8в, тачка и табела 24.5). Да се обезбеди да се у рову каблови међусобно не додирују, дуж целе трасе се између каблова поставља низ опека, које се монтирају насатице на међусобном размаку од 1 m.

Полагање у исти ров најмање два кабла 110 kV, као и полагање више НН и/или СН каблова у више нивоа (на пример: на изласку из трансформаторске станице) мора посебно да се анализира (пројектује) и није предмет разматрања ове препоруке.

18.2 **Није дозвољено паралелно вођење енергетског кабла 110 kV испод или изнад НН, СН или 110 kV кабла** (паралелно вођење у вертикалној равни).

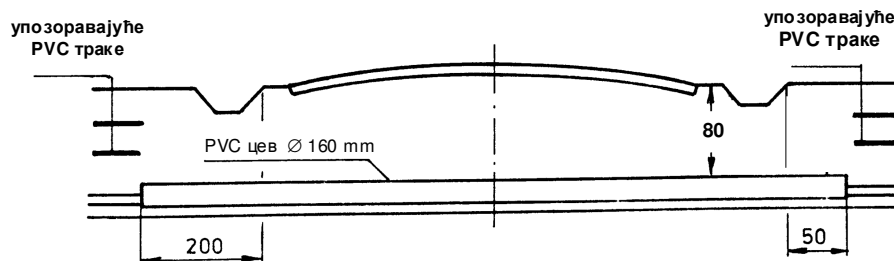
Најмањи размак енергетског кабла 110 kV од постојећег НН, СН или 110 kV кабла при укрштању или паралелном вођењу у хоризонталној или косој равни треба да износи:

- за кабл 110 kV: 1,0 m при укрштању и 1,5 m при паралелном вођењу;
- за остале каблове: 0,5 m при укрштању и 1,0 m при паралелном вођењу.

Поред тога, **код паралелног вођења у косој равни** најближа тачка енергетског кабла 110 kV, пројектована на хоризонталну раван у нивоу постојећег кабла нижег напона, мора да буде удаљена од кабла нижег напона најмање 0,5 m, колико износе сигурносни размак због обављања радова. Уколико се предвиђени размаци не могу да одрже, енергетски кабл 110 kV се полаже у слој постелице од специјалне мешавине, тачка 10.6б.

19 УКРШТАЊЕ ЕНЕРГЕТСКОГ КАБЛА СА ПУТЕМ ИЗВАН НАСЕЉА

19.1 **Укрштање кабловског вода са путем изван насеља**, када не сме да се омета саобраћај, врши се тако што се кабл полаже у бетонски канал, односно у бетонску или пластичну цев увучену у хоризонтално избушен отвор, тако да је могућа замена кабла без раскопавања пута. Вертикални размак између горње ивице кабловске канализације и површине пута треба да износи најмање 0,8 m (сл.19.1).



Сл. 19.1 Укрштање кабла са путем изван насеља

19.2 **Размак кабловског вода од пута изван насеља при паралелном вођењу, односно приближавању, треба да износи:**

- за аутопут и пут I-ог реда: најмање 5 m за паралелно вођење и најмање 3 m за приближавање;
- за путеве изнад I-ог реда: најмање 3 m за паралелно вођење и најмање 1 m за приближавање.

20 УКРШТАЊЕ ЕНЕРГЕТСКОГ КАБЛА СА ВОДОТОКОМ

20.1 **Укрштање енергетског кабла са водотоком (река, канал итд.)** изводи се полагањем преко мостова (поглавље 21).

Изузетно, укрштање са водотоком може да се изведе полагањем кабла на дно или испод дна водотока.

20.2 **Полагање енергетског кабла на дно водотока** изводи се на месту где је брзина воде најмања и где не постоји могућност већег одрона земље или насипања муља.

За ово полагање се користи **енергетски кабл појачан арматуром од челичних жица, на пример трожилни кабл типа ХНЕ 49/84-А** (тачка 21.1).

20.3 **Полагање енергетског кабла испод дна водотока** изводи се провлачењем кроз цев на дубини од најмање 1,5 m испод дна водотока.

21 ПОЛАГАЊЕ ЕНЕРГЕТСКИХ КАБЛОВА ПРЕКО МОСТОВА

21.1 **За полагање преко мостова препоручује се коришћење енергетских каблова са ХРЕ изолацијом и полимерним плаштом, тип ХНЕ 49-А, ХР00-АS итд.**

За полагање СН каблова преко мостова са интензивним вибрацијама препоручује се коришћење трожилног кабла типа ХНЕ 49/84-А. То је кабл који се састоји од три поужена једножилна кабла типа ХНЕ 49-А, који је армиран округлом поцинкованом жицом и заштићен полиетиленским плаштом високе густине.

21.2 **Није дозвољено полагање енергетских каблова са оловним плаштом типа НР0 13-АS итд. преко челично-решеткастих мостова.**

- 21.3 **Препоручује се полагање енергетских каблова испод пешачких стаза у каналима или цевима.** Ови канали (цеви) не смеју да служе за одвод атмосферске воде, а мора да буде омогућено природно хлађење каблова.
Код моста већег распона уобичајено је да се у његовој унутрашњости изведе посебан тунел са конзолама или испустима за ношење каблова.
Дозвољено је слободно полагање енергетских каблова по конструкцији моста ако су неприступачни нестручним лицима и ако су заклоњени од директног сунчевог зрачења.
- 21.4 **Свуда где је то могуће, енергетске каблове треба полагати без кабловских спојница на мосту.** Препоручује се да кабловске спојнице буду удаљене најмање 10 m од крајева моста.
Ако је постављање кабловске спојнице на мосту изнуђено решење, кабловску спојницу треба монтирати на носећи стуб или на неко друго стабилно место.
- 21.5 Треба избегавати полагање енергетског кабла преко дрвеног моста.
У супротном, кабл се провлачи кроз заштитну пластичну или металну цев.
- 21.6 **На местима прелаза енергетског кабла са конструкције моста на обалне ослонце моста, као и на прелазима преко дилатационих делова моста, треба предвидети одговарајућу резерву кабла.**

22 КАБЛОВСКИ ПРИБОР

- 22.1 **Кабловски прибор** се састоји од кабловских завршница (глава) за унутрашњу или спољашњу монтажу и кабловских спојница.
Препоручује се коришћење топлоскупљајућег и хладнокупљајућег кабловског прибора.
Произвођач (испоручилац) енергетског кабла је обавезан да обезбеди целокупан материјал, алат и прибор за израду кабловских спојница и завршница, као и да изда детаљна упутства за њихову монтажу.
- 22.2 **За спајање проводника НН и СН каблова препоручује се поступак пресовања (SRPS N.F4.101), али је дозвољено коришћење и стезаљки са завртњима.**
Стезаљке са завртњима користе се у рачвастим спојницама ("Т" или "У" прикључци ниског напона), као и за прикључење крајева енергетских каблова ниског напона на сабирнице разводне табле трансформаторске станице (ТП-1а) или кабловске прикључне кутије (Додатак 2 ТП-13). Повезивање одвојног кабла у рачвастој спојници изводи се без пресецања проводника главног НН вода.
- 22.3 **Спајање проводника 64/110 kV кабла врши се према упутству произвођача (испоручиоца) кабловског прибора.** Најчешће се примењује:
- **техника топљења:** гасно (аутогено) заваривање проводника или топљење у затвореном калупу уз примену специјалних прашкова;
 - **поступак пресовања** коришћењем хидрауличних преса.
- Обавезна је верификација споја** од стране произвођача (испоручиоца) кабловског прибора пре даљих радова на изради завршнице или спојнице.
- 22.4 За сваки тип пресе или стезаљке са завртњима, као и за целокупан материјал за пресовање, мора да се обезбеди атест овлашћене независне институције.
- 22.5 **За НН каблове типа PP00-ASJ, XP00-AS итд. се користе кабловске спојнице и завршнице од топлоскупљајућих или хладнокупљајућих елемената или са наливним системима од епоксида или полиуретана.**

22.6 **За СН и 64/110 kV каблове типа ХНЕ 49-А, NPO 13-AS итд. препоручује се коришћење кабловских спојница и завршница од топлоскупљајућих, хладно-скупљајућих или префабрикованих елемената.**

За СН каблове са папирном изолацијом типа NPO 13-AS итд. дозвољено је коришћење и класичног кабловског прибора.

22.7 **Кабловске спојнице и завршнице треба да монтирају стручно обучени радници** који стриктно примењују сва упутства и захтеве произвођача, посебно у вези технолошке чистоће, непрекидности електричне заштите, слабопроводних слојева и плашта СН и 64/110 kV каблова.

Радници који монтирају кабловске спојнице и завршнице на кабловима 110 kV морају да имају лиценцу за обављање таквих радова.

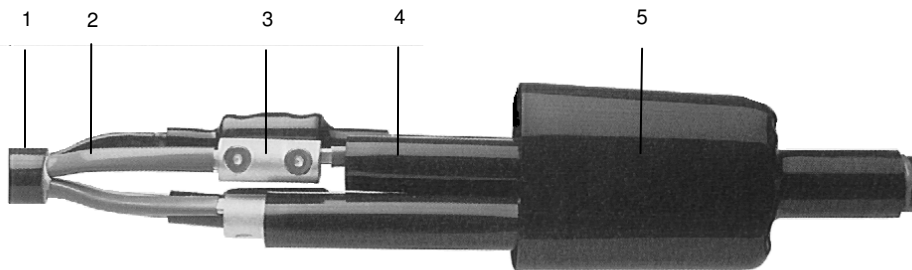
22.8 **Кабловска завршница СН и 110 kV кабла** мора да поседује прибор (стезаљка, плетеница или уже за уземљење итд.) за једноставно прикључење електричне заштите, односно металног плашта и арматуре кабла, на систем уземљења трансформаторске станице или стуба, и то: директно (сл.22.10в), односно преко металног кућишта за увођење кабловског вода 110 kV у SF₆ постројење (сл.22.10г).

Кабловска спојница се посебно не уземљује, независно од тога да ли је од изолационог материјала или метална. Преко кабловске спојнице мора да буде обезбеђена поуздана галванска непрекидност електричне заштите. **Електрична заштита се не уземљује код спојнице**, независно од тога да ли је реч о стандардној спојници или о спојници са додатном кутијом за преплитање електричних заштита, тачка 9.11.

22.9 Код израде кабловске завршнице за НН и СН каблове обавезна је примена уздужно заптивених стопица (папучица).

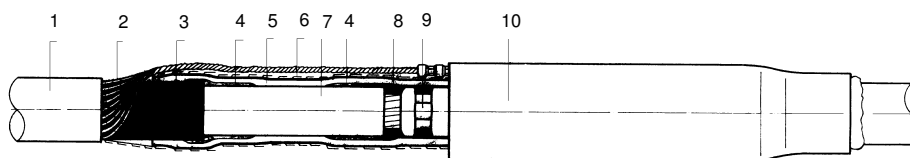
22.10 На сл.22.10 дати су **примери извођења кабловског прибора**, и то:

- сл.22.10а: топлоскупљајућа кабловска спојница за НН ХРЕ или PVC кабл;
- сл.22.10б: топлоскупљајућа кабловска спојница за СН једножилни ХРЕ кабл;
- сл.22.10в: топлоскупљајућа кабловска завршница за спољашњу монтажу за СН једножилни кабл типа ХНЕ 49-А;
- сл.22.10г: кабловска завршница за једножилни 64/110 kV кабл типа ХНЕ 49-А за увођење кабловског вода у SF₆ постројење 110 kV.



1 спољашњи плашт кабла; 2 жила кабла; 3 спојна чаура за пресовање;
4 топлоскупљајућа цев за жилу кабла; 5 спољашња топлоскупљајућа цев.

Сл.22.10а Топлоскупљајућа кабловска спојница за НН кабл



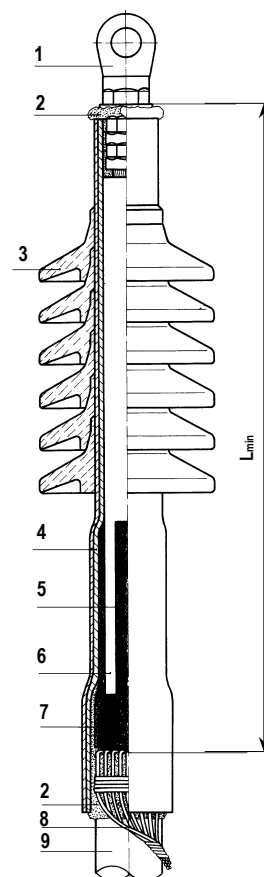
1 спољашњи HDPE плашт кабла; 2 електрична заштита; 3 слабопроводни слој;
4 марамица за регулацију електричног поља; 5 двослојна композитна топлоскупљајућа цев;
6 бакарна мрежаста трака; 7 изолација кабла; 8 слабопроводна трака; 9 спојне чауре за пресовање; 10 спољашња заштитна топлоскупљајућа цев.

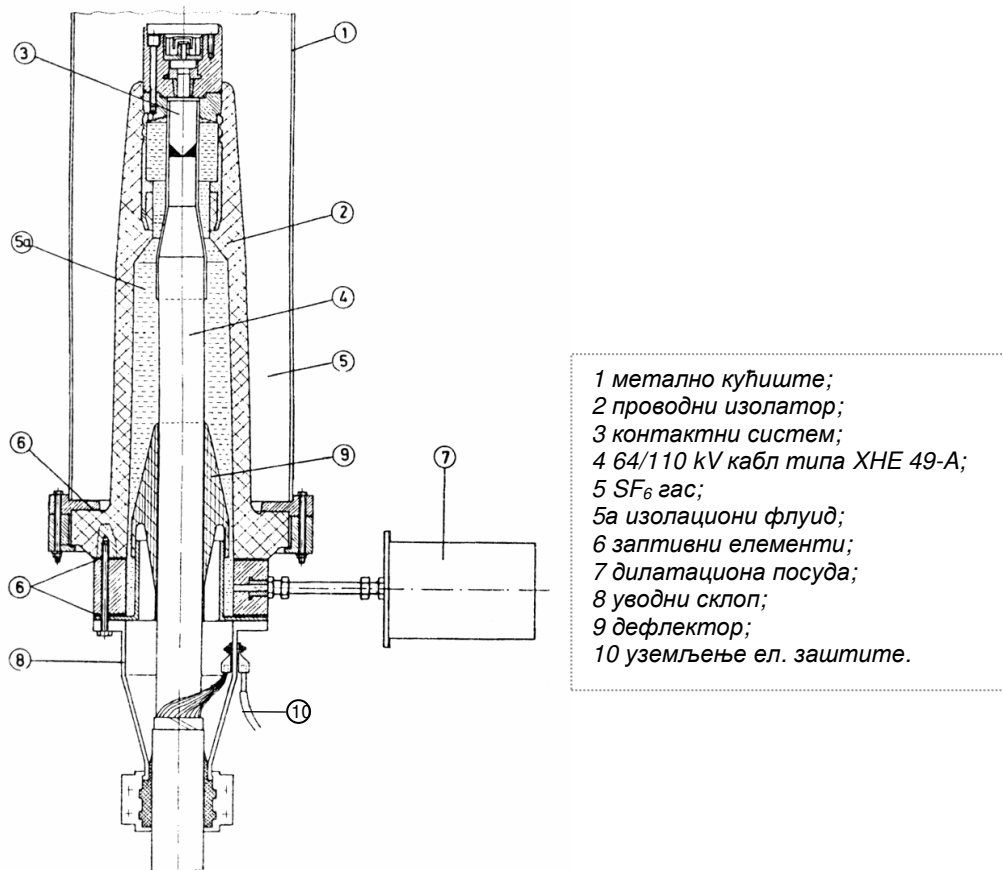
Сл.22.106 Топлоскупљајућа кабловска спојница за СН кабл типа ХНЕ 49-А

Кабл	L_{min} [m]
10 kV	0,55
20 kV	0,58
35 kV	0,68

- 1 кабловска папуча;
- 2 гумена трака за испуну и заптивање;
- 3 изолациони чланци;
- 4 двослојна композитна топлоскупљајућа цев;
- 5 марамица за регулацију електричног поља;
- 6 изолација кабла;
- 7 слабопроводни слој;
- 8 електрична заштита и уже за уземљење;
- 9 спољашњи HDPE плашт кабла.

Сл.22.10в Топлоскупљајућа кабловска завршница за спољашњу монтажу за СН кабл типа ХНЕ 49-А





Сл.22.10г Кабловска завршница за увођење 64/110 kV кабла типа ХНЕ 49-А у SF₆ постројење 110 kV

23 ИСПИТИВАЊЕ ЕНЕРГЕТСКИХ КАБЛОВА И КАБЛОВСКОГ ПРИБОРА

23.1 **Испитивање енергетског кабла и кабловског прибора врши се као рутинско испитивање, испитивање типа, специјално испитивање, пријемно испитивање и испитивање после полагања кабловског вода.**

Испитивање енергетског кабла са папирном изолацијом типа NPO 13-AS итд. врши се према SRPS N.C5.025.

Испитивање енергетског кабла са изолацијом од полимерних материјала типа XHE 49-A, PP00-ASJ итд. врши се према SRPS N.C5.225, SRPS N.C5.235, SRPS IEC 60502 и IEC 60840/2004.

Испитивања каблова, кабловског система и кабловског прибора врше се код произвођача или у некој акредитованој лабораторији. Овлашћена независна институција издаје атест или сертификат о резултату испитивања.

Испитивање типа и специјална испитивања по правилу се не врше ако произвођач (испоручилац) приложи атесте и сертификате о овим испитивањима.

23.2 **Рутинско** (обавезно, комадно) **испитивање** је испитивање које се врши на свакој произведеној дужини кабла или сваком елементу кабловског прибора, да би се утврдила исправност кабла или прибора, а обухвата:

- мерење електричне отпорности проводника (SRPS N.C0.035 и IEC 60840);
- рутинска (обавезна) напонска испитивања, тачке 23.7 и 23.8;
- мерење нивоа парцијалних пражњења за СН и 64/110 kV каблове са XPE изолацијом типа XHE 49-A, тачка 23.9;
- мерење фактора диелектричних губитака $\tan \delta$ за папирне каблове назначеног напона 20/35 kV, типа NPZO 13-A.

23.3 **Испитивање типа** је испитивање које врши произвођач на новом типу енергетског кабла, спојнице или завршнице, као представнику других истих или сличних типова. За енергетске каблове са XPE изолацијом типа XHE 49-A у типска испитивања спада, на пример:

- испитивање атмосферским ударним напоном, тачка 23.10;
- типско испитивање парцијалних пражњења (на око 95 °C, IEC 60885-3);
- мерење фактора диелектричних губитака $\tan \delta$ као функција напона, односно температуре проводника;
- типско напонско испитивање са цикличним загревањем кабла, тачка 23.11;
- типска напонска испитивања наизменичним напоном;
- типска испитивања механичких особина изолације и плашта;
- типска мерења дебљина изолације и плашта итд.

23.4 **Специјална испитивања** се врше на узорку кабла или кабловског система да би се проверило да ли енергетски кабл испуњава захтеве стандарда по којем је произведен, ствар су посебног договора између произвођача (испоручиоца) и корисника, а обухватају, на пример:

- напонско испитивање за СН и 64/110 kV каблове и то:
 - четворочасовно за каблове са полимерном изолацијом, са троструком вредношћу фазног напона ($3 \cdot U_0$);
 - 15. минутно за папирне каблове, са вредностима наизменичних (једносмерних) испитних напона увећане за 1,6 пута (2,4 пута) у односу на вредности дате у табели 23.7.

- проверка конструкције кабла: мерење спољашњег пречника проводника и кабла, мерење дебљине изолације, заштитних слојева и плашта итд.

23.5 **Пријемно испитивање** је испитивање које се обавља у присуству корисника (купца) у производним просторијама произвођача. По правилу обухвата захтеве рутинског испитивања, а по договору и поједина специјална испитивања.

23.6 **Активна отпорност проводника [Ω/km] енергетског кабла**, SRPS N.C0.015 и IEC 60840/2004, мери се једносмерном струјом у безнапонском стању кабла.

Кабл се држи најмање 12 h у испитној просторији, тако да се мерење врши на температури проводника (20 ± 15) °C.

Активна отпорност проводника кабла, измерена на собној температури, своди се (прерачунава) на температуру + 20 °C и на дужину кабла 1 km (IEC 60287-1-1).

23.7 **Рутинско (обавезно) напонско испитивање енергетског кабла са папирном изолацијом типа NPO 13-AS** итд. се врши једносмерним или наизменичним напоном, али **препоручује се испитивање једносмерним напоном**.

Испитни напон се прикључује између једне жиле и металног плашта, при чему се код трожилног кабла преостале две жиле везују за метални плашт.

Вредности испитних напона и дужине трајања испитивања дате су у табели 23.7.

Табела 23.7: Испитни напони каблова са папирном изолацијом

Назначени напон кабла U_0/U [kV/kV]	Испитни напон U_i [kV]	
	наизменични, 50 Hz	једносмерни
6/10	14	33,6
20/35	35	84,0
трајање испитивања	5 мин.	5 мин.

23.8 **Рутинско (обавезно) напонско испитивање изолације кабла од полимерних материјала типа XHE 49-A, PP00-ASJ** итд. има за циљ проверавање отпорности изолације према маси. Испитивање се врши на температури амбијента, коришћењем једнофазног наизменичног напона фреквенције 50 Hz који се прикључује између проводника и уземљене електричне заштите код једножилних СН и 64/110 kV кабла типа XHE 49-A, односно између проводника једне жиле и кратко везаних и уземљених преосталих проводника код НН кабла типа PP00-ASJ итд.

Испитни напон U_i [kV] се постепено подиже док се постигне ефективна вредност **$U_i = 2,5 \cdot U_0$ која се одржава 30 минута** код испитивања 64/110 kV кабла (тачка 9.3 и табела 4 IEC 60840), односно **5 минута** код испитивања НН и СН каблова, и у том времену не сме да дође до прескока или пробоја изолације, табела 23.8.

Алтернативно, испитни напон износи $U_i = U_0$, који се одржава 24 h.

Табела 23.8: Испитни напони каблова са полимерном изолацијом

Назначени напон кабла U_0/U [kV/kV]	Испитни напон U_i [kV]					
	наизменични, 50 Hz				једносмерни	
	$U_i = 2,5 \cdot U_0$	трајање	$U_i = U_0$	трајање	U_i [kV]	трајање
0,6/1	1	5 min.	0,6	24 h	6,0	15 min.
6/10	15		6		-	
12/20	30		12			
20/35	50		20			
64/110	160	30 min.	64			

23.9 Мерење нивоа парцијалних пражњења је рутинско испитивање за СН и 64/110 kV енергетске каблове типа ХНЕ 49-А и кабловски прибор.

Мерење се врши после завршених диелектричних испитивања. Између проводника и уземљене електричне заштите прикључује се наизменичан испитни напон приближно синусоидалног облика и фреквенције 49 Hz до 61 Hz.

Мерење се врши са две вредности испитног напона: $U_i = 1,75 \cdot U_0$ у трајању 10 s, а наставља се са испитним напоном $U_i = 1,5 \cdot U_0$ у трајању 60 s, табела 23.9.

Максимално дозвољени ниво парцијалних пражњења при испитном напону $U_i = 1,5 \cdot U_0$ износи:

- за кабл 64/110 kV (табела 4 и тачка 9.2 IEC 60840): 10 pC за кабл и 5 pC за кабловски прибор;
- за СН кабл: 20 pC за кабл (SRPS N.C5.235) и 10 pC за кабловски прибор.

Табела 23.9: Испитни напони код мерења парцијалних пражњења

Назначени напон кабла U_0/U [kV/kV]	Испитни напон U_i [kV], наизменични ≥ 50 Hz	
	$U_i = 1,75 \cdot U_0$	$U_i = 1,5 \cdot U_0$
6/10	10,5	9
12/20	21	18
20/35	35	30
64/110	110	96
трајање испитивања	10 s	60 s

23.10 Испитивање атмосферским ударним напоном спада у испитивање типа и за енергетске каблове типа ХНЕ 49-А врши се према стандардима:

- SRPS N.C0.235 за каблове назначеног напона 6/10 kV, 12/20 kV и 20/35 kV;
- IEC 60840, тачка 12.3.7 и табела 4, за кабловски систем (узорак кабла са уграђеним префабрикованим завршницама) назначеног напона 64/110 kV.

Испитни узорак енергетског кабла, односно кабловског система, се загрева пропуштањем електричне струје све док температура проводника не достигне вредност око 5 °C изнад трајно дозвољене вредности (око 95 °C), после чега се врши напонско испитивање.

Облик импулсног таласа је: $(1,2 \mu s \pm 30\%) / (50 \mu s \pm 20\%)$.

Темене вредности испитног напона су: 75 kV за кабл 6/10 kV, 125 kV за кабл 12/20 kV, 170 kV за кабл 20/35 kV и 550 kV за кабловски систем 64/110 kV.

Редослед испитивања обухвата 10 удара испитним напоном негативног поларитета и 10 удара испитним напоном позитивног поларитета.

23.11 Напонско испитивање са цикличним загревањем кабла спада у испитивање типа и за енергетске каблове назначеног напона 64/110 kV типа ХНЕ 49-А користи се за кабловски систем (узорак кабла са уграђеним префабрикованим завршницама) и врши према тачки 12.3.6 и табели 4 IEC 60840.

Редослед испитивања узорка кабловског система обухвата 20 циклуса: пропуштањем електричне струје кабл се загрева најмање 8 h све док температура проводника не достигне вредност око 95 °C, ова температура се одржава најмање 2 h, после чега наступа природно хлађење у трајању најмање 16 h.

За време комплетног циклуса загревања кабловски систем је прикључен на испитни напон $U_i = 2 \cdot U_0$, 50 Hz - за 64/110 kV кабл типа ХНЕ 49-А: 128 kV.

23.12 **Препоручује се да се после полагања, спајања и завршавања енергетског СН или 110 kV кабла типа ХРЕ 49-А изврши напонско испитивање изолације и спољашњег плашта кабловског вода.**

Напонско испитивање изолације после полагања новог кабла врши се наизменичним испитним напоном $U_i = 2 \cdot U_0$, фреквенције 20 Hz до 300 Hz.

Испитни напон се прикључује између проводника и уземљене електричне заштите. Време испитивања је 1 h.

Алтернативно: напонско испитивање изолације се врши наизменичним испитним напоном $U_i = U_0$ индустријске фреквенције. **Време испитивања је 24 h.**

Напонско испитивање спољашњег плашта новог кабла врши се после затрпавања кабловског рова, испитним једносмерним напоном $U_i = 4 \text{ kV/mm}$ плашта, али не већим од 10 kV. Испитни напон се прикључује између неуземљене електричне заштите и земље. Време испитивања је 1 min.

24 ДОЗВОЉЕНО СТРУЈНО ОПТЕРЕЋЕЊЕ КАБЛОВСКОГ ВОДА

24.1 **Дозвољено струјно оптерећење кабловског вода** се прорачунава за услове стационарног режима (тачка 24.2) и за режим кратког споја (тачка 24.11), док режим нужног (принудног) погона није предмет разматрања ове препоруке.

Разматрају се **случајеви без исушивања тла** око кабла, осим у примеру 3 где се информативно разматра дозвољено оптерећење са уважавањем исушивања тла.

24.2 **Струјно оптерећење у стационарном режиму** треба да буде ограничено тако да топлота произведена у кабловском воду буде одведена у околину и да се не прекорачи максимална дозвољена температура проводника (за ХРЕ кабл: 90 °C).

Дозвољено струјно оптерећење кабловског вода I_{doz} [A] рачуна се према емпиријском изразу који се користи за рутинске инжењерске прорачуне:

$$I_{doz} = k_{op} \cdot k_{\theta t} \cdot k_{\rho t} \cdot k_{bk} \cdot I_{nd}$$

где је:

k_{op} = сачинилац промене дозвољеног струјног оптерећења I_{doz} од фактора оптерећења (фактор испуне) m дневног дијаграма оптерећења, чије су вредности за стално (100%) оптерећење и за променљиво (дистрибутивно) оптерећење дате у тачкама 24.6 и 24.7, односно у табели 24.7;

$k_{\theta t}$ = сачинилац промене дозвољеног струјног оптерећења I_{doz} од температуре тла θ_t на дубини полагања кабловског вода, и у опсегу $+5\text{ °C} \leq \theta_t \leq +25\text{ °C}$ рачуна се према изразу (тачка 24.3): $k_{\theta t} = 1 + 0,007 \cdot (\theta_{ref} - \theta_t)$;

$k_{\rho t}$ = сачинилац промене дозвољеног струјног оптерећења I_{doz} од специфичне топлотне отпорности тла ρ_t , тачка и табела 24.4;

k_{bk} = сачинилац промене дозвољеног струјног оптерећења I_{doz} од броја кабловских водова b_k у рову и њиховог међусобног удаљења "а", тачка и табела 24.5;

I_{nd} = назначена вредност дозвољеног струјног оптерећења кабловског вода у [A], која је утврђена (прорачуната) за променљиво (дистрибутивно) оптерећење и референтне услове дате у тачки и табели 24.7.

24.3 **Просечна дневна температура тла зими**, на основу дугогодишњих мерења на дубинама које су приближне дубинама полагања енергетских каблова, **за наше поднебље** износи:

- $\theta_t \approx +5\text{ °C}$ за енергетске каблове 6/10 и 12/20 kV, дубина полагања: $h = 0,7\text{ m}$;
- $\theta_t \approx +8\text{ °C}$ за енергетске каблове 20/35 kV, дубина полагања: $h = 1\text{ m}$;
- $\theta_t \approx +10\text{ °C}$ за енергетске каблове 64/110 kV, дубина полагања: $h = 1,2\text{ m}$,

па сачинилац $k_{\theta z}$ зими износи ($\theta_{ref} = 20\text{ °C}$, тачка 4.1):

- $k_{\theta z} = 1 + 0,007 \cdot (\theta_{ref} - \theta_t) = 1 + 0,007 \cdot (20 - 5) = 1,105$ за каблове до 20 kV;
- $k_{\theta z} = 1 + 0,007 \cdot (\theta_{ref} - \theta_t) = 1 + 0,007 \cdot (20 - 8) = 1,084$ за кабл 20/35 kV и
- $k_{\theta z} = 1 + 0,007 \cdot (\theta_{ref} - \theta_t) = 1 + 0,007 \cdot (20 - 10) = 1,07$ за кабл 64/110 kV.

Просечна дневна температура тла лети на дубини полагања кабловског вода до $h = 1,2\text{ m}$ за наше поднебље износи: $\theta_t \approx 20\text{ °C}$, па се усваја да сачинилац $k_{\theta L}$ лети за све каблове напона до 110 kV износи: $k_{\theta L} = 1$.

24.4 **Специфична топлотна отпорност тла** ρ_t [K·m/W] зависи од врсте тла (песак, шљунак, земља, посебне мешавине) и садржаја воде у тлу у току године. На траси будућег кабловског вода 110 kV ρ_t се обавезно мери у сувом и влажном периоду.

У време максималног годишњег оптерећења дистрибутивног конзума (зимски период) **рачуна се са нормалном влажношћу тла** испод слободних и асфалти-

раних површина у којима се налази кабл, тако да се **за практичне прорачуне и за стандардну кабловску постелу која је одабрана према тачки 10.6 усваја:**

$\rho_t \approx 1 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ ($k_{pt} = 1$). За доминантно песковито тло се усваја: $\rho_t \approx 1,5 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ ($k_{pt} \approx 0,85$) зими и $\rho_t \approx 2,5 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ ($k_{pt} \approx 0,7$) лети, и у том случају, да би се избегла опасност од исушивања тла око кабла, треба применити постелу од специјалних мешавина према тачки 10.6 или рачунати на смањење дозвољених оптерећења I_{doz} према сачиниоцу k_{pt} из табеле 24.4, пример 1, или пример 3 за вод 110 kV.

Табела 24.4: Сачинилац промене дозвољеног струјног оптерећења k_{pt} кабловског вода од специфичне топлотне отпорности тла ρ_t [K·m/W]

ρ_t [K·m/W]	0,70	1,00	1,20	1,50	2,00	2,50	3,00	
k_{pt}	NPO	1,12	1,00	0,94	0,87	0,78	0,71	0,66
	XPE, PVC	1,14	1,00	0,93	0,85	0,75	0,68	0,62

24.5 **Када се у исти ров полаже велики број кабловских водова**, на пример на излазу из ТС 110/X kV или ТС X/0,4 kV, вредност сачиниоца k_{bk} према табели 24.5 може да буде веома мала и тако знатно умањена преносна моћ кабловских водова.

Такви случајеви треба посебно да се анализирају, а **проблем се решава:**

- усвајањем већег пресека проводника кабловског вода (тачка 8.1);
- применом каблова са изолацијом од умреженог полиетилена типа ХНЕ 49-А, ХР00-ASJ итд., под условом да то не доведе до исушивања тла;
- применом постелу од специјалних мешавина, тачка 10.6.

Табела 24.5: Сачинилац промене дозвољеног струјног оптерећења k_{bk} кабловског вода од броја једнако оптерећених каблова b_k положених у рову

Број каблова у рову b_k	2	3	4	5	6	7	8	10	
k_{bk}	$a = 0,07 \text{ m}$	0,82	0,72	0,66	0,62	0,59	0,57	0,55	0,52
	$a = 0,20 \text{ m}$	0,86	0,77	0,73	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61

a - међусобно удаљење кабловских водова у рову.

24.6 **Фактор оптерећења (фактор испуне) m** дневног дијаграма оптерећења је однос средњег и максималног оптерећења и износи $m = 1$ за стално (100%) оптерећење, док **за променљиво (дистрибутивно, циклично) оптерећење износи:**

- **$m = 0,7$ за конзум који се напаја из НН и СН мреже**, и то одговара дијаграму оптерећења са смењивањем максималног оптерећења у трајању 6 сати, са оптерећењем у висини 60% максималног оптерећења у наредних 18 сати;
- **$m = 0,80$ за конзум који се напаја из 110 kV мреже**, и то одговара дијаграму оптерећења са смењивањем максималног оптерећења у трајању 6 сати, са оптерећењем у висини 73% максималног оптерећења у наредних 18 сати.

24.7 **Назначене вредности дозвољеног струјног оптерећења I_{nd} [A]** кабловског вода дате су у табели 24.7 за референтне услове: температура тла $\theta_t = \theta_{ref} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, специфична топлотна отпорност тла $\rho_t = 1 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ (за кабл 110 kV: $\rho_t \leq 1,2 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$), дубина полагања $h = 0,7 \text{ m}$ ($h = 1 \text{ m}$ за кабл 35 kV; $h = 1,2 \text{ m}$ за кабл 110 kV), један кабл у рову ($b_k = 1$), **променљиво (дистрибутивно) оптерећење** фактора испуне: **$m = 0,70$ за НН и СН мрежу и $m = 0,80$ за мрежу 110 kV**, са уважавањем утицаја циркулационих струја у електричним заштитама на умањење вредности I_{nd} .

У табели 24.7 су вредности I_{nd} [A] за НН и СН кабловске водове преузете од произвођача, док су вредности I_{nd} [A] за вод изведен каблом 64110 kV типа ХНЕ 49-А прорачунате према IEC 60853-2, за референтне услове дате у овој табели.

Закључак: избором кабловске постелјице према тачки 10.6, референтне температуре тла која одговара температури тла у летњем периоду, типског пресека кабла и назначене вредности дозвољене струје I_{nd} [A] према табели 24.7, искључује се могућност појаве исушивања тла око енергетског кабла.

Табела 24.7: Назначене вредности дозвољеног струјног оптерећења I_{nd} [A] кабловског вода изведеног кабловима са Al проводницима, за променљиво (дистрибутивно, циклично) оптерећење

Пресек Al проводника кабла [mm ²]	Назначена вредност дозвољене струје I_{nd} [A]						
	НН кабл		СН кабл				кабл 64/110 kV
	PVC	XPE	6/10 kV ; 12/20 kV		20/35 kV		
		NPO	XPE	NPO	XPE	XPE	
50	141	157	-	-	-	-	-
95	211	233	190	262	185	253	
150	270	300	250	333	235	321	
240	-	-	325	436	305	419	
630	-						726
800	-						797
1000	-						878

$\theta_{ref} = 20\text{ }^\circ\text{C}$; $\rho_t = 1\text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$; $b_k = 1$. Нема исушивања тла око кабла.
 $h = 0,7\text{ m}$ за каблове до 20 kV; $h = 1\text{ m}$ за кабл 35 kV и $h = 1,2\text{ m}$ за кабл 110 kV;
 фактор оптерећења (испуне): $m = 0,70$ за НН и СН мрежу;
 фактор оптерећења (испуне): $m = 0,80$ за 110 kV мрежу.
 PVC (XPE) НН кабл: PP00-AS (XP00-AS итд.);
 NPO кабл: трожилни (NPO 13-AS, NPZO 13-A итд.);
 XPE кабл: три једножилна СН или 110 kV кабла у троугластом снопу (ХНЕ 49-А).
Напомена: За стално (100%) оптерећење вредности струја из ове табеле треба помножити са сачиниоцем:
 $k_{op} = 0,75$ за НН и СН каблове и $k_{op} = 0,91$ за 64/110 kV кабл.

24.8 **Распоред каблова при полагању у исти ров** може да буде у једном нивоу или у два нивоа ("пакет" каблова). Корекциони фактори у оба ова случаја су приближно једнаки за једнак број каблова у рову. Зато се полагање у два нивоа препоручује тамо где је простор за смештај каблова мали и где постоје услови за поуздано откривање квара у каблу и његову оправку.

24.9 У табели 24.9 дају се резултати прорачуна дозвољених струјних оптерећења кабловских водова са Al проводницима у време максималног годишњег оптерећења дистрибутивног конзума - зимски период ($I_{dozL} = k_{dL} \cdot I_{nd}$), односно летњи период ($I_{dozZ} = k_{dZ} \cdot I_{nd}$), за "просечне" карактеристике тла ($\rho_t = 1\text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$) и стандардну кабловску постелјицу, тачка 10.6, **нема исушивања тла око кабла:**

- табела 24.9а за НН и СН кабловске водове, и
- табела 24.9б за кабловски вод 110 kV типа ХНЕ 49-А према IEC 60853-2.

У случају напајања потрошача са сталним (100%) оптерећењем, вредности из табеле 24.9а за НН и СН каблове треба помножити сачиниоцем $k_{op} = 0,75$, односно сачиниоцем $k_{op} = 0,91$ за 64/110 kV кабл у табели 24.9б.

Табела 24.9а: Дозвољена струјна оптерећења I_{doz} [А] НН и СН кабловских водова са АI проводницима у зимском и летњем периоду за променљиво (дистрибутивно, циклично) оптерећење

Изолациј а кабла	Пресек АI проводника [mm ²]	Дозвољена струјна оптерећења кабловског вода зими: $I_{dozZ} = k_{dZ} \cdot I_{nd}$ [А] и лети: $I_{dozL} = k_{dL} \cdot I_{nd}$ [А]							
		0,6/1 kV		6/10 kV		12/20 kV		20/35 kV	
		I_{dozZ}	I_{dozL}	I_{dozZ}	I_{dozL}	I_{dozZ}	I_{dozL}	I_{dozZ}	I_{dozL}
PVC	50	156	141	-	-	-	-	-	-
	95	233	211	-	-	-	-	-	-
	150	298	270	271	245	-	-	-	-
	240	-	-	348	315	-	-	-	-
NPO	95	-	-	210	190	210	190	201	185
	150	-	-	276	250	276	250	255	235
	240	-	-	359	325	359	325	331	305
ХРЕ	50	173	157	-	-	-	-	-	-
	95	257	233	290	262	290	262	274	253
	150	331	300	368	333	368	333	348	321
	240	-	-	482	436	482	436	454	419

$\rho_t = 1 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$; $b_k=1$; $k_{op} = 1$; $m = 0,7$ - променљиво (дистрибутивно) оптерећење.
 зими: $\theta_t = +5 \text{ }^\circ\text{C}$ за каблове до 20 kV и $\theta_t = +8 \text{ }^\circ\text{C}$ за кабл 35 kV; лети: $\theta_t = \theta_{ref} = +20 \text{ }^\circ\text{C}$.
 $k_{dZ} = 1,105$ - збирни сачинилац доз. струјног оптерећења кабловског вода до 20 kV зими;
 $k_{dZ} = 1,084$ - збирни сачинилац доз. струјног оптерећења кабловског вода 35 kV зими;
 $k_{dL} = 1,0$ - збирни сачинилац доз. струјног оптерећења кабловског вода у летњем периоду.
 I_{nd} – назначена струја за променљиво (дистрибутивно) оптерећење, Табела 24.7, у [А].
 Напомена: За стално (100%) оптерећење вредности струја из ове табеле треба помножити са сачиниоцем: $k_{op} = 0,75$.

Табела 24.9б: Дозвољена оптерећења (струја и снага) 110 kV кабловског вода типа ХНЕ 49-А у зимском и летњем периоду за променљиво (дистрибутивно, циклично) оптерећење - прорачун према IEC 60853-2

Тип кабла	Пресек АI проводника [mm ²]	Назначена струја (снага)		Дозвољена оптерећења 110 kV кабловског вода зими и лети			
		I_{nd} [А]	S_{nd} [MVA]	I_{dozZ} [А]	S_{dozZ} [MVA]	I_{dozL} [А]	S_{dozL} [MVA]
ХНЕ 49-А	630	726	138	777	148	726	138
	800	797	152	853	162	797	152
	1000	878	167	939	179	878	167

$\rho_t = 1 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$; $b_k=1$; зими: $\theta_t = +10 \text{ }^\circ\text{C}$; лети: $\theta_t = \theta_{ref} = +20 \text{ }^\circ\text{C}$;
 $m = 0,80$ - променљиво (дистрибутивно, циклично) оптерећење;
 $k_{dZ} = 1,07$ ($k_{dL} = 1,0$) - збирни сачинилац доз. оптерећења кабловског вода 110 kV зими (лети);
 $I_{dozZ} = k_{dZ} \cdot I_{nd} = 1,07 \cdot I_{nd}$; $I_{dozL} = k_{dL} \cdot I_{nd} = I_{nd}$.
 I_{nd} (S_{nd}) - назначена дозвољена струја (снага) кабловског вода за променљиво оптерећење;
 I_{dozZ} (S_{dozZ}) - дозвољена струја (снага) кабловског вода у зимском периоду;
 I_{dozL} (S_{dozL}) - дозвољена струја (снага) кабловског вода у летњем периоду.
 Напомене: За стално (100%) оптерећење, вредности струја (снага) из ове табеле треба помножити са сачиниоцем: $k_{op} = 0,91$.
 У случају примене преплитања електричних заштита, вредности струја из ове табеле треба помножити са 1,05 (пресек 630 mm²) и 1,08 (пресек 1000 mm²).

24.10 **Ако се кабловски вод 110 kV директно прикључује на изворну ТС 400(220)/110 kV, а у фази пројектовања не може на економичан начин да се избегне да се траса вода укршта или води паралелно са топловодом на растојањима која су мања од датих у тачкама 16.2 и 16.3 ове препоруке, или ако се рачуна са умањеним преносним капацитетом вода због лоше специфичне топлотне отпорности тла и неадекватно примењене кабловске постележице, пример 3, може да се примени систем за мерење и праћење температуре плашта кабла на топлотно критичним местима - топлотни мониторинг.**

Топлотни мониторинг сачињавају: мерни уређаји (температурни сензори), преносни пут до изворне ТС 400(220)/110 kV (оптички кабл, тачка 10.10) и опрема за приказ података на станичном рачунару, односно у диспечерском центру.

Примена топлотног мониторинга није замена за примену термичке заштите кабловског вода, која се обавезно уграђује у кабловска одводна поља 110 kV у изворној ТС 400(220)/110 kV, поглавље 5 у ТП-4а2/2001. **Термичка заштита** преликава процес загревања кабла у стационарном и прелазном режиму према временској константи загревања кабла и има прекострујно независно искључење када оптерећење пређе дозвољену вредност предвиђену овом препоруком.

Топлотни мониторинг се не користи ако у типском техничком модулу (три кабловска вода 110 kV напајају две ТС 110/X kV, тачка 8.1 у ТП-14а/2001), **кабловски вод 110 kV има искључиво функцију међуповезног вода између две ТС 110/X kV**, јер у нормалном погону не напаја ни једну ТС, а у хаваријском режиму је оптерећен са највише 50% свог капацитета, и није термички угрожен.

Својим интерним стандардом, пројектом или сличним документом надлежна дистрибутивна компанија може да пропише примену решења које се разликује од решења које је дато у овој тачки, и то како с обзиром на обим примене топлотног мониторинга, тако и с обзиром на само техничко решење.

24.11 **Кратак спој** је нестационарни режим са веома великим вредностима струја кратких спојева, чије трајање t_k [s] мора да се ограничи деловањем заштите (краткоспојна, диференцијална) на највише $t_k = 0,15$ s код коришћења вакуумских или SF₆ прекидача, односно $t_k = 0,2$ s код коришћења малоуљних прекидача.

Најмањи пресек S_{min} [mm²] алуминијумског проводника, односно бакарне електричне заштите кабловског вода изведеног каблом типа ХНЕ 49-А, који задовољава услове термичких напрезања при ефективној вредности струје кратког споја, односно земљоспоја, I_{ks} [kA] у трајању t_k [s], рачуна се помоћу израза:

$$S_{min} = K_p \cdot K_\theta \cdot I_{ks} \cdot \sqrt{t_k}$$

где је:

K_p - коефицијент материјала проводника, односно електричне заштите кабла, и има вредност:

- $K_p = 6,90 \text{ mm}^2/\text{kA}\cdot\text{s}^{1/2}$ за алуминијумски проводник;
- $K_p = 4,42 \text{ mm}^2/\text{kA}\cdot\text{s}^{1/2}$ за бакарну електричну заштиту;

K_θ - коефицијент температуре проводника, односно електричне заштите кабла, и за крајњу температуру проводника у кратком споју од 250 °C има вредност:

- $K_\theta = 1,56$ за алуминијумски проводник - почетна температура 90 °C;
- $K_\theta = 1,52$ за бакарну електричну заштиту - почетна температура 80 °C.

Пример 1: Дозвољена струјна оптерећења НН и СН кабла у нормалном погону

а) Одредити збирне коефицијенте k_{dZ} и k_{dL} дозвољених струјних оптерећења НН и СН кабловског вода положеног у земљу:

а.1) зими (максимално годишње оптерећење дистрибутивног конзума), и
а.2) лети.

б) Одабрати НН каблове којим треба пренети максималну расположиву снагу ЕТ-а у ТС X/0,4 kV инсталисане снаге 630 kVA. Из ТС се снага разводи са 8 НН каблова са изолацијом од PVC-а, тип PP00-ASJ или умреженог полиетилена тип XP00-ASJ, пресека $150 \text{ mm}^2 \text{ Al}$. Због ограниченог простора, расплет НН каблова је могућ само у два правца (рова) на изласку из ТС, тако да се НН каблови групишу у комбинацију: (4 + 4) кабла. За полагање НН каблова користи се стандардна постелјица чија специфична топлотна отпорност тла износи: $\rho_t = 1,0 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ или кабловска постелјица од специјалне мешавине, тачка 10.6а, са: $\rho_{tm} = 0,7 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$.

Решење:

а.1) Просечна дневна температура тла зими за наше поднебље износи: $\theta_t \approx 5 \text{ }^\circ\text{C}$, односно $\theta_t \approx 8 \text{ }^\circ\text{C}$, што је потврђено дугогодишњим мерењима на дубинама које су приближне дубинама полагања енергетских каблова: 0,7 m за каблове до 20 kV, односно 1 m за каблове 35 kV, па сачинилац промене дозвољеног струјног оптерећења кабловског вода $k_{\theta Z}$ зими од температуре тла θ_t износи:

$$k_{\theta Z} = 1 + 0,007 \cdot (20 - \theta_t) = 1 + 0,007 \cdot (20 - 5) = 1,105 \Rightarrow (k_{\theta Z} = 1,084 \text{ за кабл } 35 \text{ kV}).$$

У зимским месецима, када је и максимално оптерећење дистрибутивног конзума, рачуна се са нормалном влажношћу тла и може да се усвоји вредност специфичне топлотне отпорности тла: $\rho_t \approx 1 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$, па коефицијент k_p износи: $k_p = 1$.

За променљиво (дистрибутивно) оптерећење је $k_{op} = 1$, па дозвољено струјно оптерећење, односно збирни коефицијент k_{dZ} , кабловског вода у зимском периоду износи:

$$I_{dozZ} = k_{op} \cdot k_{\theta} \cdot k_p \cdot k_{bk} \cdot I_{nd} = k_{kZ} \cdot I_{nd} = 1,105 \cdot I_{nd} \Rightarrow$$

$k_{dZ} = 1,105$ за кабловске водове до 20 kV и $k_{dZ} = 1,084$ за кабловски вод 35 kV.

У условима лоше специфичне топлотне отпорности тла (песак) је $\rho_{tZ} = 1,5 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ и према табели 24.4: $k_p = 0,86$, па је са стандардном кабловском постелјицом:

$$I_{dozZ} = k_{op} \cdot k_{\theta} \cdot k_p \cdot k_{bk} \cdot I_{nd} = 1 \cdot 1,105 \cdot 0,86 \cdot 1 \cdot I_{nd} = k_{dZ} \cdot I_{nd} = 0,95 \cdot I_{nd} \Rightarrow$$

$k_{dZ} = 0,95$ за кабловске водове до 20 kV и $k_{dZ} = 0,93$ за кабловски вод 35 kV.

а.2) Измерена средња вредност дневне температуре тла у летњем периоду износи $\theta_t \approx 20 \text{ }^\circ\text{C}$, па сачинилац промене дозвољеног струјног оптерећења кабловског вода $k_{\theta L}$ од температуре тла θ_t износи: $k_{\theta L} = 1$, док сачиниоци k_p , k_{bk} и k_{op} имају вредности као под а).

Према томе, дозвољено струјно оптерећење, односно **збирни коефицијент k_{dL} , кабловског вода у летњем периоду износи:**

$$I_{dozL} = k_{op} \cdot k_{\theta} \cdot k_p \cdot k_{bk} \cdot I_{nd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot I_{nd} = k_{dL} \cdot I_{nd} = I_{nd} \Rightarrow \mathbf{k_{dL} = 1,0}.$$

У условима лоше специфичне топлотне отпорности тла (песак) је $\rho_{tL} = 2,5 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ и према табели 24.4: $k_p = 0,7$, па је са стандардном кабловском постелјицом:

$$I_{dozL} = k_{op} \cdot k_{\theta} \cdot k_p \cdot k_{bk} \cdot I_{nd} = 1 \cdot 1,105 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot I_{nd} = k_{dL} \cdot I_{nd} = 0,77 \cdot I_{nd} \Rightarrow \mathbf{k_{dL} = 0,77}.$$

б) Дозвољена привидна снага ЕТ-а 630 kVA у време максималног годишњег оптерећења дистрибутивног конзума S_{dozETZ} (зимски период), према дијаграму просечног дневног оптерећења конзума (тачка 7.3.5 у ТП-14а), износи:

$$S_{dozETZ} = k_{dETZ} \cdot S_n = 1,3 \cdot S_n = 1,3 \cdot 630 = 819 \text{ kVA.}$$

У ТС 10/0,4 kV снаге 630 kVA има 8 извода НН, па сваки кабл треба да пренесе у просеку око 102 kVA, односно струју: $I_1 = 156 \text{ A}$ у систему напајања 3x220/380 V или $I_1 = 148 \text{ A}$ у систему напајања 3x230/400 V.

Прорачун се изводи за услов када се из ТС у два рова полажу по 4 кабла са стандардном кабловском постељицом, односно са постељицом од специјалне мешавине.

Назначене вредности дозвољених струјних оптерећења I_{nd} за дистрибутивно оптерећење ($k_{op} = 1$, $m = 0,7$) дате су у табели 24.7 и за пресек $150 \text{ mm}^2 \text{ Al}$ износи: $I_{nd} = 270 \text{ A}$ за PVC кабл и $I_{nd} = 300 \text{ A}$ за ХРЕ кабл (један кабл у рову, стандардна постељица, $\theta_t = 20^\circ\text{C}$).

Прорачун збирног коефицијента k_{dZ} дозвољеног струјног оптерећења зими кабловског вода изведен је под а), тако да **дозвољено струјно оптерећење НН кабловског вода I_{dozZs1} са PVC изолацијом у зимском периоду**, који је самостално положен у стандардну постељицу, износи:

$$I_{dozZs1} = k_{dZ} \cdot I_{nd} = 1,105 \cdot 270 \Rightarrow I_{dozZs1} = 298 \text{ A, односно}$$

$$I_{dozZs1} = 331 \text{ A за кабловски вод са ХРЕ изолацијом.}$$

У случају да се користи **специјална мешавина**, тачка 10.6а, рачуна се са: $\rho_{tm} = 0,7 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ и $k_{pm} = 1,14$ (табела 24.4), па се добија да дозвољено струјно оптерећење НН кабловског вода са PVC изолацијом у зимском периоду, који је самостално положен у постељицу од специјалне мешавине I_{dozZm1} износи:

$$I_{dozZm1} = k_{op} \cdot k_{\theta} \cdot k_{pm} \cdot k_{bk} \cdot I_{nd} = 1 \cdot 1,105 \cdot 1,14 \cdot 1 \cdot I_{nd} = 1,26 \cdot I_{nd} = 1,26 \cdot 270 = 340 \text{ A,}$$

односно: $I_{dozZm1} = 378 \text{ A}$ за кабловски вод са ХРЕ изолацијом.

По изласку из ТС каблови се гранају у два правца, тако да је у истом рову $b_k = 4$ кабла. Из табеле 24.5 се добија сачинилац: $k_{bk} = 0,66$ ако међусобно удаљење у рову износи: $a = 7 \text{ cm}$, тако да дозвољено струјно оптерећење сваког од 4 кабла у рову са стандардном постељицом I_{dozZs4} у зимском периоду износи:

$$I_{dozZs4} = k_{bk} \cdot I_{dozZs1} = 0,66 \cdot 298 = 197 \text{ A за PVC кабл и } I_{dozZs4} = 218 \text{ A за ХРЕ кабл, или}$$

$$I_{dozZm4} = k_{bk} \cdot I_{dozZm1} = 0,66 \cdot 340 = 224 \text{ A за PVC кабл и } I_{dozZm4} = 249 \text{ A за ХРЕ кабл,}$$

ако се као кабловска постељица користи специјална мешавина.

Пример 2: Дозвољена струјна оптерећења 110 kV кабла - нема исушивања тла

а) Прорачунати дозвољена струјна оптерећења $I_{doz} [A]$ дистрибутивног кабловског вода 110 kV изведеног каблом типа ХНЕ 49-А.

б) Одредити збирне коефицијенте k_{dZ} (зими) и k_{dL} (лети) дозвољених струјних оптерећења $I_{doz} [A]$ кабловског вода 110 kV положеног у земљу, коришћењем стандардне кабловске постељице према тачки 10.6б.

в) Одабрати типски пресек проводника кабловског вода који је део типског техничког модула за обликовање дистрибутивне мреже 110 kV (тачка 8.1 у ТП-14а): кабловски вод у нормалном погону напаја две ТС 110/10(20) kV инсталисане снаге $2 \times 40 \text{ MVA}$, односно $2 \times 31,5 \text{ MVA}$ свака, при чему је у време максималног годишњег оптерећења дистрибутивног конзума (зимски период) сваки од 4 ЕТ-а достигао оптерећење једнако вредности своје назначене снаге $S_n [MVA]$.

Проверити да ли одабрани типски пресеци задовољавају услове терећења кабловског вода и за специфичну топлотну отпорност тла $\rho_t = 1,2 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$.

Решење:

а) Дистрибутивна кабловска мрежа 110 kV у Србији се налази једино у градском језгру Београда. Као типско решење се користи 64/110 kV кабл типа ХНЕ 49-А, 3x (1x1000/95) mm² Al/Su. Пошто је енергетски реално да се кабловски водови 110 kV убудуће користе и у другим градовима (Нови Сад, Ниш итд.), у овој препоруци се обрађују подаци за пресеке проводника кабла 630 mm², 800 mm² и 1000 mm², с тим што су пресеци 630 mm² и 1000 mm² усвојени као типски. **Дозвољена струјна оптерећења I_{doz} [А] кабловских водова 110 kV се посебно прорачунавају. За прорачун су коришћене две методе:**

- метода приказана у IEC 60287 [7] за трајно (100%) оптерећење и метода приказана у IEC 60853-2 [8] за променљиво (дистрибутивно, циклично) оптерећење;
- метода приказана у "ETZ Report 13", VDE [9] за трајно и променљиво оптерећење.

Резултати прорачуна дати су у табели Пр.2а, а односе се на случајеве који не доводе до исушивања тла око кабла, што се постиже применом одговарајуће постелице из тачке 10.6б и осталих мера датих у овој препоруци. Из табеле се види да су вредности дозвољених струјних оптерећења I_{doz} [А] прорачунате према обе методе идентичне за трајно (100%) оптерећење, односно приближно исте за променљиво оптерећење ако је приказано у правоугаоном облику. Ако се према [9] дневни дијаграм оптерећења прикаже као аритметичка средина правоугаоног и синусоидалног облика, добиће се оптерећења већа за око 1% у односу на IEC 60853-2 [8].

Као типско решење су усвојене вредности I_{doz} [А] прорачунате према IEC 60853-2.

Прорачун је изведен за један кабл у рову (b_к = 1), електричне заштите уземљене на оба краја кабловског вода, дубина полагања h = 1,2 m, док је температура тла θ_t на нивоу полагања варирана са вредностима: 5 °C; 10 °C; 15 °C; 20 °C и 25 °C. Усвојена је референтна температура тла θ_{ref} меродавна за прорачун назначеног струјног оптерећења I_{nd} [А]: θ_t = θ_{ref} = +20 °C. Прорачун је изведен за две вредности специфичне топлотне отпорности тла: ρ_t = 1 K·m/W и ρ_t = 1,2 K·m/W, што за наше поднебље одговара случају да се у тло просечних карактеристика примењује стандардна кабловска постелица, док се у тло лоше специфичне топлотне отпорности примењује кабловска постелица од специјалне мешавине, тачка 10.6б.

За фактор испуне m су вариране вредности: 0,70; 0,75; 0,80; 0,85; 0,90 и 1,00 - на основу ових вредности рачунате су вредности фактора губитака: μ = 0,3 · m + 0,7 · m². За кабловски вод 110 kV који напаја просечан дистрибутивни конзум, дијаграм оптерећења сигурно је "боље попуњен" него у случају конзума који се напаја кабловским водовима нижих напона, тако да је: m > 0,7. На пример, фактор испуне m који је остварен у зимском периоду 2011 године за конзум ЕД Београд износи: m = 0,73. Ако је уобичајена вредност за дистрибутивни конзум који се напаја из НН и СН мреже m = 0,7, онда усвајање m = 0,80 за део конзума који се напаја из кабловске дистрибутивне мреже 110 kV има пуно техничко оправдање и даје резултате у прилог сигурности. Зато је вредност фактора испуне m = 0,80 (фактор губитака: μ = 0,69) усвојена као типска за ову препоруку и даје ниже вредности дозвољених струјних оптерећења, које су иначе око 10% више од вредности за трајно (100%) оптерећење (m = 1).

Прорачун је изведен под претпоставком да није изведено преплитање електричних заштита, у духу поменутих IEC и VDE метода, и чињенице да су код нас до сада положени кабловски водови 110 kV изведени у формацији троугао рађени без преплитања. За случај са преплитањем електричних заштита, тачка 9.11, вредности струја из табеле Пр.2а треба помножити са 1,05 за пресек 630 mm² и 1,08 за пресек 1000 mm².

Може да се изведе закључак: избором параметара за прорачун вредности назначене дозвољене струје I_{nd} [А] према IEC 60853-2 [8], избором кабловске постелице према тачки 10.6 посебно за нормалне услове полагања, а посебно за тешке услове одвођења

топлоте, избором типског пресека кабла који задовољава услове терећења и за специфичну топлотну отпорност тла $\rho_t = 1,2 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ (табела Пр.2в), као и избором референтне температуре тла θ_{ref} која одговара температури тла у летњем периоду, искључује се могућност појаве исушивања тла око енергетског кабла.

На тај начин није неопходно коришћење топлотног мониторинга као типског решења, а евентуална његова примена се као опција препушта надлежним дистрибутивним компанијама (тачка 24.10), на пример на некој експерименталној деоници у ТС 400(220)/110 kV, ако се рачуна са умањеним преносним капацитетом вода због лоше специфичне топлотне отпорности тла и неадекватно одабране кабловске постележице и сл.

Табела Пр.2а: Дозвољена струјна оптерећења I_{doz} [A] кабловског вода 110 kV типа ХНЕ 49-А за трајно (100%) и променљиво (дистрибутивно) оптерећење: IEC 60287 [7], IEC 60853-2 [8] и "ETZ Report 13", VDE-Verlag GmbH [9]

Пресек проводника [mm ²] Al	Фактор оптерећења m	Дозвољена струјна оптерећења I_{doz} [A] * - прорачун према IEC 60287 [7] и IEC 60853-2 [8] -				
		температура тла θ_t				
		5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C
630	$m = 0,70$	838,4	813,1	787,1	760,1	732,1
	$m = 0,80$ ¹⁾	801,1	777,0	752,1	726,3	699,6
	$m = 1,00$ ²⁾	730,3	708,3	685,6	662,1	637,7
	^{2)/1)} ; ^{1)/2)}	$k_{op} = 0,912 ; 1,10$				
800	$m = 0,70$	922,0	894,3	865,6	835,9	805,1
	$m = 0,80$ ¹⁾	878,9	852,5	825,1	796,8	767,5
	$m = 1,00$ ²⁾	798,3	774,3	749,4	723,7	697,1
	^{2)/1)} ; ^{1)/2)}	$k_{op} = 0,908 ; 1,10$				
1000	$m = 0,70$	1018,5	987,8	956,2	923,3	889,4
	$m = 0,80$ ¹⁾	968,5	939,3	909,2	878,0	845,8
	$m = 1,00$ ²⁾	877,3	850,8	823,6	795,3	766,1
	^{2)/1)} ; ^{1)/2)}	$k_{op} = 0,906 ; 1,10$				
Пресек проводника [mm ²] Al	Фактор оптерећења m	Дозвољена струјна оптерећења I_{doz} [A] ** - прорачун према "ETZ Report 13", VDE [9] -				
		температура тла θ_t				
		5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C
630	$m = 0,70$	841,3	815,9	789,8	762,7	734,6
	$m = 0,80$	799,7	775,6	750,7	725,0	698,3
	$m = 1,00$	730,3	708,3	685,6	662,1	637,7
800	$m = 0,70$	926,0	898,2	869,3	839,5	808,6
	$m = 0,80$	877,3	850,9	823,6	795,3	766,1
	$m = 1,00$	798,3	774,3	749,4	723,7	697,1
1000	$m = 0,70$	1022,1	991,2	959,5	926,5	892,5
	$m = 0,80$	966,8	937,6	907,6	876,4	844,2
	$m = 1,00$	877,3	850,8	823,6	795,3	766,1

$\rho_t = 1 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$; $b_k = 1$; $h = 1,2 \text{ m}$. Нема исушивања тла.
 Трајно (100%) оптерећење: $m = 1$;
 Променљиво (дистрибутивно, циклично) оптерећење: $m = 0,8$.
 * - типске вредности, усвојене у ТП-3 према IEC 60287 и IEC 60853-2;
 ** - прорачун према VDE [9] за циклични дијаграм оптерећења правоугаоног облика.

б) На дубини полагања кабловског вода 110 kV: $h = 1,2$ m просечна температура тла зими за наше поднебље износи: $\theta_t \approx 10$ °C, па **сачинилац** промене дозвољеног струјног **оптерећења $k_{\theta Z}$ зими од температуре тла θ_t** износи:

$$k_{\theta Z} = 1 + 0,007 \cdot (\theta_{ref} - \theta_t) = 1 + 0,007 \cdot (20 - 10) \Rightarrow k_{\theta Z} = 1,07.$$

За стандардну постелицу кабловског вода 110 kV (тачка 10.6б) бира се мешавина чија специфична топлотна отпорност мало зависи од садржаја воде, тако да **вредност специфичне топлотне отпорности тла износи: $\rho_t \approx 1$ K·m/W $\Rightarrow k_p = 1$.**

Назначена вредност дозвољеног струјног оптерећења I_{nd} [A] кабловског вода утврђује се за променљиво (дистрибутивно) оптерећење, па је $k_{op} = 1$. Тако се на крају добија да **за променљиво (дистрибутивно) оптерећење збирни коефицијент k_{dZ} у зимском периоду износи:**

$$I_{dozZ} = k_{op} \cdot k_{\theta L} \cdot k_p \cdot k_{bk} \cdot I_{nd} = 1,07 \cdot I_{nd} \Rightarrow k_{dZ} = 1,07.$$

Средња вредност дневне **температуре тла на дубини $h = 1,2$ m у летњем периоду износи: $\theta_t \approx 15$ °C до $\theta_t \approx 20$ °C - за препоруку се усваја $\theta_t = 20$ °C која даје ниже вредности дозвољених струјног оптерећења, па сачинилац промене дозвољеног струјног оптерећења кабловског вода $k_{\theta L}$ од температуре тла θ_t износи: $k_{\theta L} = 1$, док сачиниоци k_p , k_{bk} и k_{op} имају вредности као за зимски период.**

Према томе, **збирни коефицијент k_{dL} кабловског вода у летњем периоду износи:**

$$I_{dozL} = k_{op} \cdot k_{\theta L} \cdot k_p \cdot k_{bk} \cdot I_{nd} = 1,0 \cdot I_{nd} \Rightarrow k_{dL} = 1,0$$

што значи да назначена вредност дозвољеног струјног оптерећења I_{nd} кабловског вода 110 kV одговара вредности дозвољеног струјног оптерећења кабла лети: $I_{nd} = I_{dozL}$.

в) На основу прорачуна изведеног према IEC 60853-2 [8], у табели Пр.2в су за 110 kV кабловски вод типа ХНЕ 49-А, за променљиво оптерећење дате вредности назначене дозвољене струје I_{nd} [A], дозвољеног струјног оптерећења у зимском I_{dozZ} [A] и летњем I_{dozL} [A] периоду, односно одговарајућих снага: S_{nd} [MVA], S_{dozZ} [MVA] и S_{dozL} [MVA], за две вредности специфичне топлотне отпорности тла: $\rho_t = 1$ K·m/W и $\rho_t = 1,2$ K·m/W.

Табела Пр.2в: Дозвољена оптерећења 110 kV кабловског вода типа ХНЕ 49-А у зимском и летњем периоду за променљиво (дистрибутивно) оптерећење - прорачун према IEC 60853-2 за $\rho_t = 1$ K·m/W и $\rho_t = 1,2$ K·m/W

Тип кабла	Пресек [mm ²] Al	ρ_t [K·m/W]	Назначена струја (снага)		Дозвољена оптерећења 110 kV кабловског вода зими и лети			
			I_{nd} [A]	S_{nd} [MVA]	I_{dozZ} [A]	S_{dozZ} [MVA]	I_{dozL} [A]	S_{dozL} [MVA]
ХНЕ 49-А	630	1,0	726	138	777	148	726	138
		1,2	675	128	723	138	675	128
	800	1,0	797	152	853	162	797	152
		1,2	741	141	793	151	741	142
	1000	1,0	878	167	939	179	878	167
		1,2	816	155	873	166	816	155

ρ_t [K·m/W] – спец. топлотна отпорност тла; $b_k = 1$; зими: $\theta_t = +10$ °C; лети: $\theta_t = \theta_{ref} = +20$ °C; променљиво (дистрибутивно) оптерећење: $m = 0,8$. Нема исушивања тла око кабла;
 I_{nd} (S_{nd}) - назначена дозвољена струја (снага) кабловског вода;
 I_{dozZ} (S_{dozZ}) - дозвољена струја (снага) кабловског вода у зимском периоду;
 I_{dozL} (S_{dozL}) - дозвољена струја (снага) кабловског вода у летњем периоду.

Ако кабловски вод напаја две ТС са укупно 4 ЕТ-а и ако је сваки ЕТ оптерећен назначеном снагом S_n [MVA], значи да је у време максималног годишњег оптерећења дистрибутивног конзума (зимски период) на кабловски вод прикључена снага $4 \cdot S_n$, или 126 MVA код напајања две ТС снаге $2 \times 31,5$ MVA, односно 160 MVA код напајања две ТС снаге 2×40 MVA.

Из табеле Пр.2в се види да захтеваном оптерећењу 126 MVA одговара кабловски вод типа ХНЕ 49-А пресека $3 \times (1 \times 630/70)$ mm² Al/Cu, док захтеваном оптерећењу 160 MVA одговара кабловски вод типа ХНЕ 49-А пресека $3 \times (1 \times 1000/95)$ mm² Al/Cu.

Дозвољено оптерећење кабловског вода пресека 630 mm² Al зими износи 148 MVA, што значи да има резерву у снази око 17%. А то даље значи да кабловски вод задовољава тражене услове терећења и при вредности специфичне топлотне отпорности тла $\rho_{tz} = 1,2$ K·m/W (сачинилац $k_{pz} = 0,93$, табела 24.4), јер у том случају дозвољено оптерећење вода износи 138 MVA (резерва у снази је тада око 9%).

Дозвољено оптерећење кабловског вода пресека 1000 mm² Al зими износи 179 MVA, што значи да има резерву у снази око 12%, док при $\rho_{tz} = 1,2$ K·m/W дозвољено оптерећење кабловског вода износи 166 MVA (резерва у снази је тада око 4%).

Из табеле Пр.2в се види да дозвољено оптерећење кабловског вода пресека 630 mm² Al лети износи 138 MVA (резерва у снази око 9%), што значи да задовољава тражене услове терећења и при $\rho_{tL} = 1,2$ K·m/W: $S_{dozL} = 0,93 \cdot 138 = 128$ MVA > 126 MVA.

Дозвољено оптерећење кабловског вода пресека 1000 mm² Al лети износи 166 MVA (резерва у снази око 4%), што значи да задовољава тражене услове терећења и при $\rho_{tL} = 1,2$ K·m/W (155 MVA) под условом да оптерећење вода лети не пређе 97% оптерећења оствареног зими. Међутим, у нашим условима просечно дистрибутивно оптерећење у летњим месецима не прелази 85% оптерећења оствареног у претходној зими и поред све већег коришћења расхладних уређаја у стамбеним и другим просторијама. Поред тога, фактор испуне m у летњем периоду има нешто нижу вредност него зими, што мало повећава вредности дозвољених струјних оптерећења. На крају, топлане не раде изван грејне сезоне, па изостаје и негативан топлотни утицај на енергетски кабл при паралелном вођењу или укрштању са топловодом.

Према томе, одабрани пресек кабловског вода који задовољава дистрибутивно оптерећење конзума зими, задовољиће напајање истог конзума и наредног лета и при вредности специфичне топлотне отпорности тла $\rho_t = 1,2$ K·m/W. Ово је један од важних аргумената за закључак из тачке 24.7 ове препоруке: "искључује се могућност појаве исушивања тла око енергетског кабла".

Пример 3: Дозвољена струјна оптерећења 110 kV кабла - присутно исушивање тла

Прорачунати дозвољена струјна оптерећења I_{dis} [A] дистрибутивног кабловског вода 110 kV изведеног каблом типа ХНЕ 49-А, када се због веома лоше специфичне топлотне отпорности тла ρ_t [K·m/W] и неадекватно примењене кабловске постељице рачуна са исушивањем тла око кабла.

Напомена: намена овог примера је информативна.

Решење:

IES и VDE методе за прорачун дозвољених струјних оптерећења I_{doz} [A] приказане у [7], [8] и [9] појавиле су се још седамдесетих година прошлог века и третирале су случајеве који не доводе до исушивања тла. Међутим, у пракси је регистровано исушивање тла, посебно у случају сталног (100%) оптерећења, које најближе одговара индустријском потрошачу који ради у три смене. Узрок ове појаве је вероватно чињеница да је у то време за кабловску постељицу обично коришћен песак неодређеног квалитета

(гранулација и садржај кварца) или земља из откопа, што у неповољним условима одвођења топлоте може да доведе до исушивања тла и угрожавања енергетског кабла.

Иначе, сматра се да исушивање тла почиње када специфична топлотна отпорност тла око кабла због пораста температуре и губитка влаге достигне вредност: $\rho_d = 2,5 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$, односно критична температура тла око кабла вредност: $\theta_x = 30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Проблем исушивања тла око кабла може да се реши на два начина:

- 1 применити кабловску постелицу од посебно припремљене мешавине песка и шљунка, која и у исушеном стању има добре карактеристике одвођења топлоте, или
- 2 смањити дозвољено оптерећење кабла или повећати пресек кабла, до вредности које не изазивају исушивање тла.

Као **типско решење у новој ТП-3** је усвојен први начин: **стандардна кабловска постелица** је мешавина песка и шљунка (састав и гранулације према тачки 10.6б), док се за тешке услове одвођења топлоте (присуство других извора топлоте, полагање у тло веома лоше специфичне топлотне отпорности итд.) користи **специјална мешавина**: стандардној мешавини додаје се 2% цемента и са њом се испуњава ров до врха, тако да се значајно повећава контактна површина између кабловске постелице и околног тла и **спречава исушивање тла**. **Ове кабловске постелице успешно се примењују у ЕД Београд већ пар деценија** [2].

Ипак, намена овог примера је да се информативно прикаже и други начин, како би се стекао увид у величину смањења дозвољеног струјног оптерећења кабла до вредности која не изазива исушивање тла. Због тога је извршен **прорачун дозвољених струјних оптерећења кабловског вода 110 kV I_{dis} [A] уз уважавање исушивања тла**. За прорачун су такође коришћене IEC и VDE методе приказане у [7], [8] и [9]. За типске пресеке 630 mm² и 1000 mm², тачка 7.2 ове препоруке, **резултати прорачуна I_{dis} [A]** за трајно (100%) и променљиво (дистрибутивно) оптерећење приказани су у табели Пр.3а.

Табела Пр.3а: Дозвољена струјна оптерећења I_{dis} [A] кабловског вода 110 kV типа ХНЕ 49-А за трајно [7] и променљиво (дистрибутивно) оптерећење [8] са исушивањем тла око кабла

Пресек проводника [mm ² Al]	Фактор оптерећења m	Дозвољена струјна оптерећења I_{dis} [A] - прорачун према IEC 60287 [7] и IEC 60853-2 [8] -				
		температура тла θ_t				
		5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C
630	$m = 0,70$	684,1	647,7	609,1	567,9	523,5
	$m = 0,80$	653,7	618,9	582,1	542,7	500,2
	$m = 1,00$	595,9	564,2	530,6	494,7	456,0
1000	$m = 0,70$	823,0	779,3	732,8	683,4	629,9
	$m = 0,80$	782,6	741,0	696,8	649,8	599,0
	$m = 1,00$	708,9	671,2	631,2	588,6	542,6

$\rho_w = 1 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$; $b_k = 1$; $h = 1,2 \text{ m}$; зими: $\theta_t = +10 \text{ }^\circ\text{C}$; лети: $\theta_t = \theta_{ref} = +20 \text{ }^\circ\text{C}$;
 $\rho_d = 2,5 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ - специфична топлотна отпорност тла при којој почиње исушивање тла;
 $\theta_x = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ - критична температура тла око кабла при којој почиње исушивање тла;
 трајно (100%) оптерећење: $m = 1$;
 променљиво (дистрибутивно) оптерећење: $m = 0,8$.
 Присутно исушивање тла.

Упоређењем резултата прорачуна дозвољених оптерећења I_{dis} [A] датих у табели Пр.3а са одговарајућим оптерећењима I_{doz} [A] датим у табели Пр.2а, може да се закључи:

- дозвољено оптерећење са исушивањем тла I_{dis} има већу зависност од температуре тла θ_t , па сачинилац промене дозвољеног оптерећења I_{dis} износи: $k_{\theta t is} = 1 + 0,014 \cdot (20 - \theta_t)$ и $k_{\theta z is} = 1,14$ зими ($\theta_t = +10$ °C), док сачинилац $k_{\theta t}$ за оптерећења без исушивања тла I_{doz} износи (тачка 24.3): $k_{\theta t} = 1 + 0,007 \cdot (20 - \theta_t)$ и $k_{\theta z} = 1,07$;
- дозвољено оптерећење кабловског вода прорачунато са исушивањем тла I_{dis} мање је у односу на дозвољено оптерећење прорачунато без исушивања тла I_{doz} за 20% зими и 25% лети (**фактор корекције због исушивања тла: $k_{is} = 0,80$ зими и $k_{is} = 0,75$ лети**);

У табели Пр.3б дат је упоредни преглед дозвољених оптерећења у зимском и летњем периоду за променљиво (дистрибутивно) оптерећење, са и без исушивања тла око кабла.

Табела Пр.3б: Дозвољена оптерећења кабловског вода 110 kV типа ХНЕ 49-А у зимском и летњем периоду за променљиво (дистрибутивно) оптерећење - прорачун према IEC 60853-2 [8] са и без исушивања тла око кабла -

Тип кабла	Пресек [mm ²] Al	Исушивање тла	Дозвољена оптерећења кабловског вода 110 kV					
			зими: $\theta_t = +10$ °C			лети: $\theta_t = +20$ °C		
			I_{dz} [A]	S_{dz} [MVA]	%	I_{dL} [A]	S_{dL} [MVA]	%
ХНЕ 49-А	630	нема *	777	148	100	726	138	100
		има	619	118	80	543	103	75
	1000	нема *	939	179	100	878	167	100
		има	741	141	80	650	124	75

$\rho_w = 1$ K·m/W; $b_k = 1$; $h = 1,2$ m; променљиво (дистрибутивно) оптерећење: $t = 0,8$;
 $\rho_d = 2,5$ K·m/W - специфична топлотна отпорност при којој почиње исушивање тла;
 I_{dz} (S_{dz}) - дозвољена струја (снага) кабловског вода у зимском периоду;
 I_{dL} (S_{dL}) - дозвољена струја (снага) кабловског вода у летњем периоду.
 * - типске вредности, усвојене у ТП-3 према IEC 60853-2, нема исушивања тла.

Упоређењем резултата прорачуна дозвољених оптерећења (струја и снага) датих у табели Пр.3б са одговарајућим вредностима у табели Пр.2в, може да се закључи: у оквиру техничког модула за обликовање дистрибутивне кабловске мреже 110 kV (пример 2в):

- **захтеваном оптерећењу 126 MVA** одговара кабл типског пресека **630 mm² Al** ако се искључи могућност појаве исушивања тла, али овај пресек **не одговара ако се рачуна са исушивањем тла** јер тада дозвољено оптерећење износи **118 MVA**;
- **захтеваном оптерећењу 160 MVA** одговара кабл типског пресека **1000 mm² Al** ако се искључи могућност појаве исушивања тла, али овај пресек **не одговара ако се рачуна са исушивањем тла** јер тада дозвољено оптерећење износи **141 MVA**.

Да би се и у **условима исушивања тла** испунили захтеви о дозвољеним оптерећењима у оквиру типског техничког модула дистрибутивне мреже 110 kV (**три 110 kV кабловска вода напајају две ТС 110/10(20) kV**), **треба или повећати типске пресеке проводника кабла, или редуковати прикључну снагу** уз неминовно прерано инвестирање у нове објекте 110 kV. **Очигледно је да су обе мере економски неприхватљиве.**

Зато се у новој ТП-3 за све напонске нивое без алтернативе препоручује примена кабловске постелице према тачки 10.6 са којом се, уз примену осталих мера које су дате у овој препоруци, за променљиво (дистрибутивно) оптерећење искључује могућност појаве исушивања тла око енергетског кабла.

Пример 4: Дозвољени пресек проводника и ел. заштите у кратком споју [3]

- а) За енергетски кабл 10 kV типа ХНЕ 49-А одредити најмањи дозвољени пресек S_{pmin} [mm²] алуминијумског проводника с обзиром на типску дозвољену вредност трофазне струје (снаге) кратког споја у дистрибутивној мрежи 10 kV од $I_{ks} = 14,5$ kA (250 MVA) и време трајања кратког споја: $t_k = 0,15$ s.
- б) За енергетски кабл 110 kV типа ХНЕ 49-А одредити најмањи дозвољени пресек бакарне електричне заштите S_{ezmin} [mm²] с обзиром на типску дозвољену вредност једнофазне струје (снаге) кратког споја у мрежи 110 kV од $I_{ks} = 26,5$ kA (5000 MVA) или $I_{ks} = 31,5$ kA (6000 MVA), и време трајања кратког споја: $t_k = 0,15$ s.

Решење:

а) Најмањи дозвољени пресек S_{pmin} алуминијумског проводника енергетског кабла типа ХНЕ 49-А у дистрибутивној мрежи 10 kV према тачки 24.11 треба да износи:

$$S_{pmin} = K_p \cdot K_\theta \cdot I_{ks} \cdot \sqrt{t_k} = 6,9 \cdot 1,56 \cdot 14,5 \cdot \sqrt{0,15} = 60,4 \text{ mm}^2 \text{ Al.}$$

Типски пресек S_{pAl} проводника кабла типа ХНЕ 49-А треба да износи: $S_{pAl} \geq 70 \text{ mm}^2$.

б) Најмањи дозвољени пресек S_{ezmin} бакарне електричне заштите енергетског кабла типа ХНЕ 49-А у напојној мрежи 110 kV према тачки 24.11 треба да износи:

$$S_{ezmin} = K_p \cdot K_\theta \cdot I_{ks} \cdot \sqrt{t_k} = 4,42 \cdot 1,52 \cdot 26,5 \cdot \sqrt{0,15} = 69 \text{ mm}^2 \text{ Cu,}$$

односно $S_{ezmin} = 82 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ за $I_{ks} = 31,5$ kA.

Типски пресек S_{ez} електричне заштите кабла типа ХНЕ 49-А у напојној мрежи 110 kV треба да износи:

- $S_{ez} \geq 70 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ за једнофазну струју (снагу) кратког споја од $I_{ks} = 26,5$ kA (5000 MVA);
- $S_{ez} = 95 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ за једнофазну струју (снагу) кратког споја од $I_{ks} = 31,5$ kA (6000 MVA).

25 ТРАНСПОРТ ЕНЕРГЕТСКИХ КАБЛОВА И КАБЛОВСКОГ ПРИБОРА

- 25.1 **Припрема (паковање) енергетских каблова и кабловског прибора за транспорт** мора да се обави тако да буде искључена могућност механичког оштећења и продора влаге.

Енергетски кабли се транспортују на калемовима, тако да се не прекораче дозвољени полупречници савијања (тачка 9.3). **Калем кабла** мора да се постави у вертикалан положај користећи одговарајуће подметаче, као и да се осигура од спонтаног покретања.

Кабловски прибор се транспортује у погодне кутије, сандуке и сл.

- 25.2 Сваки **калем мора да поседује натписну плочицу** која се поставља на видно место, а натписи треба да буду прегледни и трајни.

Натписна плочица калема садржи: тип кабла, назначени напон, пресек проводника, пресек електричне заштите, име произвођача, фабрички број, годину производње, масу кабла и укупну масу кабла заједно са калемом.

- 25.3 За истовар кабла користи се дизалица, виљушкар, рампа итд.

- 25.4 Котрљање дрвених калемова није дозвољено, осим на краћим деоницама (на пример при истовару). **Котрљање је дозвољено само у правцу стрелице на спољашњој страни калема.**

- 25.5 За одмотавање, калем треба да се подигне на чврсти сталак.

Кабл се одмотава равномерним повлачењем са горње стране, тако да је смер одмотавања супротан од смера стрелице на спољашњој страни калема.

26 ЕНЕРГЕТСКИ КАБЛОВИ У СИСТЕМУ УЗЕМЉЕЊА

26.1 **СН кабл са проводним плаштом** типа NPO 13-AS, NPZO 13-A итд. **непосредно делује као уземљивач**, а у дистрибутивним мрежама најчешће се јавља у два случаја:

- "кратак" кабл (на пример прикључак на надземну СН мрежу);
- "дугачак" кабл, који ради у разгранатој кабловској СН мрежи (градски конзум).

"Кратак" кабл, у смислу уземљења, понаша се као тракасти уземљивач чија отпорност распростирања за просечне вредности пресека каблова који се користе у дистрибутивној мрежи и дубину полагања кабла око 0,7 m се рачуна према изразу:

$$R_{kk} \approx 0,318 \cdot \frac{\ln(6 \cdot L_{kk})}{L_k} \cdot \rho$$

Дужина до које се кабл, у смислу уземљења, понаша као "кратак" прорачунава се према приближном изразу:

$$L_{kk} \approx 10 \cdot \sqrt{\rho}$$

Ако ТС 10(20)/0,4 kV ради у разгранатој кабловској СН мрежи (градски конзум), кабл прикључен на ТС се понаша као **"дугачак" кабл у смислу уземљења**, и има сталну вредност отпорности распростирања R_k [Ω] која се рачуна према изразу:

$$R_k \approx 0,075 \cdot \sqrt{\rho}$$

У овој тачки ознаке у претходним изразима имају значење:

R_{kk} = отпорност распростирања "кратког" кабла као уземљивача, у [Ω];

ρ = специфична електрична отпорност тла, у [Ωm];

L_{kk} = део укупне дужине "кратког" кабла који је у непосредном контакту са тлом, а налази се изван површине коју захвата уземљивач ТС, у [m];

R_k = отпорност распростирања "дугачког" кабла као уземљивача, у [Ω].

26.2 **СН кабл са непроводним плаштом** (ХНЕ 49-А) **посредно делује као уземљивач јер помоћу електричне заштите повезује уземљиваче суседних ТС**.

Ако ТС 10(20)/0,4 kV ради у разгранатој СН мрежи (градски конзум), свака ТС је повезана са више ТС, тако да су преко електричних заштита галвански повезани и уземљивачи заштитних уземљења тих ТС.

Вредност отпорности уземљења R_k [Ω] коју некој ТС 10(20)/0,4 kV "доносе" уземљивачи више суседних ТС може приближно да се добије помоћу израза:

$$R_k = \frac{|z_{ez}| \cdot L_k}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{4 \cdot \frac{R_z}{|z_{ez}| \cdot L_k} + 1} \right)$$

где је:

$|z_{ez}|$ - модуо јединичне подужне импедансе електричне заштите снопа три

једножилна кабла између суседних ТС, у [Ω/km];

L_k - просечна дужина деоница кабловских водова између суседних ТС, у [km];

R_z - отпорност распростирања уземљивача суседних ТС, у [Ω].

Међутим, како је низ ТС 10(20)/0,4 kV на СН воду помоћу електричне заштите бар на једном, а често и на оба краја, повезан и са уземљивачима ТС 110/10(20) kV и/или ТС 35/10 kV, са веома малим вредностима импеданси система уземљења тих ТС, у практичним прорачунима, уместо помоћу претходног израза, за $\rho \leq 100 \Omega m$ може да се рачуна са следећим вредностима отпорности уземљења R_k [Ω]:

- $R_k \approx 1 \Omega$, ако кабловски вод повезује трансформаторске станице са уземљивачима отпорности распрострањања $R_z = 2 \Omega$ до $R_z = 4 \Omega$;
- $R_k \approx 0,5 \Omega$, ако кабловски вод повезује трансформаторске станице са уземљивачима отпорности распрострањања $R_z \leq 1 \Omega$.

Да би се урачунао ефекат смањења импедансе система уземљења ТС због утицаја уземљивача суседних ТС, **дуж читавог кабловског вода мора да буде обезбеђена поуздана галванска веза електричних заштита** суседних деоница вода на кабловским спојницама (тачка 22.8), завршницама и у ТС.

Галванска веза електричних заштита се проверава после завршене монтаже кабловске спојнице или завршнице, а у току експлоатације најмање једанпут у 10 година.

Пример 5: Ефекат СН кабла типа ХНЕ 49-А као уземљивача

ТС 20/0,4 kV ради у разгранатој мрежи изведеној кабловима 20 kV типа ХНЕ 49-А пресека $3 \times 1 \times (150/16) \text{ mm}^2 \text{ Al/Cu}$ и прикључена је на ТС 110/20 kV. Просечна дужина деоница између суседних ТС износи: $L_k \approx 0,35 \text{ km}$.

Свака ТС има изведен "типски" уземљивач заштитног уземљења димензија 5 m x 5 m, тако да за $\rho \approx 50 \Omega\text{m}$ отпорност заштитног уземљења ТС износи $R_z \approx 3 \Omega$.

Одредити отпорност уземљења $R_k [\Omega]$ коју некој ТС 20/0,4 kV "доносе" уземљивачи више суседних ТС 20/0,4 kV.

Решење:

Вредност отпорности уземљења $R_k [\Omega]$ коју напојној ТС X/10(20) kV преко електричне заштите СН каблова "доносе" уземљивачи више суседних ТС X/0,4 kV износи:

$$R_k = \frac{|z_{ez}| \cdot L_k}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{4 \cdot \frac{R_z}{|z_{ez}| \cdot L_k} + 1} \right) = \frac{0,74 \cdot 0,35}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{4 \cdot \frac{3}{0,74 \cdot 0,35} + 1} \right) \approx 1 \Omega,$$

где је z_{ez} јединична подужна импеданса електричне заштите снопа три једножилна кабла чије су електричне заштите појединачног пресека $16 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ међусобно кратко везане и уземљене на оба краја кабловског вода, и према [3] износи:

$$z_{ez} = (0,383 + j \cdot 0,63) \Omega/\text{km} \quad \Rightarrow \quad |z_{ez}| = 0,74 \Omega/\text{km}.$$

На основу ових параметара, у табели 26.2 дате су приближне вредности отпорности (импедансе) уземљења $R_k [\Omega]$ које некој изворној ТС X/10(20) kV преко електричне заштите "доноси" низ уземљивача ТС 10(20)/0,4 kV у зависности од отпорности распрострањања уземљивача $R_z [\Omega]$ тих ТС и просечних дужина деоница $L_k [\text{m}]$ између суседних ТС. За практичне прорачуне може да се рачуна са просечном дужином појединих кабловских деоница: $L_k \approx 350 \text{ m}$ у градском конзуму, док је за приградски конзум реалније рачунати са применом СН СКС-а типа ХНЕ 48/О-А и дужинама $L_k \approx 500 \text{ m}$.

Отпорност распрострањања наменски изведеног двоконтурног уземљивача слободностојеће ТС X/0,4 kV у градским условима обично износи $R_z = 2 \Omega$ до $R_z = 4 \Omega$, па се за практичне прорачуне према табели 24.2 може да усвоји да свакој ТС X/0,4 kV, преко електричне заштите, уземљивачи суседних ТС "доносе" приближно $R_k \approx 1 \Omega$ (ТП-7). Ако се ТС X/0,4 kV налази на подручју "густе градње", где се преко електричне заштите каблова и паралелно прикљученог неутралноог проводника НН мреже између суседних ТС повезују темељни уземљивачи објеката (зграда), цевоводи и други природни уземљивачи, може да се усвоји: $R_k \approx 0,5 \Omega$.

Табела 26.2: Отпорност уземљења R_k [Ω] СН кабла са непроводним плаштом

R_z [Ω] ⇒		0,5	1	2	3	4	5
R_k [Ω]	$L_k = 300$ m	0,47	0,61	0,80	0,95	1,08	1,19
	$L_k = 350$ m	0,51	0,65	0,86	1,02	1,16	1,27
	$L_k = 400$ m	0,57	0,72	0,94	1,11	1,26	1,38
	$L_k = 500$ m	0,65	0,82	1,06	1,25	1,40*	1,63*

L_k - просечна дужина деоница вода између две ТС X/0,4 kV;
 R_z - просечна вредност отпорности уземљења једне од ТС X/0,4 kV у низу;
 R_k - просечна вредност отпорности уземљења СН кабла са непроводним плаштом;
 * - типична вредност отпорности уземљења СН СКС-а типа ХНЕ 48/О-А.

26.3 Редукциони фактор кабловског вода r_{kv} који ради у уземљеној СН или 110 kV мрежи, за рутинске прорачуне система уземљења ТС има вредност:

а) **НРО трожилни (“појасни”) каблови** типа NPO 13-AS итд.:

- $r_{kv} = 0,2$ за струју земљоспоја $I_k = 300$ A;
- $r_{kv} = 0,3$ за струју земљоспоја $I_k = 700$ A;
- $r_{kv} = 0,4$ за струју земљоспоја $I_k = 1000$ A.

б) **ХНЕ 49-А СН једножилни каблови у троугластом снопу:**

- $r_{kv} = 0,50$ за пресек електричне заштите кабла 16 mm^2 Cu;
- $r_{kv} = 0,35$ за пресек електричне заштите кабла 25 mm^2 Cu.

в) **ХНЕ 49-А једножилни каблови 64/110 kV у троугластом снопу:**

- $r_{kv} = 0,16$ за пресек електричне заштите кабла 70 mm^2 Cu;
- $r_{kv} = 0,12$ за пресек електричне заштите кабла 95 mm^2 Cu.

Метални плашт НРО кабла, односно електричне заштите три жиле кабла типа ХНЕ 49-А, на оба краја се прикључују на системе уземљења постројења које повезује кабловски вод.

Прорачуном редукционог фактора r_{kv} нису обухваћене отпорности уземљења постројења које повезује вод.

27 ДОКУМЕНТАЦИЈА

Произвођач (испоручилац) је обавезан да уз сваку испоручену дужину енергетског кабла, односно уговореног броја јединица кабловског прибора (завршнице и/или спојнице) достави следећу документацију:

- испитне листове и атесте о рутинском испитивању (тачке 23.7 и 23.8);
- *на увид*: сертификате о испитивањима типа (тачка 23.4);
- фабричке атесте уграђеног материјала за израду енергетског кабла (квалитет проводника, електричне заштите, изолације проводника, плашта кабла итд.), односно кабловског прибора;
- цртеже са изгледом, садржајем и попречним пресеком енергетског кабла, односно кабловског прибора, као и њихову тежину;
- упутство за монтажу енергетског кабла и/или кабловског прибора;
- сертификат овлашћене независне институције о испуњеним условима система квалитета.

28 Литература:

- [1] Српски, европски и интернационални стандарди о енергетским кабловима.
- [2] Б. Лалевић: "Приручник каблови електроенергетски", Београд, 1997. год.
- [3] Т. Бојковић, М. Танасковић и Д. Перић: "Дистрибуција електричне енергије - решени примери", Академска мисао, Београд, 2009.
- [4] Зборници радова са симпозијума о енергетским кабловима Студијског комитета 21 ЈУКО CIGRE.
- [5] Д. Тасић: "Основи електроенергетске кабловске технике", Електронски факултет у Нишу, 2001.
- [6] Техничке препоруке ЕД Србије: ТП-3/2000, ТП-4а2/2001, ТП-14а/2001.
- [7] IEC 60287/2006: Calculation of the continuous current rating of cables (100% load factor).
- [8] IEC 60853-2/1989-07: Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables.
- [9] Franz Winkler "Strombelastbarkeit von Starkstromkabeln in Erde bei Berücksichtigung der Bodenaustrocknung und eines Tageslastspieles", ETZ Report-13, VDE-Verlag GmbH, Berlin 1978.
- [10] Проспекти произвођача енергетских каблова и кабловског прибора.

САДРЖАЈ

Ред. број		Стр.
1	Опсег важења и намена	1
2	Термини и дефиниције	1
3	Основни захтеви	2
4	Погонски и амбијентни услови	3
5	Избор каблова ниског напона 0,6/1 kV	4
6	Избор каблова 6/10 kV, 12/20 kV, 20/35 kV и 64/110 kV	5
7	Типизација пресека проводника и ел. заштите кабла	6
8	Основни захтеви за изградњу подземног кабловског вода	7
9	Основне препоруке за полагање енергетских каблова	9
10	Препоруке за директно полагање енергетских каблова у земљу	12
11	Кабловска канализација	17
12	Кабловско окно (шахт)	18
13	Приближавање и укрштање енергетских и телекомуникационих каблова	19
14	Приближавање и укрштање енергетских каблова са железничком и трамвајском пругом	19
15	Приближавање и укрштање енергетских каблова са цевима водовода и канализације	20
16	Приближавање и укрштање енергетских каблова са топловодом	21
17	Приближавање и укрштање енергетских каблова са гасоводом	24
18	Мађусобно приближавање и укрштање енергетских каблова	24
19	Укрштање енергетског кабла са путем изван насеља	25
20	Укрштање енергетског кабла са водотоком	25
21	Полагање енергетских каблова преко мостова	25
22	Кабловски прибор	26
23	Испитивање енергетских каблова и кабловског прибора	30
24	Дозвољено струјно оптерећење енергетског кабла	34
25	Транспорт енергетских каблова и кабловског прибора	48
26	Енергетски каблови у систему уземљења	49
27	Документација	51
28	Литература	52