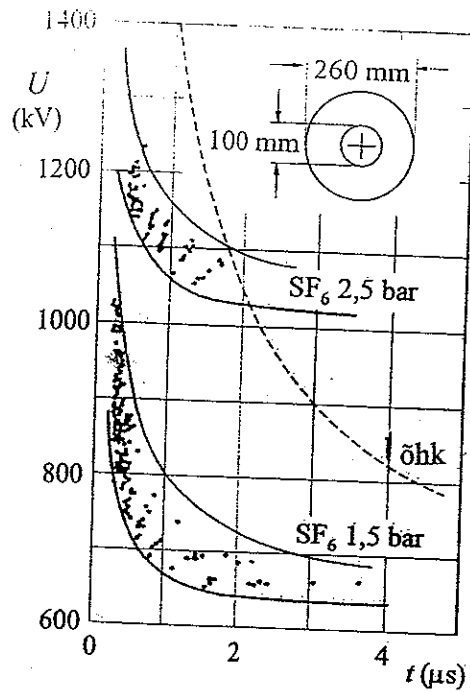
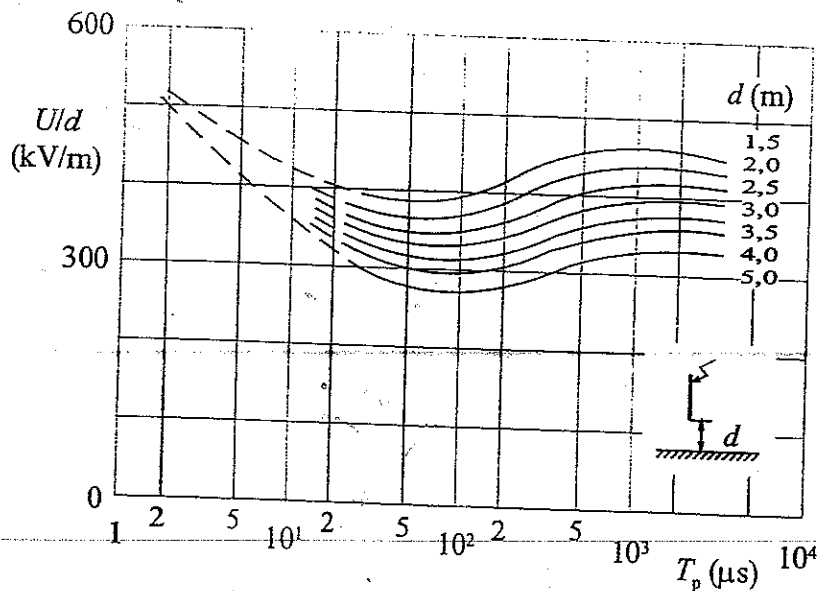
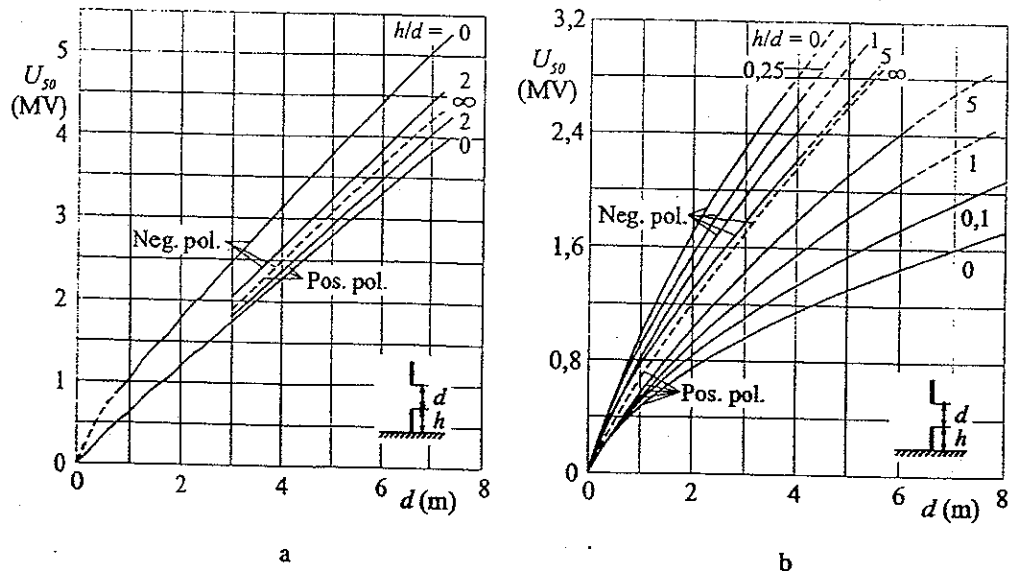




Standardse impulsiga saadud elegaasisolatsiooni ja õhu (punktiiris) volt-sekund karakteristikud



Kommutatsiooni impulsiga saadud õhu elektrilise tugevuse sõltuvus lahendusajast, varras-tasapind elektroodide erinevatel vahekaugustel



Joonis 2.21 Õhu läbilöögipinge sõltuvus elektroodide vahelisest kaugusest.
Elektroodid: varras – tasapind ja varras – varras
a) Standardne impulss b) Kommutatsiooni impulss

IEC standardid annavad valemid elektroodide vahemiku minimaalse (so positiivse polaarsusega impulsi korral) läbilöögipinge leidmiseks:

Keskmine läbilöögipinge standardse (välgu-) impulsi korral on:

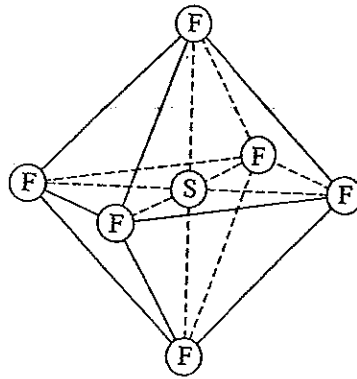
$$U_{50LI} = (380 + 150 k) d,$$

kus: U_{50LI} on 50 % läbilöögipinge, kV (LI – lightning impulse),
 d on elektroodide vaheline kaugus, m,
 k on elektroodide kujutegur (gap factor)

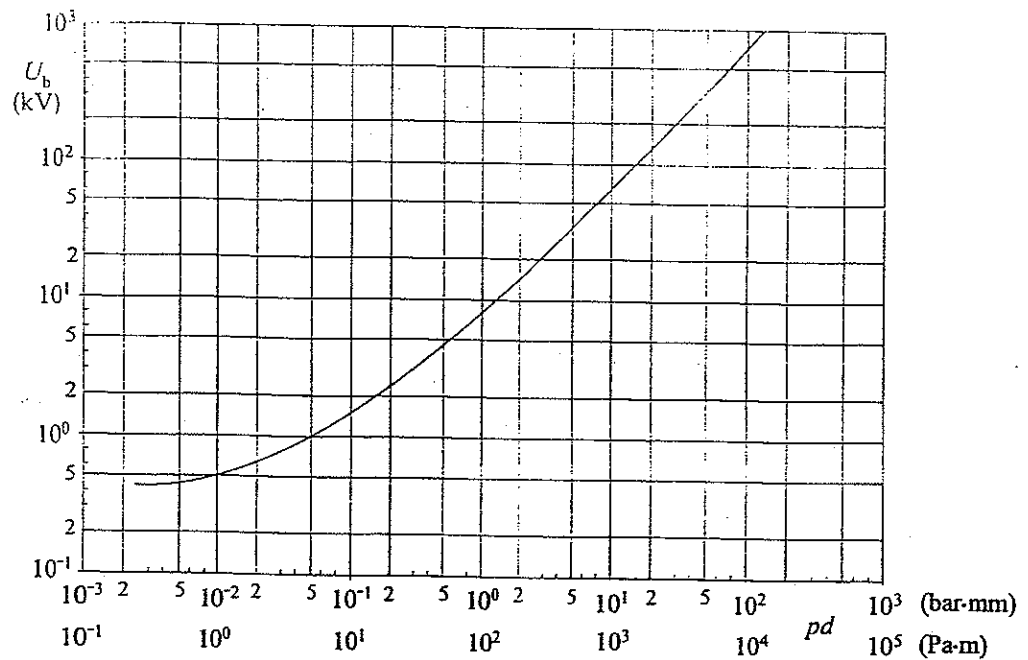
varras – tasapind on tavaliselt nõrgim, seal $k = 1$,
 muud k väärtused leiduvad alltoodud tabelis

Keskmine läbilöögipinge kommutatsiooni impulsi (SI – swiching impulse) korral:

$$U_{50SI} = k 500 d^{0,6}.$$

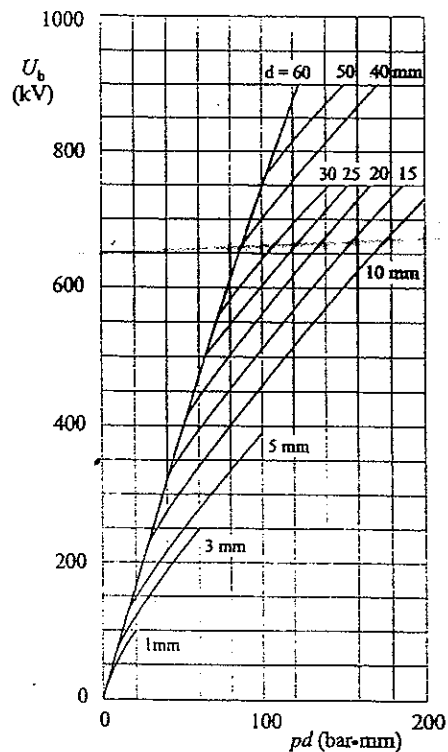


Joonis 2.23 Elegaasi molekuli struktuur



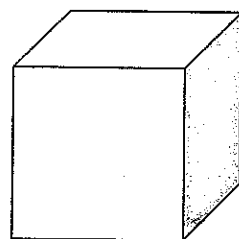
Joonis 2.24 Elegaasi Pacheni kõver alalis- ja vahelduvpingel (tippväärtus)

- Elegaasi eelised õhu suhtes avalduvad ühtlases väljas.
- Tugevalt mitteühtlases väljas läheneb tema elektriline tugevus õhu omale.
- Ühtlane väli pole kunagi ideaalne, seepärast ei lange reaalse mõõtmise tulemused Pacheni seadusega kokku.

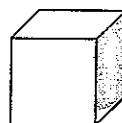


Joonis 2.25 Elegaasi Pacheni kõverad alalis- ja vahelduvpingel (tippväärtus) erinevate rõhkude ja elektroodide vahekauguste korral

Elegaasisolatsiooni kasutamine **vähendab gabariite**, näiteks 110 kV GIS:



Õhk, 100 %

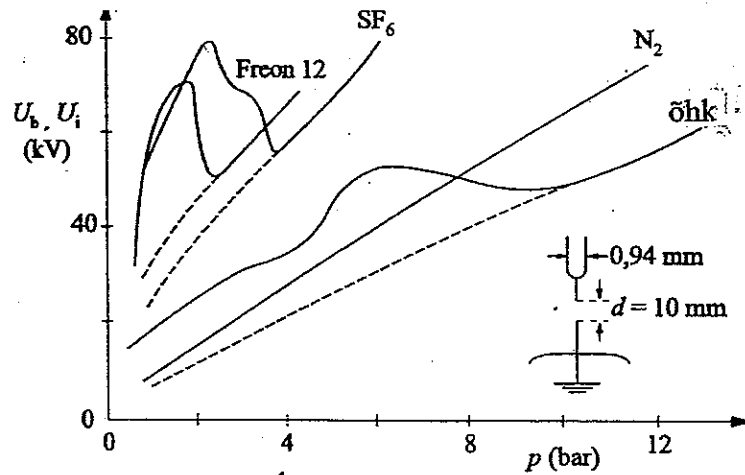


Elegaas, 12 %

Joonis 2.25 Gabariitide võrdlus õhk- ja elegaasisolatsiooni kasutamisel

Vahel kasutatakse gaase siseisolatsioonis **kõrgendatud rõhu all**.

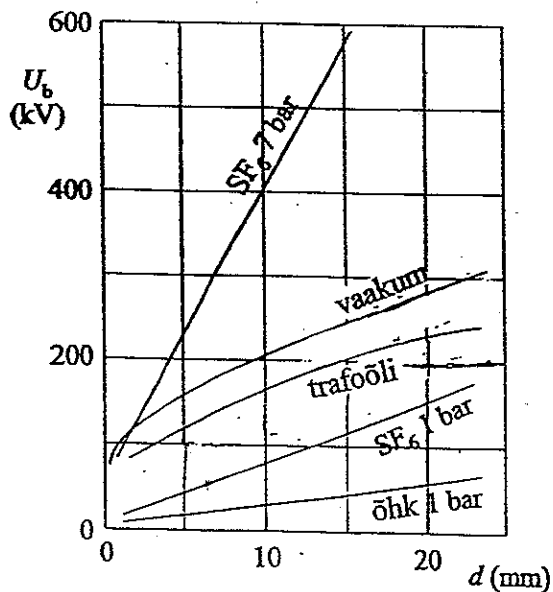
Kõrgendatud rõhul tuleb arvestada nn **gaaslahenduse anomaaliaga**:



Joonis 2.26 Läbilöögipinge (pidev joon) ja koroona alguspinge (punktiir) sõltuvus rõhust, alalispinge, teravik positiivne.

Vaakum isoleerkeskkonnana

- Vaakumlülitid
- Vaakumkondensaatorid.



Läbilöögipinge sõltub:

- vaakumi "sügavusest"
- elektrodide materjalist
- elektrodide pinna ebatasasustest
- materjalide puhtusest

Joonis 2.27 Erinevate isoleermaterjalide läbilöögipinge sõltuvus elektrodide vahelisest kaugusest ühtlases väljas.

2.8 Isolaatorid

Isolaatorite talitluskarakteristikud sõltuvad oluliselt isolaatori välispinna kujust – seelikute ja ribide arvust, nende kujust ja mõõtmetest.

Isolaatorite ülelöögil on määrava tähtsusega nende saastlahenduspinge.

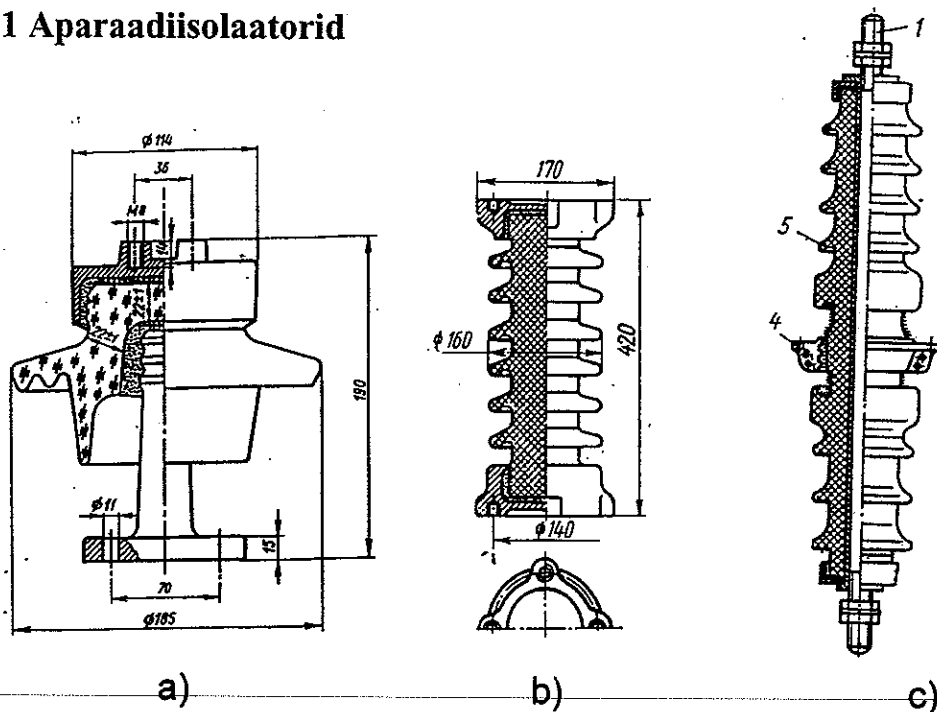
Saastlahenduspinge suurus sõltub oluliselt ribidest ja seelikutest.

Isolaatori kuju on oluline, kuna:

- seelikute alumised küljed võivad sajus jääda kuivaks ja
- õigesti kujundatud isolaatori ribad ja seelikud peavad lahenduse osaliselt eemaldama isolaatori pinnast
- isolaatori läbimõõdu suurendamine mõjub lahenduspinget alandavalt
- isolaatori kuju peab soodustama isepuhastumist

2.8.1 Isolaatorite konstruktsioon

2.8.1.1 Aparaaadiisolaatorid



Joonis 2.37 Aparaaadiisolaatorite konstruktsioon

- a) tõirtugiisolaator
- b) varrastugiisolaator
- c) läbiviikisolaator

Sisetingimustes kasutatakse varrastugiisolaatoreid pingel kuni 35 kV.

Välistingimustel kasutatavate varrastugiisolaatorite välispind on tugevasti liigendatud.

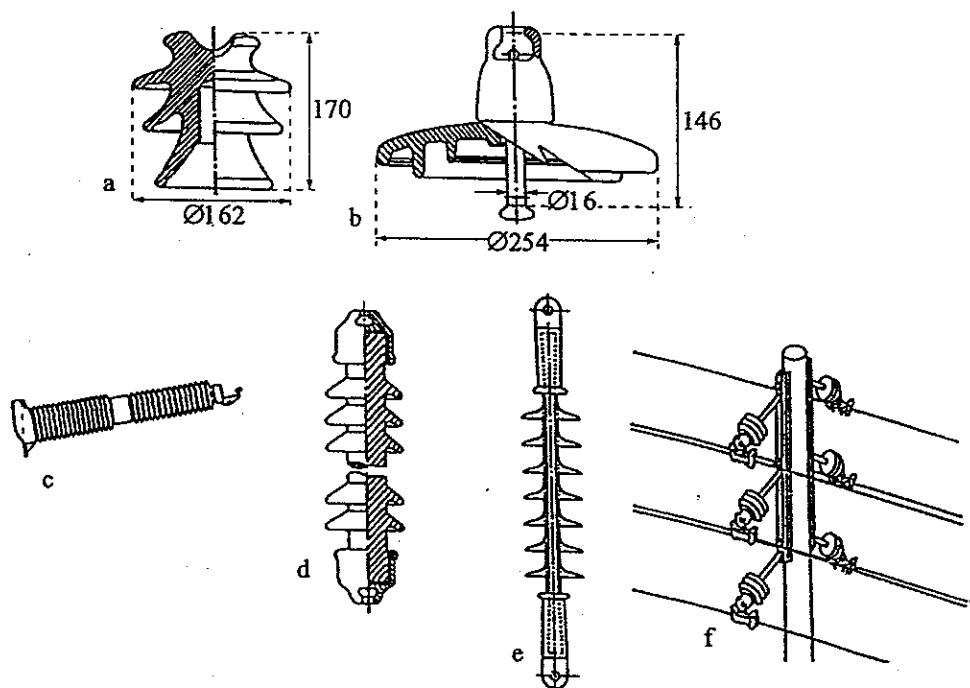
Varrastugiisolaatorite murdejõud on tavaliselt 3...50 kN.

Läbiviikisolaatorid

- portselanisolaator
- läbiviikjuht
- kinnitusäärik

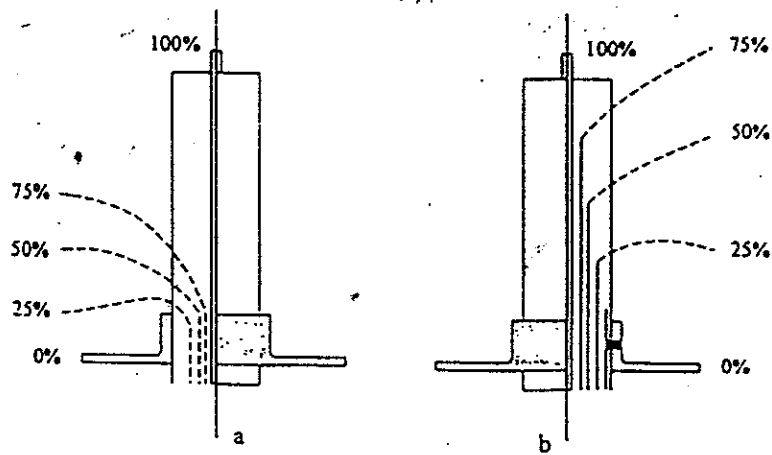
Oluline on siin mahtuvuslik komponent – lahenduspinge suurendamiseks tuleb läbiviikisolaatori pinnaerimahtuvust vähendada.

2.8.1.2 Liiniisolaatorid

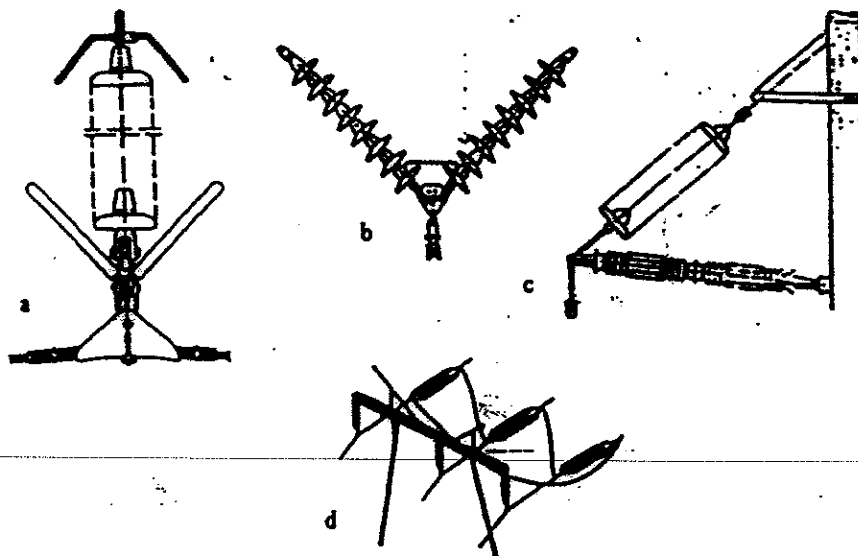


Joonis 2.39 Liiniisolaatorite konstruktsioon

- a) liinitõirisolaator
- b) taldrikisolaator
- c) liinitugiisolaator
- d) varraisolaator
- e) komposiitisolaator
- f) liinitugiisolaatorid isoleeritud juhtmetele



Läpivientieristimen kentänjakauma. a) Ilman ohjausta. b) Kapasitiivisesti ohjattu [3.1].



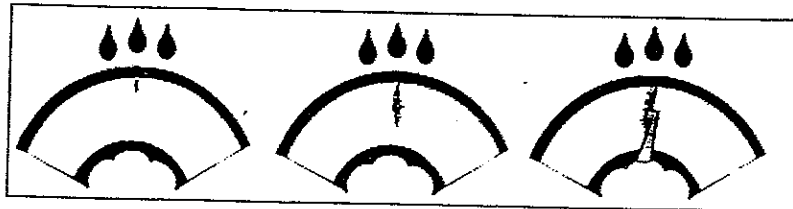
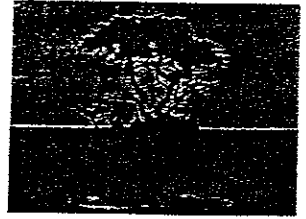
Erilaisia avojoktojen eristysrakenteita [3.45]. a) I-ketju. b) V-ketju. c) Tukieristimen käyntö johdolla. d) Kiristysketjun vuorotteluhoidossa.

- **TEKKIMISEKS ON VAJA**

- elektrivälja
- vett
- aega

- **LISAKS MÕJUTAVAD VESIPUUDE KASVU**

- pooljuhtkihtide ebatasasus
- puudused isolatsiooni puhtuses

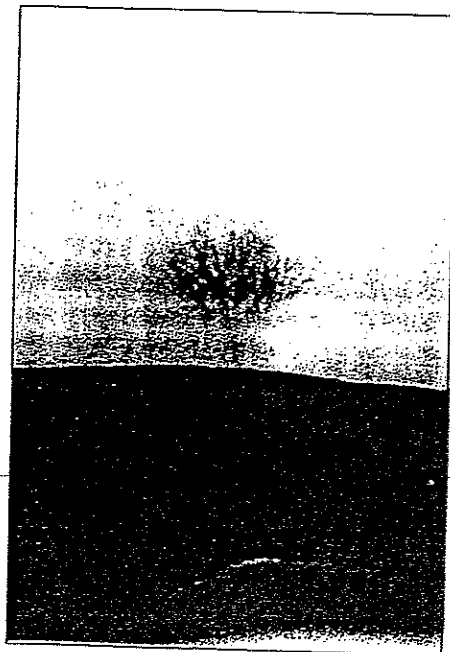
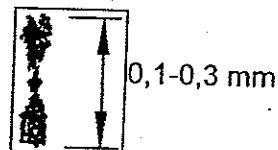


- **TÜÜBID**

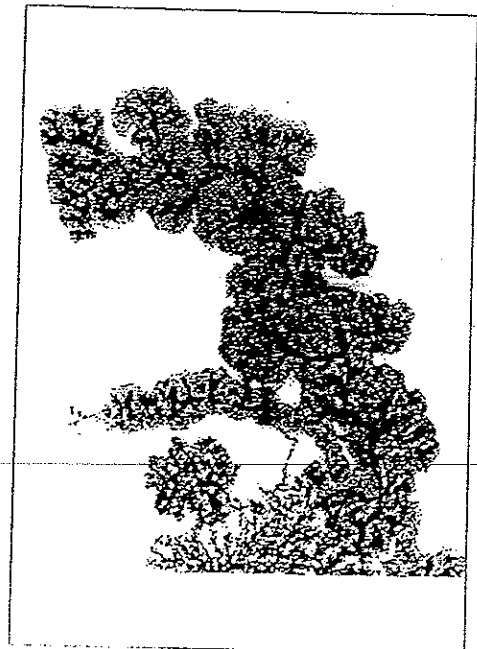
- **PÕÕSAKUJULISED PUUD (VENTED TREES)**



- **ROSETTPUUD (BOW-TIE TREES)**

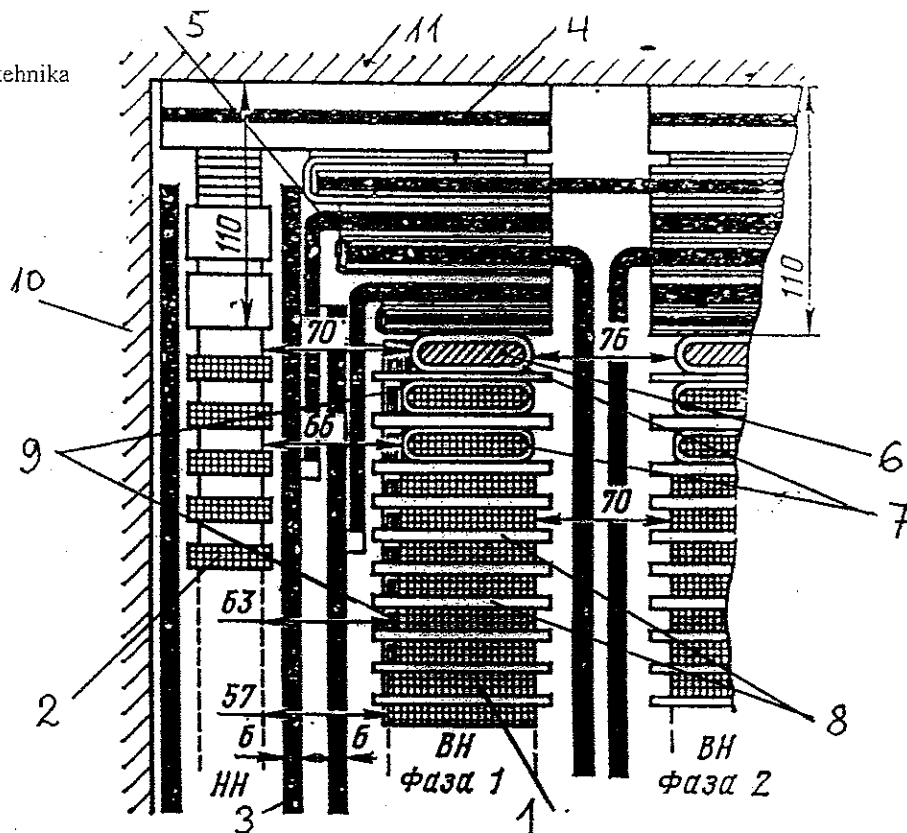


PEX - isolatsioon



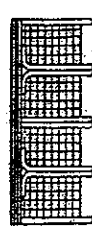
õlikaabli isolatsioon

Joonis 3.19 Vesipuud – tekkimine ja tüübid

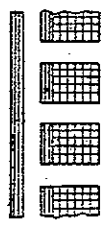


Joonis 3.21 Kahemähiselise 110 kV trafo isolatsioon

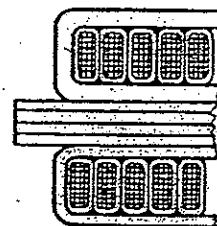
- 1 – kõrgepingemähis
- 2 – madalpingemähis
- 3 – silinderbarjäär
- 4 – seibbarjäär
- 5 – nurkbarjäär
- 6 – vasklindiga kaetud mahtuvuslik papprõngas
- 7 – mahtuvusliku rõnga ja esimeste mähisekihtide lisaisolatsioon
- 8 – pikiisolatsioon
- 9 – isoleerrõngad
- 10 – trafosüdamik
- 11 – ike



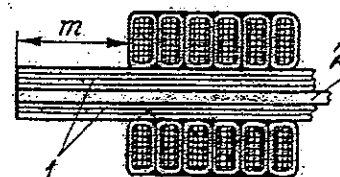
a)



b)



a)



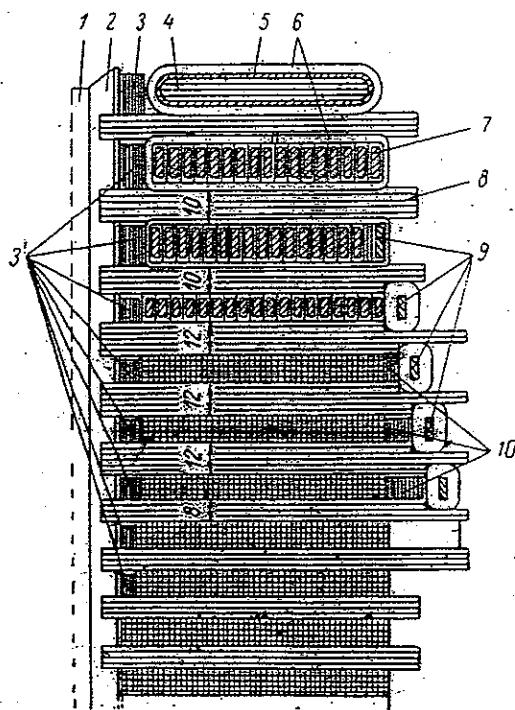
b)

Sama mähise poolide vahelise
isolatsiooni variante,
õlikanalitega (b) ja ilma (a)

Kihtide vahelise isolatsiooni
variante

- a) tugevdatud isolatsioon
- b) tavaline isolatsioon

Joonis 3.22 Poolide ja kihtidevahelise isolatsiooni variante



- 1 – silinderbarjäär
- 2 – mähiste fiksaator
- 3, 3', 8 – isoleerpapist vahesilindrid
- 4 – vasklindiga kaetud
mahtuvuslikud papprõngad
- 5 – vasklint
- 6 – täiendav isolatsioon
- 7 – mähised
- 9 – mähistest isoleeritud
mahtuvuslikud katkestatud
rõngad
- 10 – mahtuvuslike kaitserõngaste
lisaisolatsioon

Joonis 3.23 Trafo mähise mahtuvusliku kaitse skeem

Nõuded trafo isolatsioonile tulenevad **impulsspingetest**.

Impulsspinge frondi suure järskuse tõttu levib liigpinge mööda trafo mähiste-, kihtide- ja keerdudevahelisi mahtuvusi.

Peaisolatsioonil sõltub liigpingete jagunemine trafo neutraali maandusviisist:

- maandatud neutraaliga trafol esineb suurim peaisolatsioonile rakenduv impulsspinge umbes 1/3 kaugusel mähise algusest (15 – 20% üle mõjuva pinge)
- isoleeritud neutraaliga trafodel esineb suurim peaisolatsioonile rakenduv impulsspinge mähise lõpus (50...80% üle mõjuva pinge)

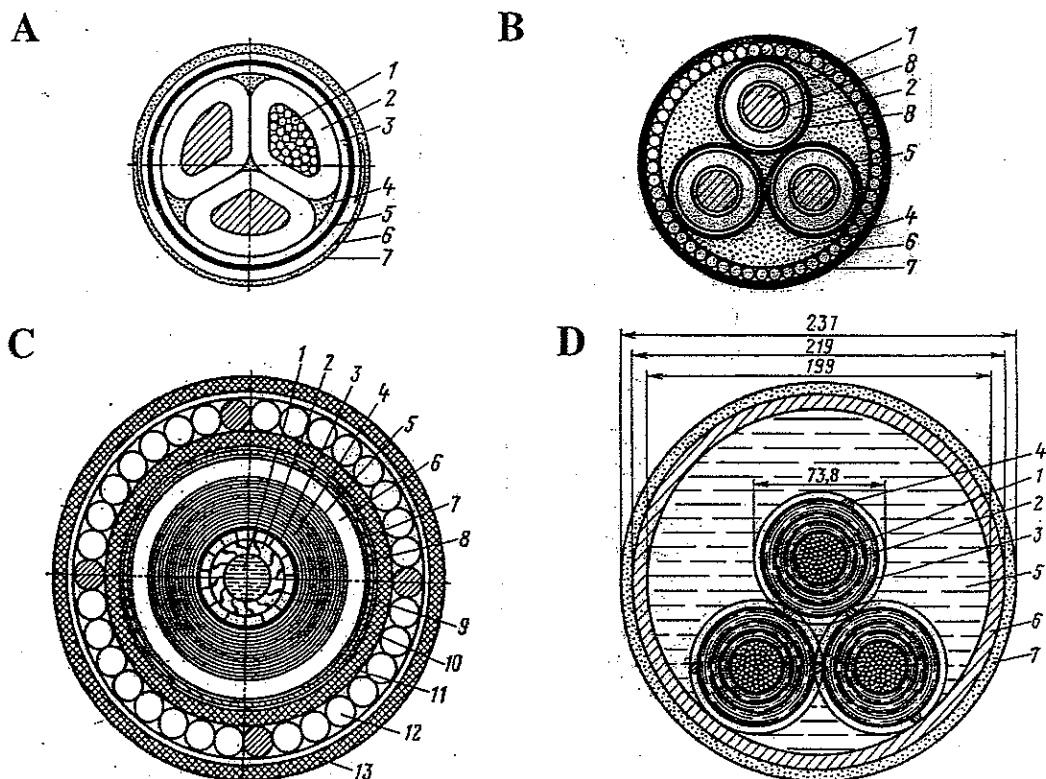
Pikiisolatsioonil võib järsu frondiga impulss tekitada kuni 10-kordse normaaltalitluspinge.

Trafo mähiste induktiiv- ja mahtuvuslikest takistustest koostatud aseskeem on joonisel 3.24.

- mittepolaarne – väikesed kaod
- puudused
 - põlev, tuld edasikandev
 - ei ole korduvkasutatav

Kõrgepingekaablite tüübid:

- paberõlikaablid e. paberkaablid (kuni 35 kV)
- õlikaablid (110...220 kV, ka kuni 500 kV)
- gaasikaablid (kuni 220 kV)
- PEX/XLPE kaablid (kuni 220 kV)
- Erikaablid (kuni 400 kV)



Joonis 3.29 Mõned kesk- ja kõrgepingekaablite konstruktsioonid

A – 10 kV paberõlikaabel, **B** – 35 kV paberõlikaabel, **C** – madalsurve õlikaabel 110 kV, **D** – kõrgsurve õlikaabel terastorus 220 kV

A ja B:

- 1) juht (soon)
- 2) isolatsioon
- 3) vööisolatsioon
- 4) täitekiht
- 5) tinakest
- 6) soomus
- 7) korrosioonikaitse
- 8) pooljuhtiv ekraan

C:

- 1) õlikanal
- 2) juht
- 3) pooljuhtekraan
- 4) paberisolatsioon
0,08...0,12 mm
- 5) pooljuhtekraan
- 6) vasetatud tinakest
- 7...11,13) kaitsekestad
- 12) teras ja vasktraat-soomus

D:

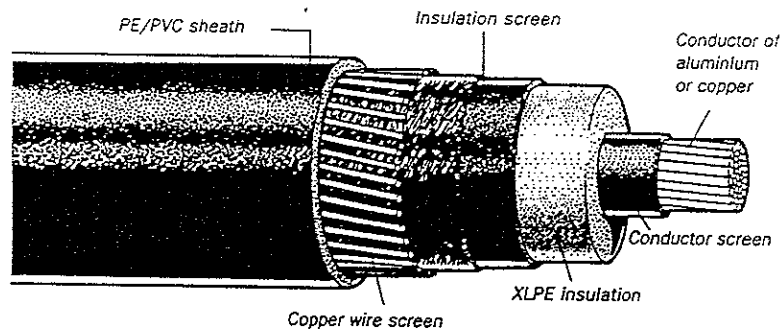
- 1) juht
- 2) kaablipaberisolatsioon
- 3) perforeeritud vasklindid
- 4) poolümarad libistustraadid
- 5) kaabliõli
- 6) terastoru
- 7) korrosioonikaitse

Õlikaablite surveastmed:

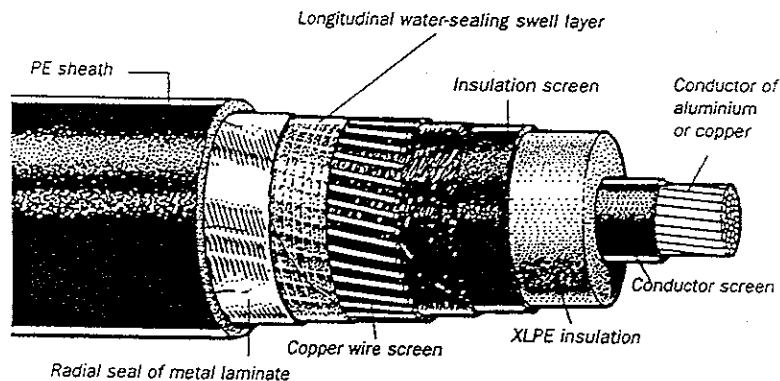
- madalsurvekaablid: $\leq 0,1$ Mpa
- kesksurvekaablid: $0,3 \dots 0,4$ Mpa
- kõrgsurvekaablid: $0,7 \dots 1,5$ MPa

Mõnede kaablitüüpide maksimaalsed tööväljatugevused:

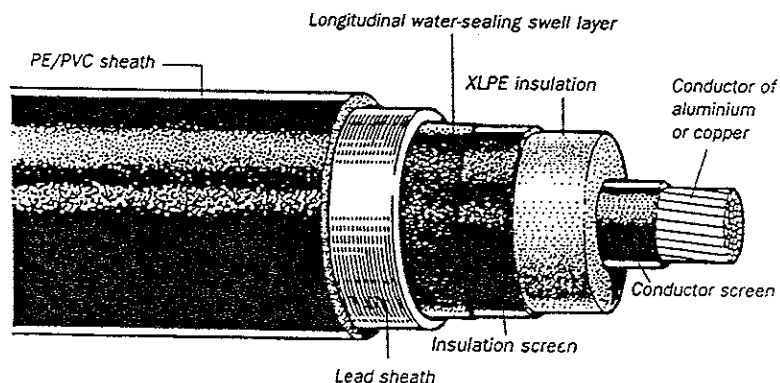
- Viskoosse täitega paberkaablid
 - 10 kV – 3,2 kV/mm
 - 35 kV – 4,2 kV/mm
- õlikaablid
 - madalsurvekaablid – $6 \dots 10$ kV/mm
 - kesksurvekaablid – $8 \dots 12$ kV/mm
 - kõrgsurvekaablid – ≤ 18 kV/mm



VARIANT 1

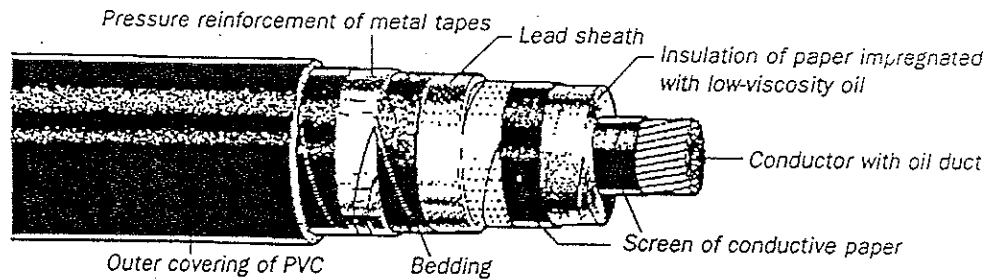


VARIANT 2

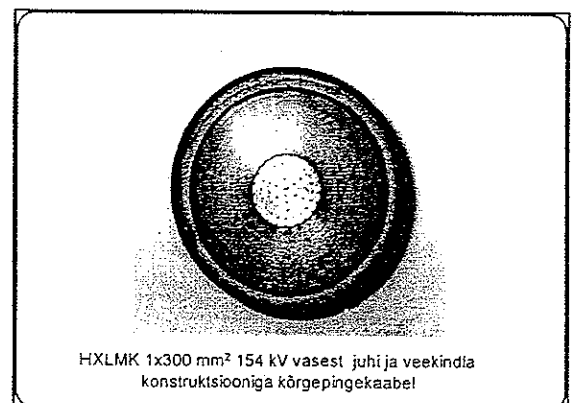
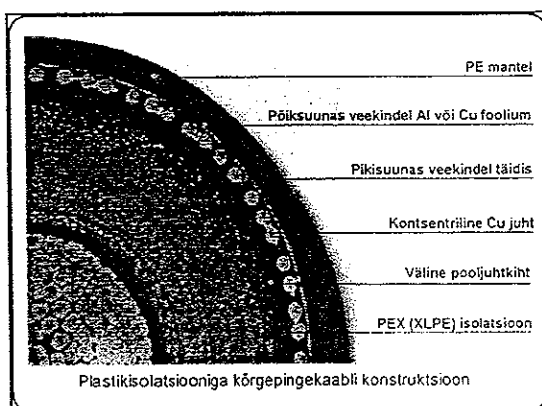
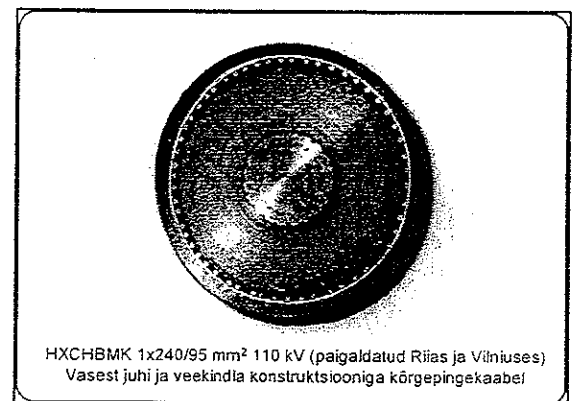
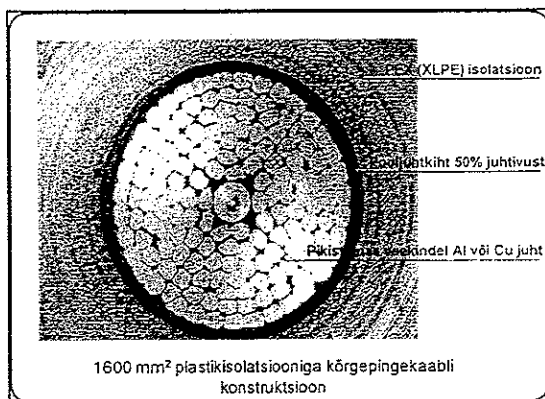


Joonis 3.30 PEX/XLPE isolatsiooniga kaablid

TYPICAL OIL-FILLED PAPER-INSULATED CABLE

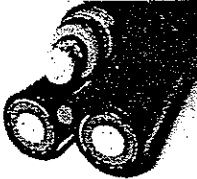


Joonis 3.31 Tüüpiline paberisolatsiooniga õlikaabel

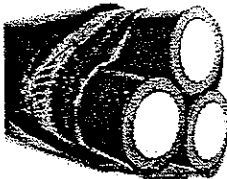


Joonis 3.32 PEX/XLPE isolatsiooniga kõrgepingekaablid

KEILA KAABEL Põhilised kasutatavad keskpinge kaablite konstruktsioonid



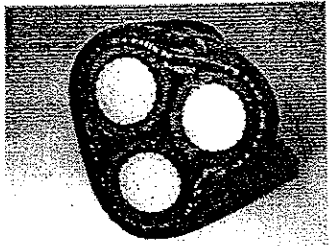
TSLE 12-24 kV
AHXAMK-W 10-20 kV
Kolm piki- ja põiksuunas
veekindlat PE mantliga soont



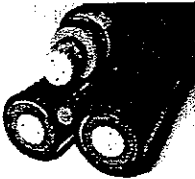
AXLJ-RMF 12-24 kV
AHXCMK-WTC 10-20 kV
Kolm pikisuunas
veekindlat soont ühisel PE või
PVC (AXKJ-F) mantlis.

KEILA KAABEL AXLJ-RMF AHXCMK-WTC
AXKJ-F >>>>PVC<<<<

Kannatab väga hästi järskudest löökvooludest põhjustatud dünaamilist koormust



KEILA KAABEL Põhilised veekindlate keskpinge kaablite konstruktsioonid



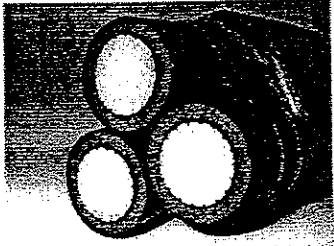
AHXAMK-W 10-20 kV
Kolm piki- ja põiksuunas
veekindlat PE mantliga soont
keerutatud ümber vasktrossi.



AXLJ-TT 12-24 kV
TSLE 12-24 kV
Piki- ja põiksuunas veekindlad PE
mantliga sooned, kokku
keerutatud või üksikult.

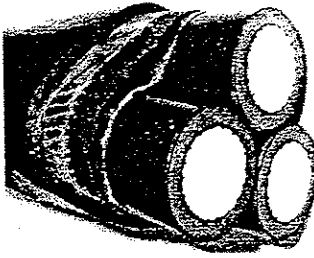
KEILA KAABEL AXLJ-RMF AHXCMK-WTC
AXKJ-F >>>>PVC<<<<

Sobib ideaalselt riulipaigalduseks ja paigalduseks kaabli kanalitesse



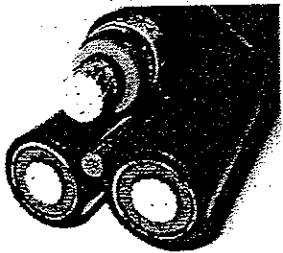
KEILA KAABEL AXLJ-RMF AHXCMK-WTC
AXKJ-F >>>>PVC<<<<

Pikisuunas veekindla juhiga ja PVC või PE vaibaga keskpinge kaabel

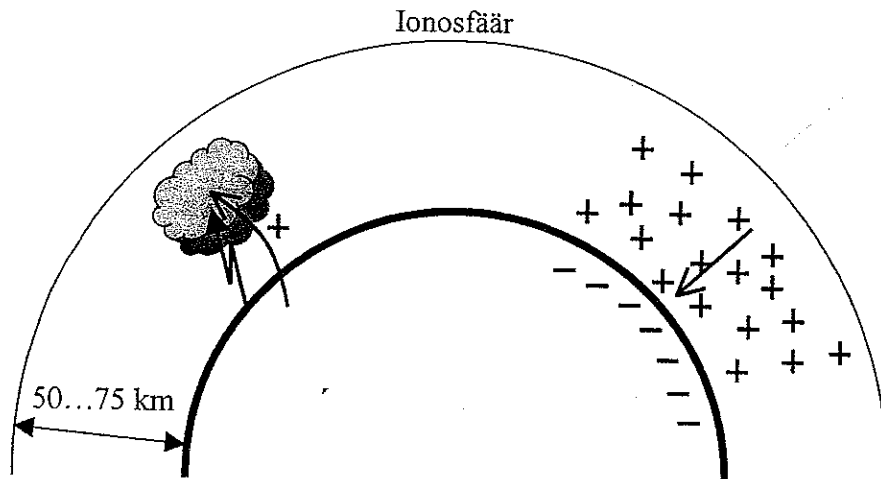


KEILA KAABEL AXLJ-TT 12-24 kV
TSLE 12-24 kV
AHXAMK-W 10-20 kV

Piki- ja põiksuunas veekindel PE vaibaga keskpinge kaabel

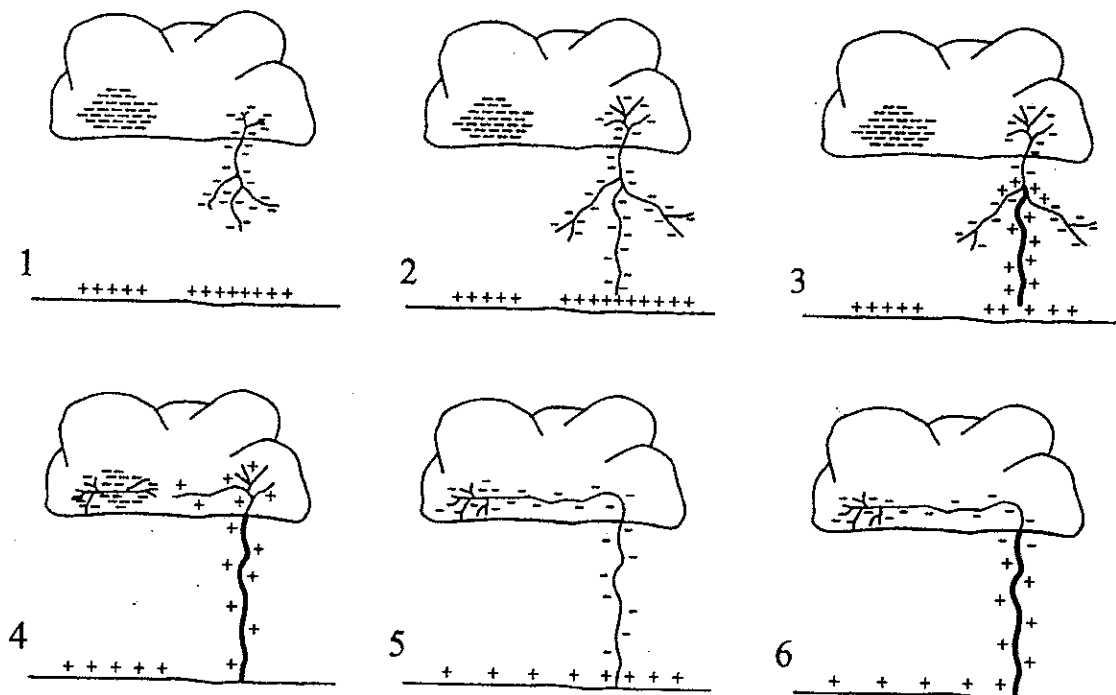


Joonis 3.33 Plastisolatsiooniga keskpinge kaablid



Joonis 5.1 Positiivsete laengute liikumine maa atmosfääris

Välgu kujunemine

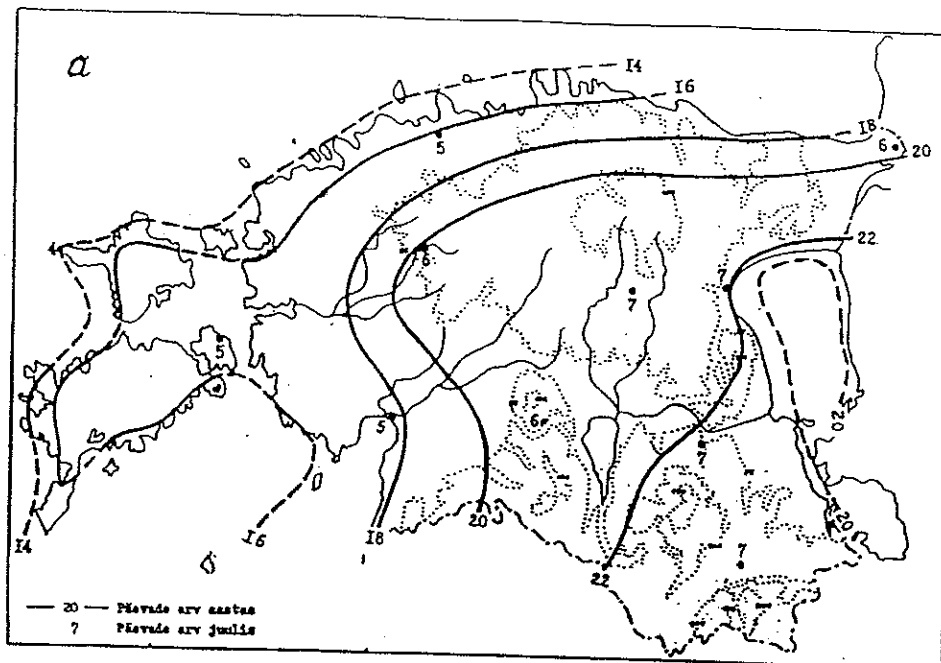


Joonis 5.2 Välgu kujunemise etapid

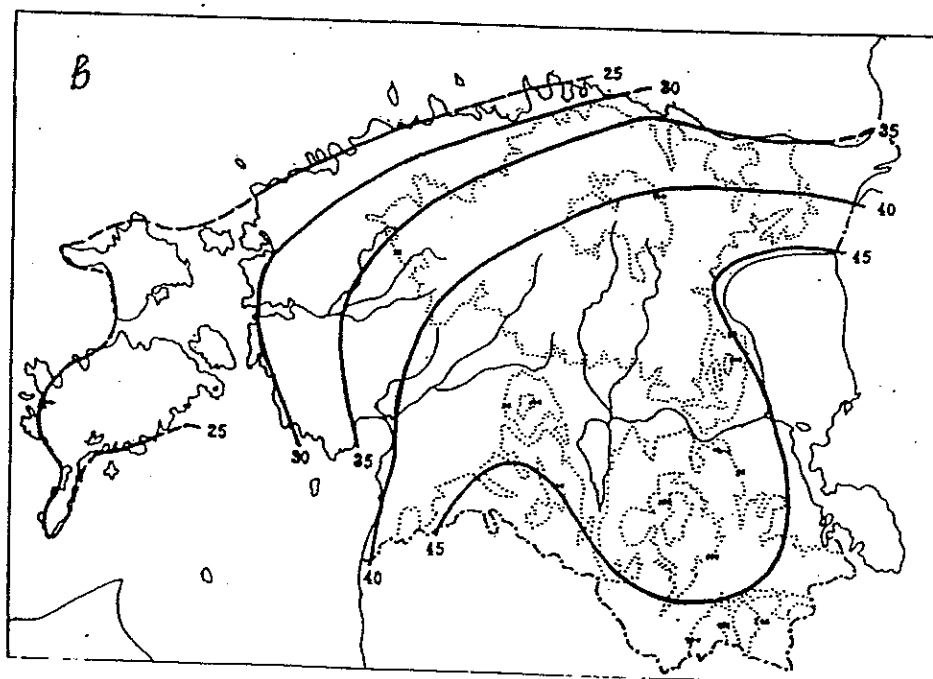
5.3 Välgulahenduste geograafiline tihedus

Äikese esinemistihedust kirjeldavad

- äikesepäevade arv aastas T_d
- äikesetundide arv aastas T_h



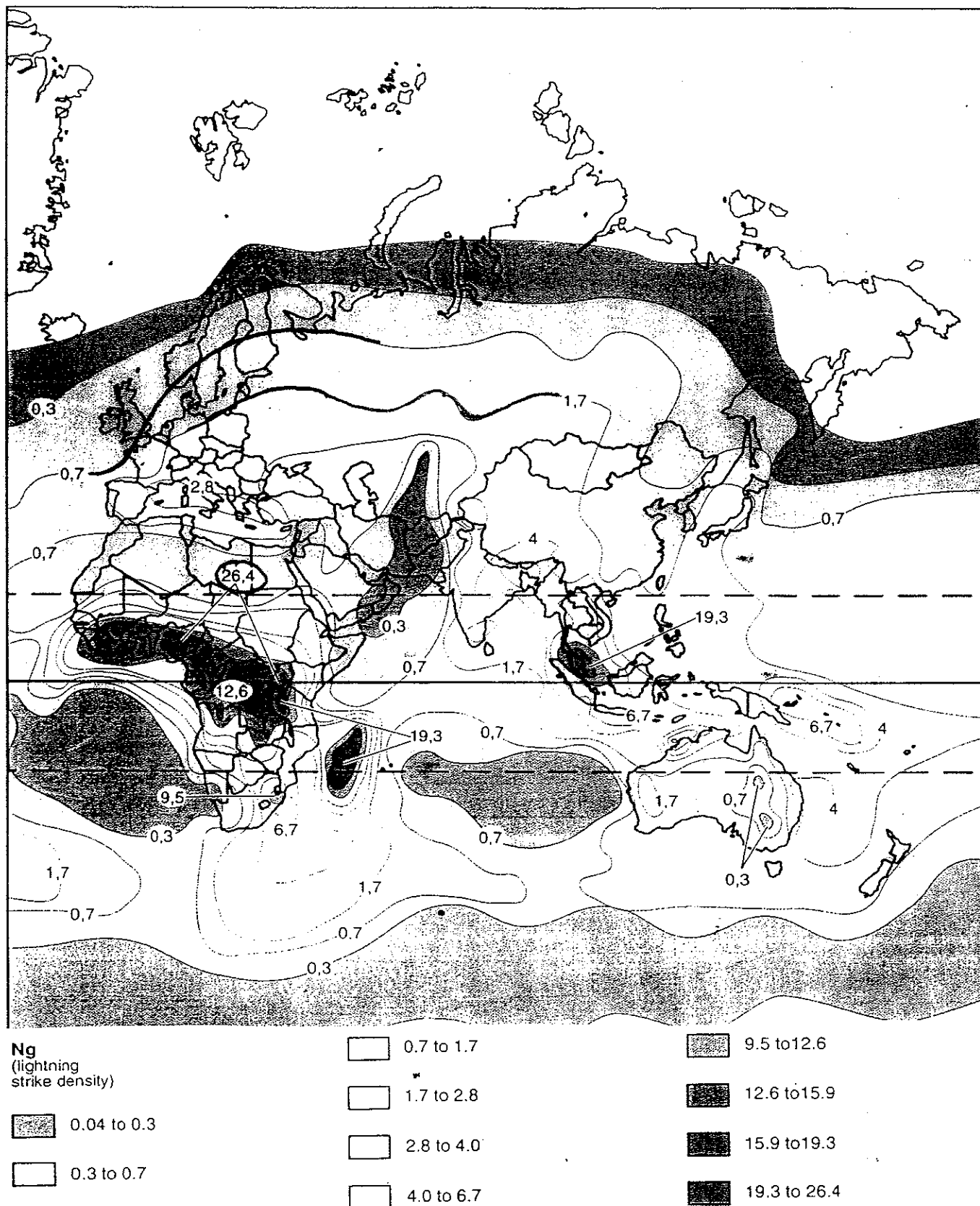
Joonis 5.8 Eestis esinevate äikesepäevade arv aastas T_d



Joonis 5.9 Eestis esinevate äikesetundide arv aastas T_h

Välgulahenduste tihedust ühe ruutkilomeetri kohta aastas leitakse valemitega

$$N_g = 0,04T_d^{1,25} \text{ või } N_g = 0,067T_h$$



Joonis 5.10 Välgulahenduste arv ühe ruutkilomeetri kohta aastas N_g

5.2 Kaitse välgu otselöögi vastu

Välgu otselööke seadmesse saab suure tõenäosusega vältida

- piksevarraste abil
- piksetrosside abil
- välgupüüdursüsteemide abil

Piksekaitse kaitsetsoonid sõltuvad kaitstavate objektide kõrgusest

Allpool vaadeldavad kaitsetsoonid kehtivad kuni 25 m kõrgustele seadmetele.

Selle kõrguse piiridesse jäävad kõik Eesti elektrivõrkude seadmed.

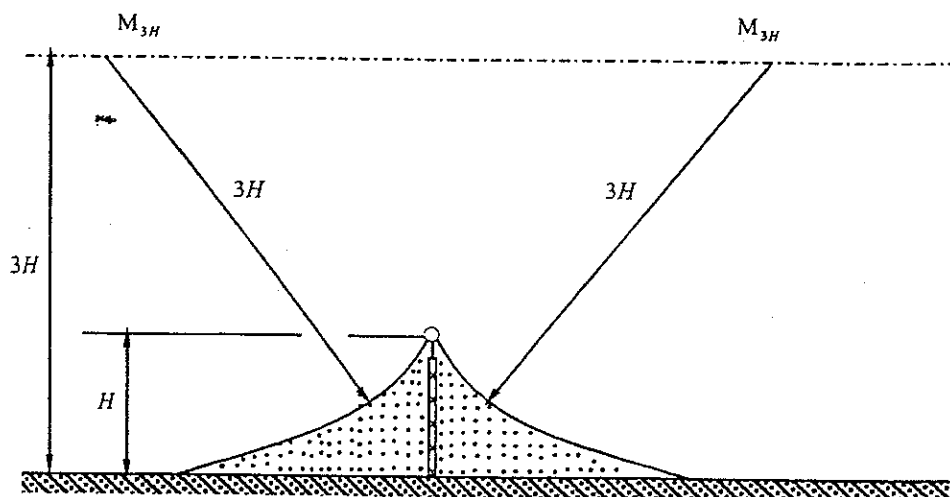
Kõrgemate paigaldiste korral on kaitsetsoonid suhteliselt väiksemad.

5.2.1 Piksevardad

Piksevardast arenevad lahenduskanalid kiiremini, kui piksetrossidelt.

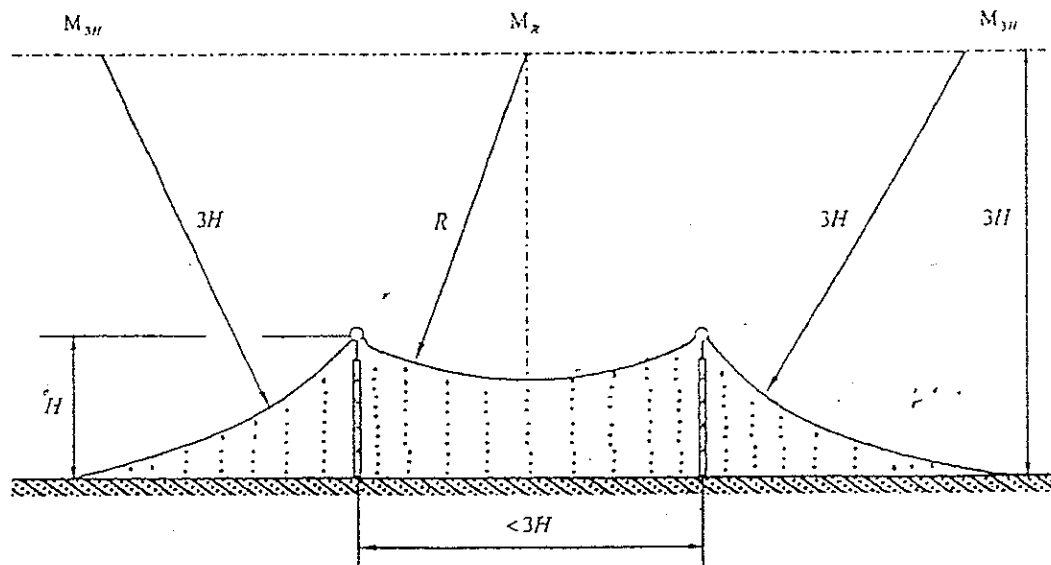
Seega on piksevarraste kaitsetsoonid laiemad kui samal kõrgusel paiknevate piksetrosside kaitsetsoonid.

Üksiku piksevarda kaitsetsoon on nõguskoonuse kujuline, mille moodustaja on piksevarda tippu läbiv kaar raadiusega $3H$ (joonis 5.11).



Joonis 5.11 Üksiku piksevarda kaitsetsoon

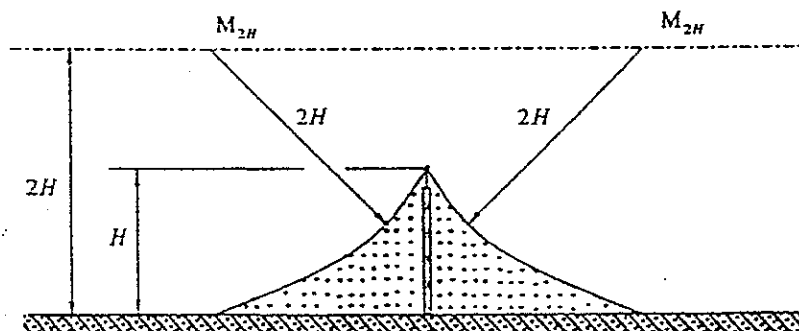
Kahe teineteisest vähem kui $3H$ kaugusel asuva piksevarda vaheline kaitsetsoon moodustub varraste tippusid läbiva kaarega raadiusega R , mille keskpunkt M_R on kõrgusel $3H$ (joonis 5.12).



Joonis 5.12 Kahe lähedase piksevarda kaitsetsoon

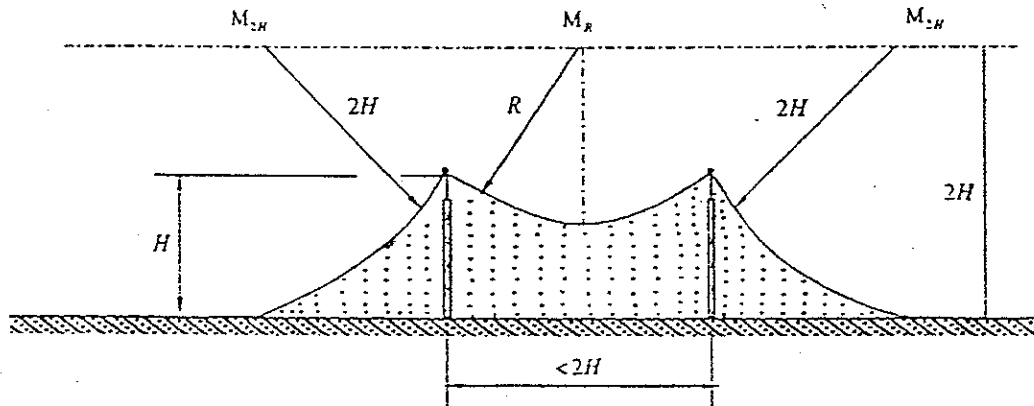
5.2.2 Piksetrossid

Üksik piksetross tekitab piki trossi telgikujulise kaitsetsooni, mille ristlõike piirjooneks on trossi läbiv kaar raadiusega $2H$



Joonis 5.13 Üksiku piksetrossi kaitsetsoon

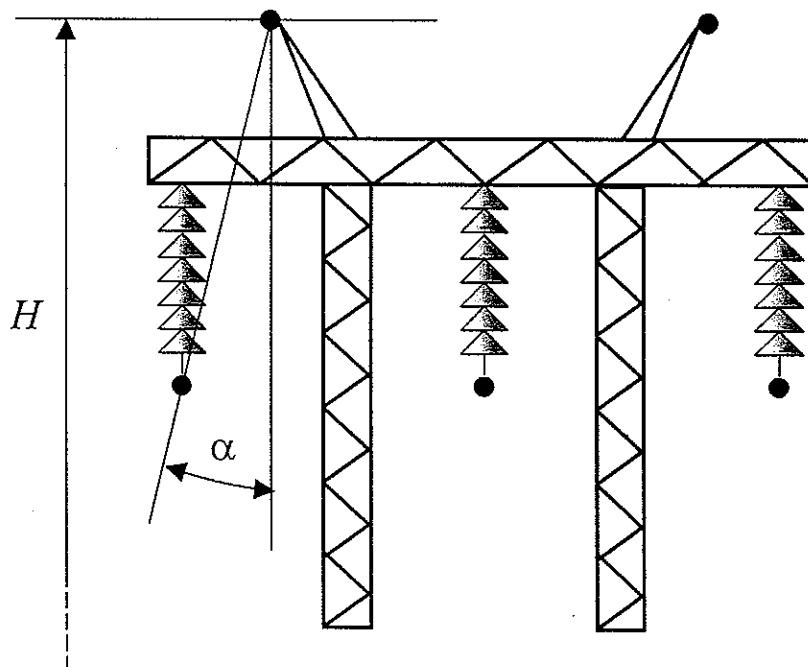
Kaks piksetrossi, mille vahekaugus on väiksem kui $2H$, tekitavad koos kaitsetsooni, mille piiri piksekaitsetrosside vahel moodustab trossidele toetuv kaar raadiusega $2H$. Väliskülgedel on kaitsetsoon sama kui ühe trossi korral.



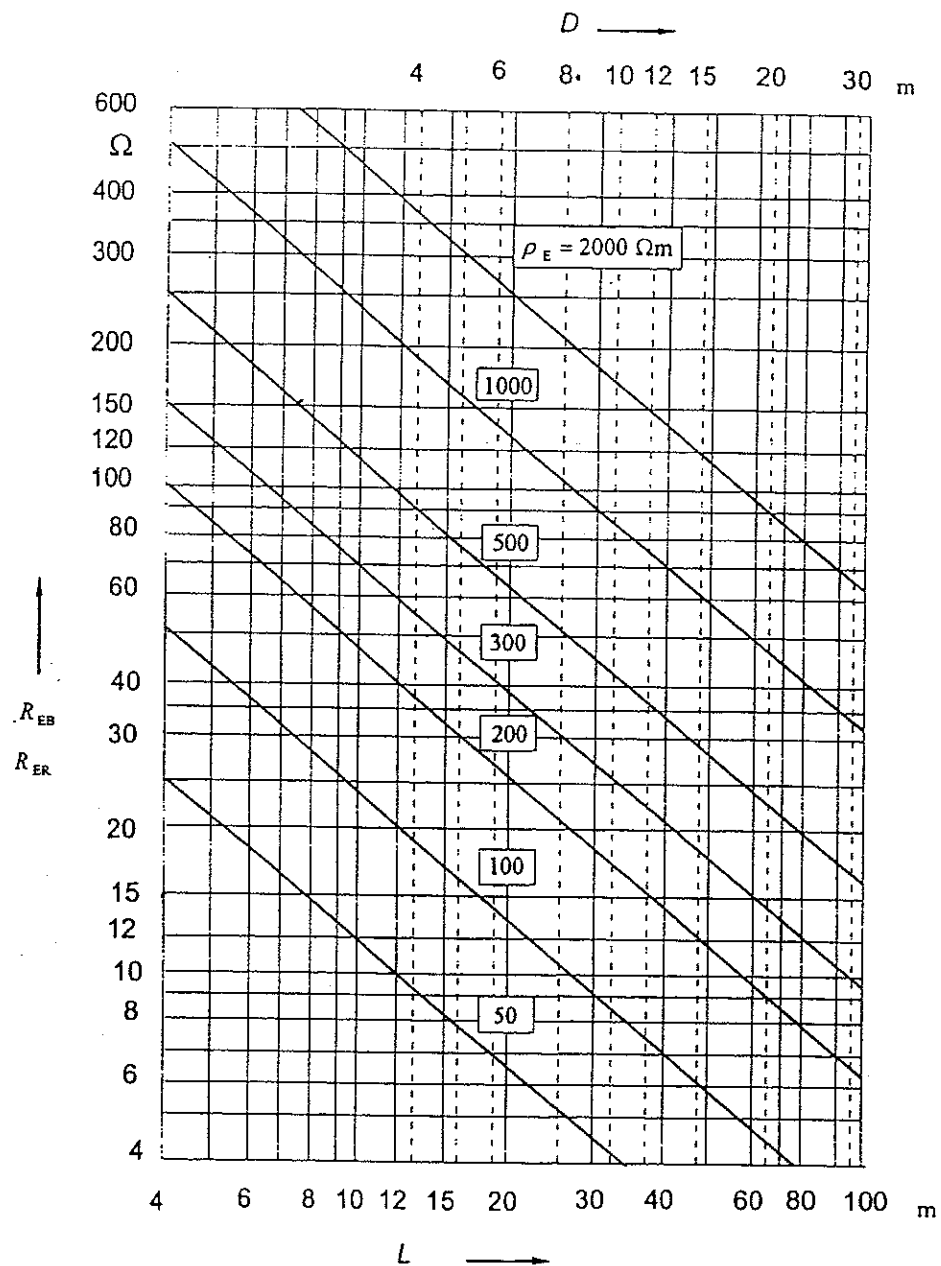
Joonis 5.14 Kahe piksetrossi kaitsetsoon

Kaitsetsoon on kogu trosside ulatuses pidev

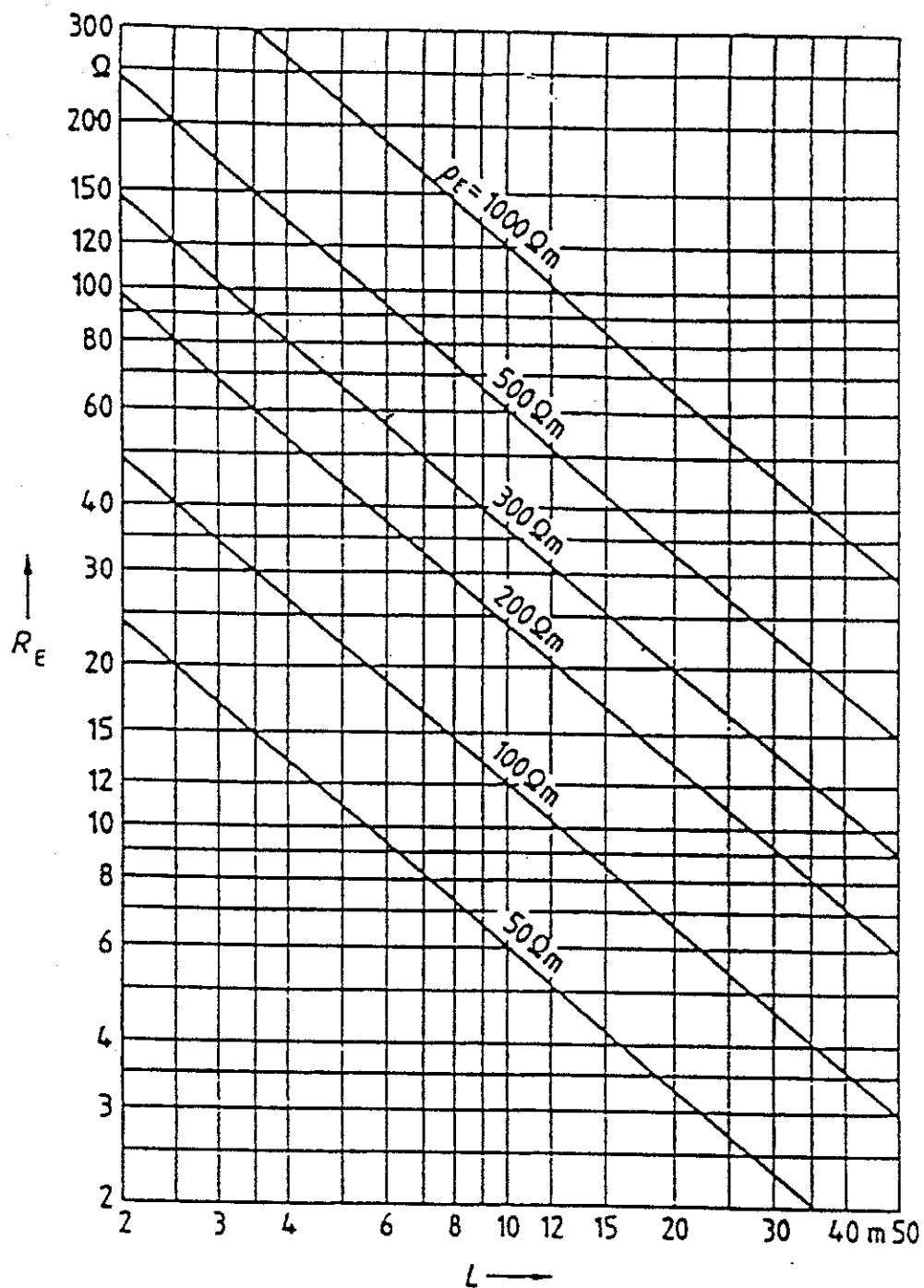
5.2.3 Õhuliini kaitsenurk



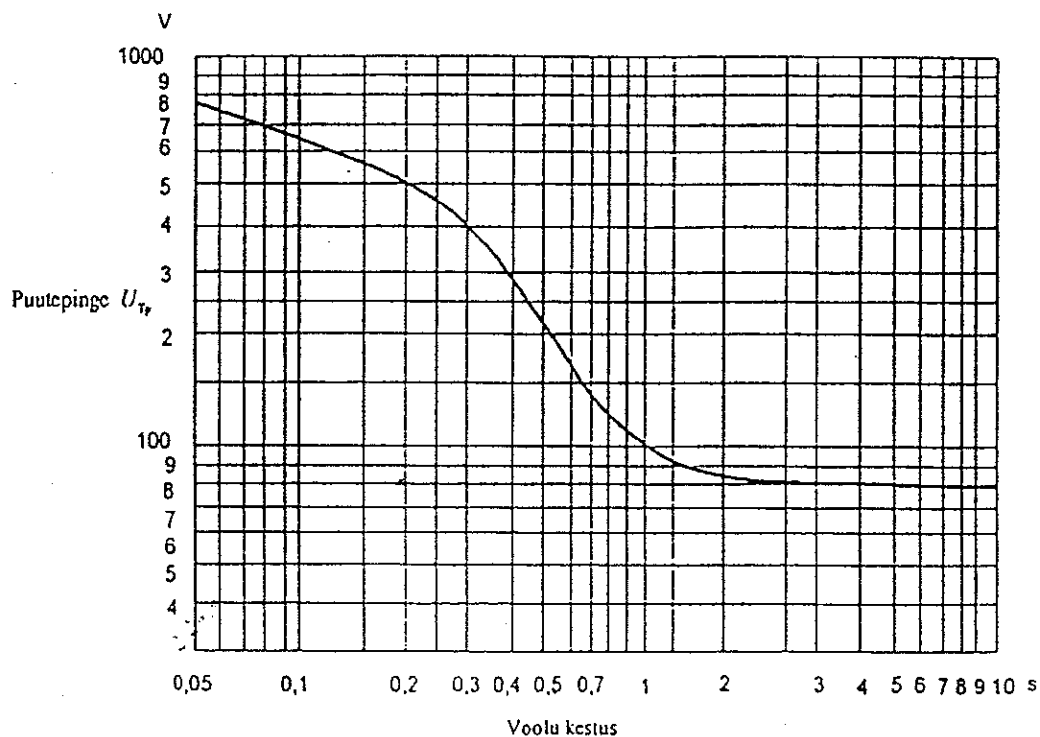
Joonis 5.15 Õhuliini kaitsenurk



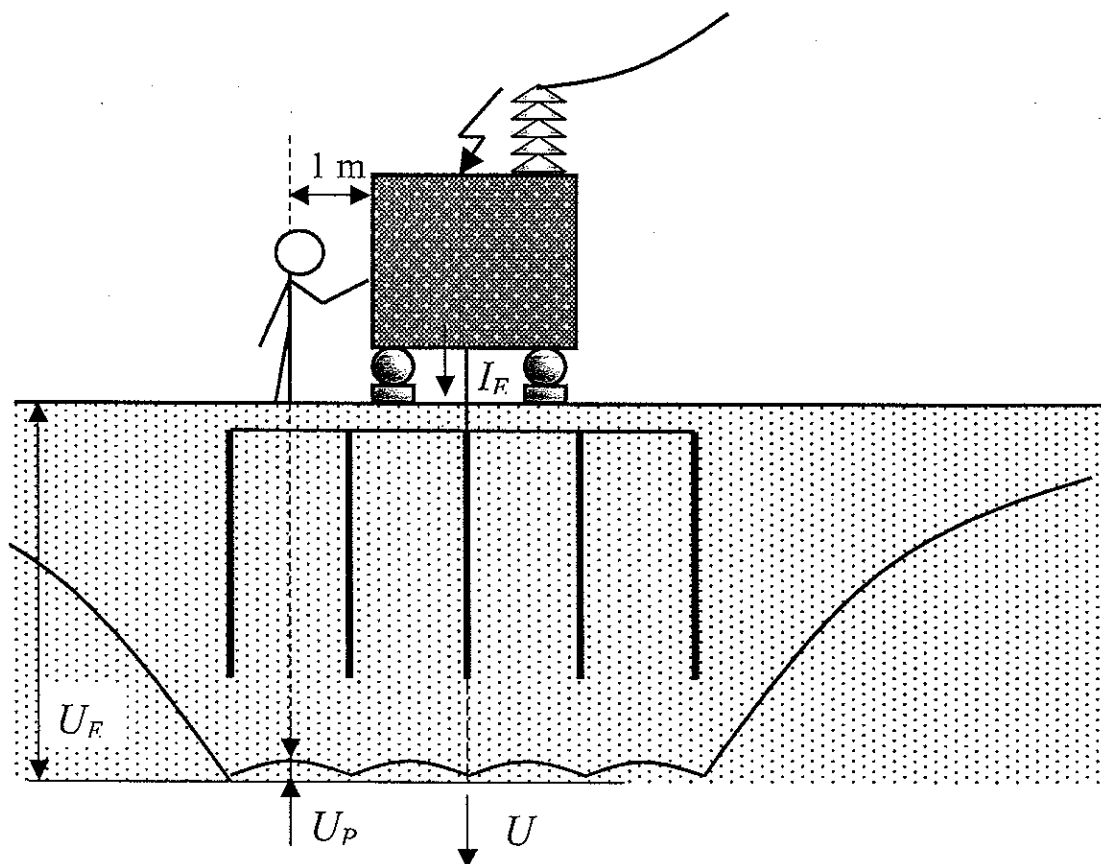
Joonis 5.17 Riba- või ümarprofiiliga või kiudjuhist rõhtsate sirg- ja rõngasmaandurite valgumistakistused homogeenses pinnases, kui $d = 0,015$ m



Joonis 5.17 Püstmaandusvarda valgumistakistused homogeenses pinnases, kui $d = 0,02$ m



Joonis 5.19 Kõrgepingevõrkudes lubatav puutepinge sõltuvus maavoolu kestusest (pikemalt kestva maavoolu korral $U_{TP} = 75 \text{ V}$)



Joonis 5.18 Puutepinge mitmest elektroodist koosneva maanduri korral

Kustumisvool võiks olla $I_{kst} \leq 1000$ A, kuid nii suurt voolu ei talu takisti. Seepärast piiratakse kustumisvoolu 300 amprini.

Kustumisvoolu suurendamine võimaldab suurendada saatevoolu, mis omakorda võimaldab sama kustumispinge juures vähendada mittelineaarset takistust ja seega vähendada ka jääkpinget. Kokkuvõttes kaitsesuhe väheneb:

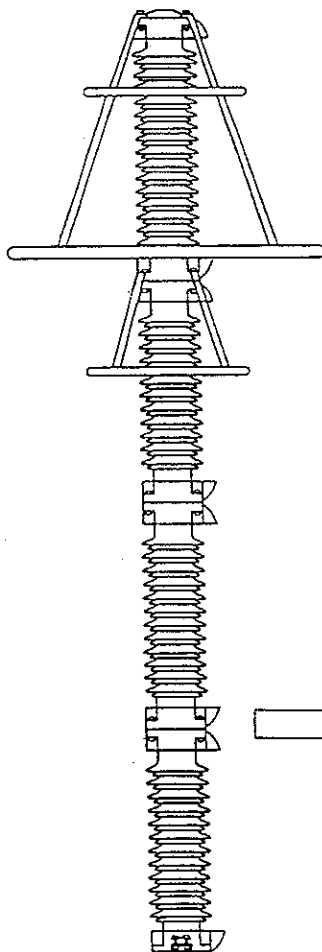
$$K_{kaitse} = 2,2$$

Kaare takistust suurendavates sädevahemikes tõmmatakse elektrihaar magnetvälja toimele kitsasse ja pikka õhupilusse, kus kaare takistus suureneb ja kustumistingimused on oluliselt paremad. Selle tagajärjel pingelang kaarel suureneb ja kaitsesuhe väheneb:

$$K_{kaitse} = 1,7.$$

Kui kaar kustub, rakendub sädevahemikule tavaline võrgupinge. Kaare taastekkimise vältimiseks on oluline selle pinge ühtlane jagunemine sädevahemike vahel. Selleks šunteeritakse sädevahemikud võrdsete suure takistusega takistitega.

5.4.3 Metalloksiidpiirikud

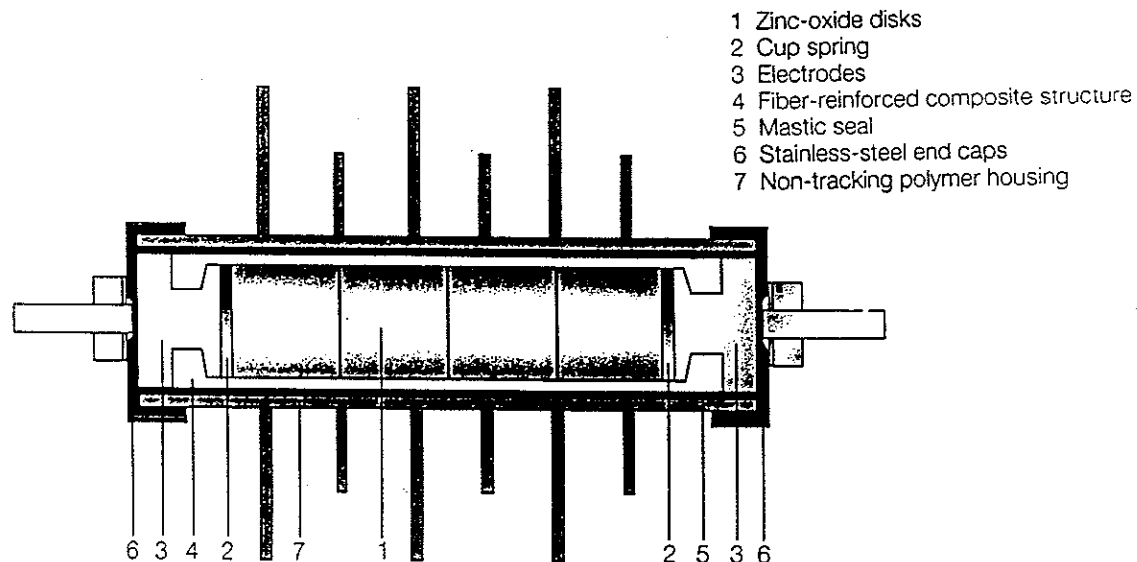


Metalloksiidpiirikud koostatakse tavaliselt ZnO põhistest keraamilistest takistitest.

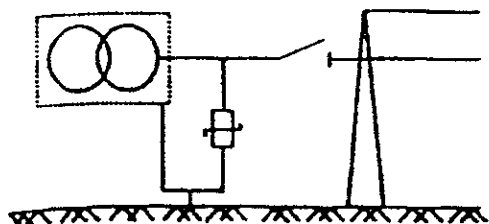
Metalloksiidpiirikute takistus on tunduvalt mittelinearsem kui ventiillahenditel.

Suure mittelineaarsuse tõttu on metalloksiidpiiriku takistus talituspingele väga suur. Normaaltalitusel läbib metalloksiidpiirikut vool $I < 1$ mA.

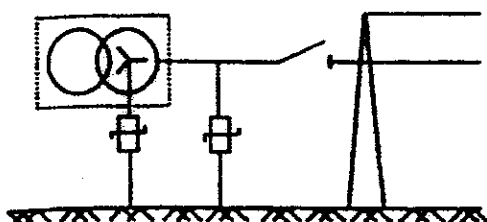
Seetõttu puudub vajadus sädevahemike järele.



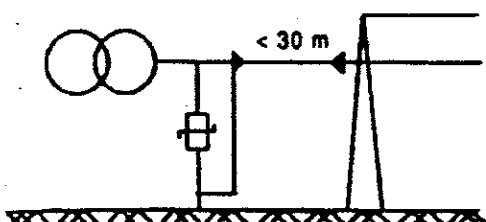
Joonis 5.25 Metalloksiidpiiriku välisvaade ja läbilõige



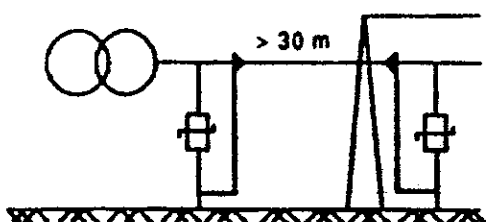
Liigpingepiirik tuleb paigutada trafote nii lähedale kui võimalik, soovitatavalt lülitite ja trafo vahele. Liigpingepiirik tuleb ühendada alajaama maanduskontuuri võimalikult lühikest teed pidi. Trafo maandus ühendatakse samasse maanduspunkti kuhu piirik. Kui võimalik, tuleb sellesse maanduspunkti ühendada ka talitusmaandus.



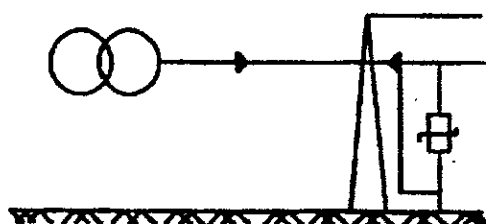
Trafo Y-mähise maandamata neutraali tuleb kaitsta liigpingepiirikuga.



Kui ühenduskaabli pikkus on alla 30 m, tuleb liigpingepiirik paigaldada kaabli trafopoolsesse otsa.

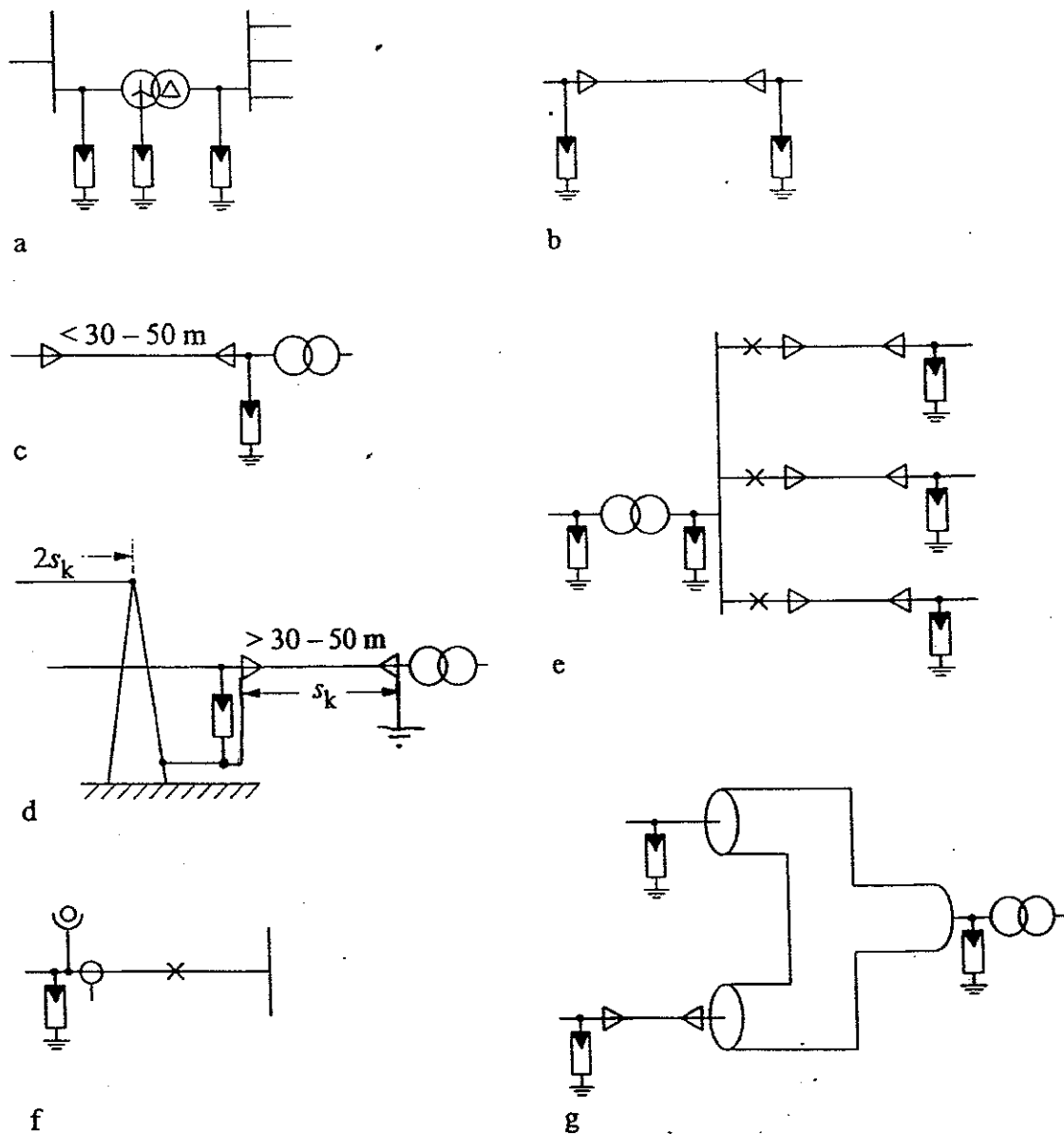


Kui trafo on õhuliiniga ühendatud kaabli kaudu, tuleb kaabli kest maandada liigpingepiiriku maanduspunkti võimalikult lühikese juhtmega.



Kui kaabli trafopoolsesse otsa ei saa liigpingepiirikut paigaldada, tuleb õhuliini kaitsta välgulöökidest piksetrossiga võimalikult kindlalt.

Joonis 5.37 Liigpingepiirikute paigaldusjuhised

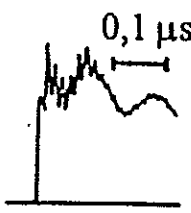
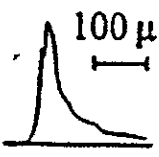
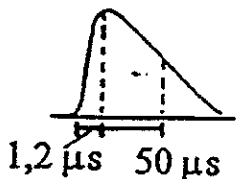
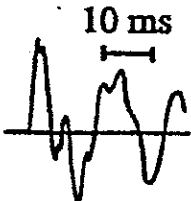
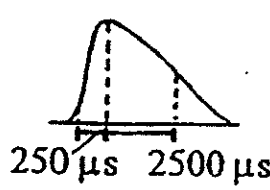
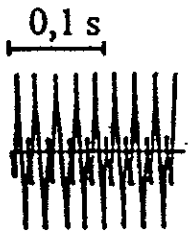
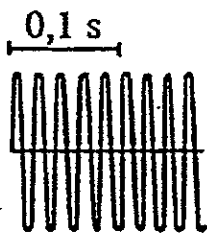


Joonis 5.38 Liigpingepiirikute kasutamisevõimalusi

Liigpingepiirikute paigutus.

- a) trafo kaitse,
- b) - e) kaablite ja trafo kaitse
- g) GIS ja RMU kaitse

Tabel 6.1 Liigpingete klassifikatsioon kuju järgi

Nimetus		Liigpinge kuju	Katsepinge kuju
Transient-Liigpinged	Väga järsu tõusuga		Määratakse eraldi seadmestandardites
	Järsu tõusuga		
	Lauge tõusuga		
Ajutised (madalsageduslikud) liigpinged (TOV)			

6.2 Kommutatsiooniliigpinged

6.2.1 Kommutatsiooniliigpinged liini sisselülitamisel

Liini sisselülitamisel tekivad mitmesugused peegeldused ja vabad võnkumised.

Tühijooksul oleva liini sisselülitamisel tänu peegeldustele pinge liini lõpus kahekordistub.

Lisaks sellele tekivad liinis mahtuvuste ja induktiivsuste vahel vabad võnkumised, mille väljendajateks on kõrgemad harmoonikud.

Liini lõpus kujunev pingete pilt on joonisel 6.1.

Kokku võttes peab šunteeriv takistus olema:

- Võnkumiste summutamiseks sadades oomides
- Kaare taassüttimise vältimiseks tuhandetes oomides
- ATL tsükli korral mõnikümmend kilo-oomi
- Koormamata trafo või liini väljalülitamisel kümnetes kilo-oomides

Seepärast saab šunteerivate takistuste kasutamine olla efektiivne vaid konkreetsete lülitustoimingute jaoks.

Sünkroniseeritud lülitamine

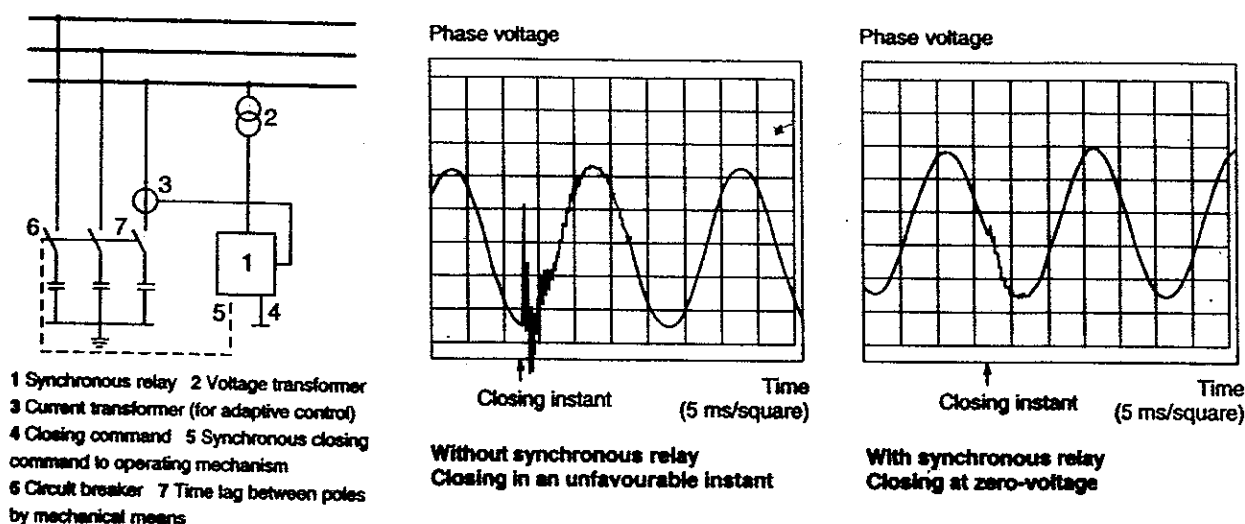
Pinget ja voolu mõõtvat **sünkroniseerimisrelee** abil toimub lülitamine kõige soodsamal hetkel:

- liinide, trafode ja kondensaatorite sisselülitamine pinge nullhetkel: $u = 0$
- ATL-i puhul toimub taaslülitamine kui liini jääkpinge ja toiteallika pinge on samas faasis ja ligikaudu võrdsed: $u_1 = u_2$

Arvestades lüliti toimimisaega t_{VL} tuleb lülituskäsklus anda vastava ennetusega. Ses tähendab, kui lülitus peab toimuma hetkel t_0 , peab lülitamiskäsk saabuma lülile hetkel $t_0 - t_{VL}$. Probleemiks on siin lülite toimimisaja t_{VL} suhteline pikkus ja hajuvus.

Nõuded lülile:

- suur kontaktide liikumiskiirus
- toimimisaegade väike hajuvus



Joonis 6.20 ABB sünkroniseerimisrelee SWITCHSYNC kasutamine kondensaatorpatarei sisselülitamisel