

Janne Hämäläinen

# Alumiinilaminaatilla toteutetun kosketussuojan suorituskyky 20 kV:n Dryrex AHXAMK-W- ja -WP-kaapeleissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

22.11.2016

Alkusanat

Haluan kiittää Reka Kaapeli Oy:tä hyvästä insinööriyö aiheesta. Insinööriyöni ohjaajana toimivat tuotekehitysjohtaja Mika Mutru ja Metropolia Ammattikorkeakoulusta lehtori Osmo Massinen. Haluan kiittää Mika Mutrua ja Osmo Massista hyvästä ja kannustavasta ohjaamisesta insinööriyössäni.

Helsingissä 22.11.2016

Janne Hämäläinen

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Janne Hämäläinen Alumiinilaminaatilla toteutetun kosketussuojan suorituskyky 20 kV:n Dryrex AHXAMK-W- ja -WP-kaapeleissa  34 sivua + 12 liitettä 22.11.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Osmo Massinen Tuotekehitysjohtaja Mika Mutru
<p>Tässä insinööriyössä tutkittiin kaapeleiden AHXAMK-W, AHXAMK-WP ja AHXAMK-WP+:n kosketussuojien suorituskykyä paksuntamalla alumiinilaminaattia. Aluksi työssä laskettiin teoreettisella menetelmällä kaapelille suorituskyky. Työn loppupuolella tuloksia verrattiin kuparilla toteutettuun suorituskykyyn.</p> <p>Työssä aluksi esiteltiin tutkittavien kaapelien AHXAMK-W, AHXAMK-WP ja AHXAMK-WP+:n rakenne ja ominaisuudet. Tämän jälkeen esiteltiin vertailukaapelien TSLF, AHXCMK-WTC/PE ja AXLJ-F TT:n rakenne ja ominaisuudet.</p> <p>Työssä oli ensiksi laskettu kosketussuojan maa- ja oikosulkulaskentamenetelmät alumiini-valmisteille. Tämän jälkeen esiteltiin kaapelivarusteet. Lopuksi työssä on esitelty kosketussuojan laskentamenetelmät kuparivalmisteille.</p> <p>Lopuksi analysoitiin kupari ja alumiini kosketussuojien eroja. Työssä on huomattu, että alumiinilaminaatin paksuudella 0,35 mm:ä tai suurempi, on suorituskykyisempi ratkaisu kuin kuparilla toteutettu kosketussuoja. Kosketussuojan poikkipinta-ala muodostuu alumiinilaminaatin leveydestä ja paksuudesta. Leveys vaikuttaa suorituskykyyn. Kosketussuojan leveys pysyy vakiona.</p>	
Avainsanat	Kaapeli, Alumiinilaminaatti, AHXAMK-W, AHXAMK-WP, TSLF, AHXCMK-WTC/PE, AXLJ-F TT

Author Title Number of Pages Date	Janne Hämäläinen Performance of Aluminum Laminated Foil Metal Screen in Dryrex AHXAMK-W /-WP 20 kV Cable 34 pages + 12 appendices 22 November 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Osmo Massinen, Senior Lecturer Mika Mutru, R&D Director
<p>The purpose of this study was to examine AHXAMK-W, AHXAMK-WP and AHXAMK-WP+ cables' metal screen performance by thickening the aluminum laminated foil. First, cable performance was calculated theoretically. At the end, the results were compared to copper metal screen performance.</p> <p>At the beginning of this thesis, the structure and characteristics of AHXAMK-W, AHXAMK-WP and AHXAMK-WP+ cables are introduced. After that the structure and characteristics of the reference cables TSLF, AHXCMK-WTC/PE and AXLJ-F TT are introduced.</p> <p>In this thesis, metal screen earth- and short-circuit current calculation methods concerning aluminum products are calculated. Also, cable accessories are introduced. At the end, metal screen calculation methods concerning copper products are introduced. Finally, copper and aluminum metal screen differences are analysed.</p> <p>The results of this study show that aluminum laminated foil thickness 0.35 mm or bigger gives better solution performance than a copper metal screen solution. Metal screen's cross-section depends on aluminum laminated foil width and thickness. Metal screen width affects performance. Metal screen width remains constant.</p>	
Keywords	Cable, Aluminum Laminated Foil, Metal Screen, AHXAMK-W, AHXAMK-WP, TSLF, AHXCMK-WTC/PE, AXLJ-F TT

## Sisällys

### Käytettävät symbolit

1	Johdanto	1
2	Suomen sähköverkon rakenne ja tulevaisuuden suunta	2
3	Työssä esiintyvien kaapeleiden rakenne ja ominaisuudet	4
3.1	Kaapeli AHXAMK-W	4
3.2	Kaapeli AHXAMK-WP	5
3.3	Kaapeli AHXAMK-WP+	6
3.4	Kaapeli TSLF	8
3.5	Kaapeli AHXCMK-WTC/PE	9
3.6	Kaapeli AXLJ-F TT	10
4	Kosketussuoja kaapelissa	12
5	Alumiinikaapeleiden kosketussuojan suorituskyky nykyisellä rakenteella	14
5.1	Maasulku	14
5.2	Terminen oikosulkukestoisuus	15
5.2.1	Terminen oikosulkuvirta laskenta	15
5.3	Kaapeli AHXAMK-W	17
5.3.1	Maasulku	17
5.3.2	Oikosulku	18
5.4	Kaapeli AHXAMK-WP	18
5.4.1	Maasulku	18
5.4.2	Oikosulku	19
5.5	Kaapeli AHXAMK-WP+	19
5.5.1	Maasulku	20
5.5.2	Oikosulku	20
5.6	Kaapeli TSLF	21
5.6.1	Maasulku	21
5.6.2	Oikosulku	21
6	Alumiinikaapeleiden kosketussuojan muutos	22
7	Kaapelivarusteet	26
8	Vertailu kaapeleiden teoreettinen suorituskyky kosketussuojalla	28

8.1	Maasulku	29
8.2	Oikosulku	31
9	Alumiini- ja kupari kosketussuojien vertailu	32
10	Yhteenveto	33
	Lähteet	34
	Liitteet	
	Liite 1. AHXAMK-W Datasheet	
	Liite 2. AHXAMK-W teknisiä arvoja	
	Liite 3. AHXAMK-WP Datasheet	
	Liite 4. AHXAMK-WP teknisiä arvoja	
	Liite 5. AHXAMK-WP+ Datasheet	
	Liite 6. AHXAMK-WP+ teknisiä arvoja	
	Liite 7. TSLF Datasheet	
	Liite 8. TSLF teknisiä arvoja	
	Liite 9. AHXCMK-WTC/PE Datasheet	
	Liite 10. AHXCMK-WTC/PE teknisiä arvoja	
	Liite 11. AXLJ-F TT Datasheet	
	Liite 12. AXLJ-F TT teknisiä arvoja	

## Käytettävät symbolit

b	Kosketussuojan vakio.
ca	Ominaislämpökapasiteetti.
Ce	Maasulun kapasitanssi.
ck	Kuparin ominaislämpökapasiteetti.
f	Taajuus.
Ik	Oikosulkuvirta.
Ik''	Muutos oikosulkuvirta.
Ie	Maasulkuvirta.
K1	Alumiinin materiaalikerroin.
K1'	Materiaalikerroin.
K2	Alumiinin lämpökerroin.
K2'	Kuparin lämpökerroin.
K3	Alumiinin ei-adiabaattinen kerroin.
K3'	Kuparin ei-adiabaattinen kerroin.
Qk	Alumiini kosketussuojan poikkipinta-ala.
Qk'	Kupari kosketussuojan poikkipinta-ala.
t1s	Yhden sekunnin käyttöaika.
tk	käyttöaika.

$U_e$	Maasulun aikainen jännite.
$\alpha_{20}$	Alumiinin resistiivisyyden lämpötilakerroin 20 celsius asteessa.
$\beta_{20}$	Lämpöresistiivisyys alumiinille.
$\gamma_{20}$	Kuparin resistiivisyyden lämpötilakerroin 20 celsius asteessa.
$\delta$	Metallin paksuus.
$\epsilon_{20}$	Lämpöresistiivisyys kupari.
$\theta_k$	Kuparin lämpötilakerroin.
$\theta_a$	Lämpenemä alumiinille.
$\lambda_a$	Alumiinin suurin sallittu johtimen käyttölämpötila 85 asteessa.
$\lambda_a'$	Kuparin suurin sallittu johtimen käyttölämpötila 80 asteessa.
$\lambda_e$	Alumiinin suurin sallittu johtimen käyttölämpötila oikosulkuutilanteessa 250 asteessa.
$\lambda_e'$	Kuparin suurin sallittu johtimen käyttölämpötila oikosulkuutilanteessa 250 asteessa.
$\omega$	$2 \cdot \pi \cdot f = \text{Vakio.}$



## 1 Johdanto

Insinööriyössä tutkitaan teoreettisesti kolmea hyvin tunnettua keskijännitteistä alumiinivoimakaapelia. Kyseiset kaapelit ovat Reka Kaapeli Oy:n keskijännitekaapelit AHXAMK-W, AHXAMK-WP ja AHXAMK-WP+.

Työn ongelmana on selvittää keskijännitekaapeleiden paksunnettujen kosketussuojien oikosulkukestoisuutta. Paksunnettujen kosketussuojien oikosulkukestoisuutta verrataan nykyisellä rakenteella toteutettuun kosketussuojarakenteeseen sekä kuparilla toteutettuihin kosketussuojaratkaisuihin. Lisäksi työssä selvitetään kaapelivarustevaatimuksia kehitetyille rakenteille.

Työn tavoitteena on antaa kattava selvitys työn tilaajalle kaapelin eri vikatilanteista ja vaatimuksista, joilla on mahdollista päästä teoreettisella tarkastelupohjalla toteutettuun rakenteeseen käytännön tasolla.

Insinööriyössä on luottamuksellista tietoa, jota ei tulla julkaisemaan työn julkisessa versiossa.

## 2 Suomen sähköverkon rakenne ja tulevaisuuden suunta

Suomessa kaikki kuluttajat on kytketty yhteiseen sähköverkkoon eli kantaverkkoon, jonka tarkoituksena on tuoda kaikille sähköä jännitteestä riippumatta hyvällä hyötysuhteella. Suomen kantaverkko muodostuu seuraavista jännitetasoista: 400 kV, 220 kV, 110 kV, 20 kV, 1 kV, 0,6 kV ja 0,4 kV. Kyseisistä jännitetasoista ensimmäiset kolme on tarkoitettu suurjännitteen tasoiseen sähköntuottoon ja -siirtoon. Keskijänniteverkko on Suomessa pääsääntöisesti pelkästään sähkönjakeluun, ja loput kolme viimeistä jänniteporrasta ovat teollisuuskäyttöön sekä normaaleille kuluttajille.

Kuva 1 havainnollistaa, että Suomen sähköntuotanto tapahtuu pääsääntöisesti ydinvoiman, vesivoiman ja yhteistuotannon avulla. Suomessa on myös sähkön siirtoyhteydet toisiin Euroopan maihin, kuten Ruotsiin, Venäjään, Viroon sekä Norjaan. Sähköä voidaan siirtää eri maiden välillä eri tavalla kuten esimerkiksi merikaapeliyhteydellä tai ilmajohtojen avulla.

Sähkönsiirto mahdollistaa sähkön myynnin ja ostamisen eri maiden välillä. Talvikaudella Suomeen siirretään paljon sähköä toisista Euroopan maista, koska Suomen oma sähköntuotanto ei riitä. Pääsääntöisesti talvikaudella sähköä käytetään talojen lämmitykseen. [2, s. 54–55.]

## Voimajärjestelmän tila



Kuva 1. Suomen voimajärjestelmä 4.10.2016 [5]

Tulevaisuuden suurina haasteina on maakaapeloinnin yleistyminen. Nykyään maakaapelia asennetaan parhaillaan jopa 8000 km vuodessa. Maakaapelin investoinnin tarkoituksena on parantaa verkoston luotettavuutta, joka vähentää verkostoon tulevia käyttökatkoksia. Käyttökatkoksien vähentyminen lisää verkoston toimintavarmuutta, mutta myös sähköverkkoyhtiön vastuuta. Sähköverkkoyhtiön vastuista eräs on maakaapeloinnin näyttäminen esimerkiksi kaivinkonekuljettajalle, jos alueella on maakaapelointia [9].

Maakaapeliverkossa on niin hyötyjä kuin haittoja. Suurimpia hyötyjä ovat maakaapeli-verkon luotettavuuden parantaminen, maisemallisuuden säilyttäminen ja parempi kosketussuojaus, kun kaapeli on maan alla. Puolestaan verkon haittoina ovat maakaapeloinnilla sen hinta, vian haasteellinen paikantaminen sekä hankalampi korjaaminen. [10, s. 24–25.]

### 3 Työssä esiintyvien kaapeleiden rakenne ja ominaisuudet

Insinööriyössä on viisi kaapelia. Nämä kaapelit ovat AHXAMK-W, AHXAMK-WP, AHXAMK-WP+, TSLF, AHXCMK-WTC/PE ja AXLJ-F TT. Kaapeleiden kosketussuojat ovat erilaisia. AHXAMK –perheellä kosketussuoja on valmistettu alumiinista. TSLF:llä on kuparista ja alumiinista valmistettu kosketussuoja. AHXCMK-WTC/PE ja AXLJ-F TT:ssä on kuparista valmistettu kosketussuoja.

#### 3.1 Kaapeli AHXAMK-W

Kaapeli AHXAMK-W on keskijännitekaapeli, jonka johdinmateriaalina toimii alumiini. Kaapelin johtimet on tehty pyöreästä alumiiniköydestä, joka koostuu alumiinilangoista. Alumiinijohtimien yksittäisten lankojen välissä on vesitiiveyspulveria, jonka tarkoituksena on estää johtimeen mahdollisesti tunkeutunutta vettä kulkemasta pituussuunnassa. Johtimia suojaa johdinsuoja, joka on valmistettu puolijohtavasta muovista. Johdinsuojan tarkoituksena on tasoittaa johtimen pinnan epätasaisuuksia sekä pienentää sähkökentän aiheuttamia häiriöitä. Johdinsuojan päällä on johdineriste, joka kaapelissa on PEX-eristysmuovia. Eristyksen tarkoituksena on antaa kaapelille riittävä jännitekestoisuus. Kaapelin eristyksen päällä on hohtosuoja, joka on valmistettu puolijohtavasta muovista. Hohtosuojan tarkoituksena on johdinsuojan kanssa muodostaa homogeeninen eli tasalaatuinen sähkökenttä eristykseen. Hohtosuojan päällä on vesitiiviysnauha. Vesitiiviysnauhan tarkoituksena on muodostaa pitkittäissuunnassa kosteussulku. Vesitiiviysnauhan päällä on kosketussuojana toimiva alumiinilaminaatti. Alumiinilaminaatin tarkoituksena on toimia varaus- ja vikavirtojen kulkutienä. Tämän lisäksi alumiinilaminaatti muodostaa kaapelille poikittaissuunnassa kosteussulun. Alumiinilaminaatin päällä on musta säänkestävä polyeteenivaippa. Vaipan tehtävänä on toimia mekaanisena suojana. Vaipatut vaihejohtimet on kerrattu kuparisen keskusköyden ympäri. [Liite 1]

Kaapelin johtimien suurin sallittu lämpötila jatkuvassa käytössä on 90 astetta. Johtimien suurin sallittu lämpötila oikosulussa enintään viiden sekunnin ajan on 250 astetta. Kaapeli soveltuu kiinteään ulkoasennukseen. Alin asennuslämpötila asennuksen aikana on -20 astetta. [Liite 1]

Kuva 2 havainnollistaa kaapelin AHXAMK-W rakenteen. Rakenne on kerrottu kuvatekstissä numeroinnilla, josta ilmenevät kaapelin rakenneosat. Eri osien tehtävät on kerrottu edellisellä sivulla.



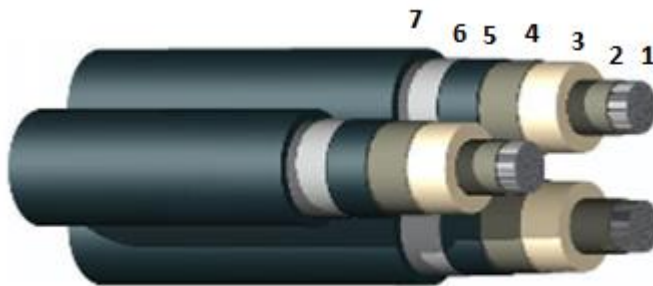
Kuva 2. AHXAMK-W Kaapelin rakenne, 1 Johdin, 2 Johdinsuoja, 3 PEX-eriste, 4 Hohtosuoja, 5 Vesitiiviysnauha, 6 Alumiinilaminaatti, 7 Polyeteenivaippa ja 8 Kuparinen keskusköysi. [Liite 1]

### 3.2 Kaapeli AHXAMK-WP

Kaapeli AHXAMK-WP on keskijännitekaapeli, jonka johdinmateriaalina toimii alumiini. Kaapelin johtimet on tehty pyöreästä alumiiniköydestä, joka koostuu alumiinilangoista. Alumiinijohtimien yksittäisten lankojen välissä on vesitiiveyspulveria, jonka tarkoituksena on estää johtimeen mahdollisesti tunkeutunutta vettä kulkemasta pituussuunnassa. Johtimia suojaa johdinsuoja, joka on valmistettu puolijohtavasta muovista. Johdinsuojan tarkoituksena on tasoittaa johtimen pinnan epätasaisuuksia sekä pienentää sähkökentän aiheuttamia häiriöitä. Johdinsuojan päällä on johdineriste, joka kaapelissa on PEX-eristysmuovia. Eristyksen tarkoituksena on antaa kaapelille riittävä jännitekestoisuus. Kaapelin eristyksen päällä on hohtosuoja, joka on valmistettu puolijohtavasta muovista. Hohtosuojan tarkoituksena on johdinsuojan kanssa muodostaa homogeeninen eli tasalaatuinen sähkökenttä eristykseen. Hohtosuojan päällä on vesitiiviysnauha. Vesitiiviysnauhan tarkoituksena on muodostaa pitkittäissuunnassa kosteussulku. Vesitiiviysnauhan päällä on kosketussuojana toimiva alumiinilaminaatti. Alumiinilaminaatin tarkoituksena on toimia varaus- ja vikavirtojen kulkutienä. Tämän lisäksi alumiinilaminaatti muodostaa kaapelille poikittäissuunnassa kosteussulun. Alumiinilaminaatin päällä on musta säänkestävä polyeteenivaippa. Vaipan tehtävänä on toimia mekaanisena suojana. Vaipatut vaihejohtimet on kerrattu yhteen. Kaapelissa AHXAMK-WP:ssä ei ole kuparista keskusköyttä. [Liite 3]

Kaapelin johtimien suurin sallittu lämpötila jatkuvassa käytössä on 90 astetta. Johtimien suurin sallittu lämpötila oikosulussa enintään viiden sekunnin ajan on 250 astetta. Kaapeli soveltuu kiinteään ulkoasennukseen. Alin asennuslämpötila asennuksen aikana on -20 astetta. [Liite 3]

Kuva 3 havainnollistaa kaapelin rakenteen. Kaapelilla AHXAMK-WP on muuten sama rakenne kuin kaapelilla AHXAMK-W, mutta AHXAMK-WP:llä ei ole kuparista keskusköyttä.



Kuva 3. AHXAMK-WP Kaapelin rakenne, 1 Johdin, 2 Johdinsuoja, 3 PEX-eriste, 4 Hohtosuoja, 5 Vesitiiviysnauha, 6 Alumiinilaminaatti ja 7 Polyeteenivaippa [Liite 3]

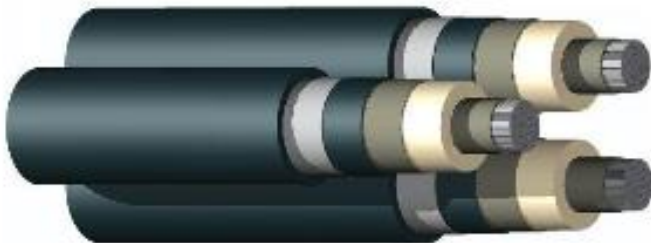
### 3.3 Kaapeli AHXAMK-WP+

Kaapeli AHXAMK-WP+ on keskijännitekaapeli, jonka johdinmateriaalina toimii alumiini. Kaapelin johtimet on tehty pyöreästä alumiiniköydestä, joka koostuu alumiinilangoista. Alumiinijohtimien yksittäisten lankojen välissä on vesitiiveyspulveria, jonka tarkoituksena on estää johtimeen mahdollisesti tunkeutunutta vettä kulkemasta pituussuunnassa. Johtimia suojaa johdinsuoja, joka on valmistettu puolijohtavasta muovista. Johdinsuojan tarkoituksena on tasoittaa johtimen pinnan epätasaisuuksia sekä pienentää sähkökentän aiheuttamia häiriöitä. Johdinsuojan päällä on johdineriste, joka kaapelissa on PEX-eristysmuovia. Eristyksen tarkoituksena on antaa kaapelille riittävä jännitekestoisuus. Kaapelin eristyksen päällä on hohtosuoja, joka on valmistettu puolijohtavasta muovista. Hohtosuojan tarkoituksena on johdinsuojan kanssa muodostaa homogeeni-

nen eli tasalaatuinen sähkökenttä eristykseen. Hohtosuojan päällä on vesitiiviysnauha. Vesitiiviysnauhan tarkoituksena on muodostaa pitkittäissuunnassa kosteussulku. Vesitiiviysnauhan päällä on kosketussuojana toimiva alumiinilaminaatti. Kaapelissa AHXAMK-WP+ käytetään paksumpaa alumiinilaminaattia kuin kaapelissa AHXAMK-WP paremman maasulkuvirtakestoisuuden saavuttamiseksi. Alumiinilaminaatin tarkoituksena on toimia varaus- ja vikavirtojen kulkutienä. Tämän lisäksi alumiinilaminaatti muodostaa kaapelille poikittaissuunnassa kosteussulun. Alumiinilaminaatin päällä on musta säänkestävä polyeteenivaippa. Vaipan tehtävänä on toimia mekaanisena suojana. Vai-patut vaihejohtimet on kerrattu yhteen. Kaapelissa AHXAMK-WP+:ssä ei ole kuparista keskusköyttä. [Liite 5]

Kaapelin johtimien suurin sallittu lämpötila jatkuvassa käytössä on 90 astetta. Johtimien suurin sallittu lämpötila oikosulussa enintään viiden sekunnin ajan on 250 astetta. Kaapeli soveltuu kiinteään ulkoasennukseen. Alin asennuslämpötila asennuksen aikana on -20 astetta. [Liite 5]

Kuva 4 havainnollistaa kaapelin AHXAMK-WP+ rakenteen. Kaapelilla on sama rakenne kuin AHXAMK-WP:llä, mutta AHXAMK-WP+:ssa on paksumpi kosketussuoja.



Kuva 4. Kaapeli AHXAMK-WP+ rakennekuva. [Liite 5]

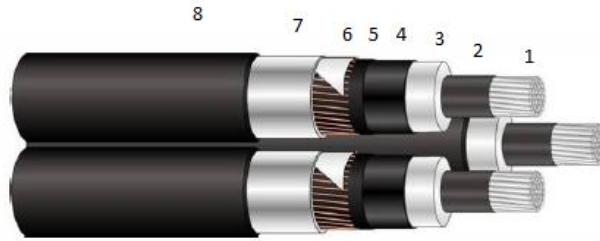
### 3.4 Kaapeli TSLF

Kaapeli TSLF on norjalainen keskijännitekaapelityyppi, jonka johdinmateriaalina toimii alumiini. Kaapelin johtimet on tehty pyöreästä alumiiniköydestä. Johtimia suojaa johdinsuoja, joka on valmistettu puolijohtavasta muovista. Johdinsuojan tarkoituksena on tasoittaa johtimen pinnan epätasaisuuksia sekä pienentää sähkökentän aiheuttamia häiriöitä. Johdinsuojan päällä on johdineriste, joka kaapelissa on PEX-eristysmuovia. Eristyksen tarkoituksena on antaa kaapelille riittävä jännitekestoisuus. Kaapelin eristyksen päällä on hohtosuoja, joka on valmistettu puolijohtavasta muovista. Hohtosuojan tarkoituksena on johdinsuojan kanssa muodostaa homogeeninen eli tasalaatuinen sähkökenttä eristykseen. Hohtosuojan päällä on vesitiiviysnauha. Vesitiiviysnauhan tarkoituksena on muodostaa pitkäikäisyydessä kosteussulku. Vesitiiviysnauhan päällä on kosketussuojana kerros kuparilankoja. Kuparilankojen päällä on 0,20 mm:n paksuinen alumiinilaminaattinauha. Kupari- ja alumiini muodostavat yhdessä kosketussuojan, jonka tarkoituksena on toimia varaus- ja vikavirtojen kulkutienä. Alumiinilaminaattinauha muodostaa kaapelille poikittaissuunnassa kosteussulun. Alumiinilaminaattinauhan päällä on musta säänkestävä polyeteenivaippa puolijohtavalla ulkokerroksella. Vaipan tehtävänä on toimia mekaanisena suojana. Vaipatut vaihejohtimet on kerrattu yhteen. [Liite 7]

Kaapelin johtimien suurin sallittu lämpötila jatkuvassa käytössä on 90 astetta. Johtimien suurin sallittu lämpötila oikosulussa enintään viiden sekunnin ajan on 250 astetta. Kaapeli soveltuu kiinteään ulkoasennukseen. Kaapeli ei sovellu vesistökaapeliksi. Alin asennuslämpötila asennuksen aikana on -20 astetta. [Liite 7]

Kuva 5 havainnollistaa kaapelin TSLF rakenteen. TSLF:n rakenne on kerrottu kuvatekstissä numeroinnilla, josta ilmenee TSLF:n eri rakenneosat.





Kuva 5. Kaapeli TSLF, 1 Johdin, 2 Johdinsuoja, 3 PEX-eriste, 4 Hohtosuoja, 5 Vesitiiviysnauha, 6 Kuparilangat, 7 Alumiinilaminaatti, 8 Polyeteenivaippa puolijohtavalla ulkokerroksella. [Liite 7]

### 3.5 Kaapeli AHXCMK-WTC/PE

Kaapeli AHXCMK-WTC/PE on keskijännitekaapeli, jonka johdinmateriaalina toimii alumiini. Kaapelin johtimet on tehty pyöreästä alumiiniköydestä. Johtimia suojaa johdinsuoja, joka on valmistettu puolijohtavasta muovista. Johdinsuojan tarkoituksena on tasoittaa johtimen pinnan epätasaisuuksia sekä pienentää sähkökentän aiheuttamia häiriöitä. Johdinsuojan päällä on johdineriste, joka kaapelissa on PEX-eristysmuovia. Eristyksen tarkoituksena on antaa kaapelille riittävä jännitekestoisuus. Kaapelin eristyksen päällä on hohtosuoja, joka on valmistettu puolijohtavasta muovista. Hohtosuojan tarkoituksena on johdinsuojan kanssa muodostaa homogeeninen eli tasalaatuinen sähkökenttä eristykseen. Eristetyt vaihejohtimet on kerrattu yhteen. Johdinkertauksen päällä on puolijohtava sidenauha. Sidenauhan päällä kosketussuojana toimii kerros kuparilankoja ja kuparinauhasidos. Kosketussuojan tarkoituksena on toimia varaus- ja vikavirtojen kulkutienä. Kosketussuojan päällä on muovinauha joka toimii erotuskerroksena vaippaan. Muovinauhan päällä on musta säänkestävä polyeteenivaippa. Vaipan tehtävänä on toimia mekaanisena suojana. [Liite 9]

Kaapelin johtimien suurin sallittu lämpötila jatkuvassa käytössä on 90 astetta. Johtimien suurin sallittu lämpötila oikosulussa enintään viiden sekunnin ajan on 250 astetta. Kaapeli soveltuu kiinteään ulkoasennukseen. Alin asennuslämpötila asennuksen aikana on -20 astetta. [Liite 9]

Kuva 6 havainnollistaa kaapelin AHXCMK-WTC/PE rakenteen. Kaapelin rakenne on kerrottu kuvatekstissä numeroinnilla, josta ilmenee kaapelin eri rakenneosat.



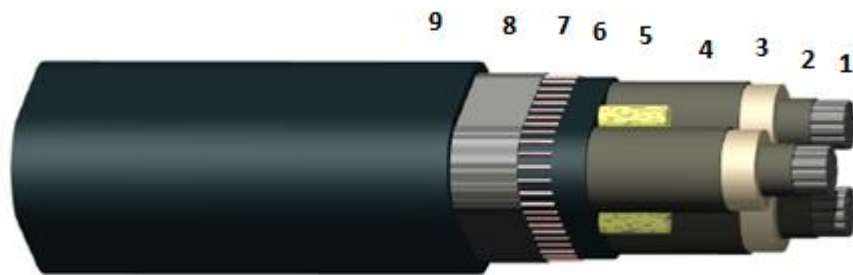
Kuva 6. Kaapeli AHXCMK-WTC/PE, 1 Johdin, 2 Johdinsuoja, 3 PEX-eriste, 4 Hohtosuoja, 5 Puolijohtava sidenauha, 6 Kosketussuoja kuparilankoja ja kuparinauhasidos, 7 Muovinauha, 8 Polyeteenivaippa. [Liite 9]

### 3.6 Kaapeli AXLJ-F TT

Kaapeli AXLJ-F TT on keskijännitekaapeli, jonka johdinmateriaalina toimii alumiini. Kaapelin johtimet on tehty pyöreästä alumiiniköydestä. Johtimia suojaa johdinsuoja, joka on valmistettu puolijohtavasta muovista. Johdinsuojan tarkoituksena on tasoittaa johtimen pinnan epätasaisuuksia sekä pienentää sähkökentän aiheuttamia häiriöitä. Johdinsuojan päällä on johdineriste, joka kaapelissa on PEX-eristysmuovia. Eristyksen tarkoituksena on antaa kaapelille riittävä jännitekestoisuus. Kaapelin eristyksen päällä on hohtosuoja, joka on valmistettu puolijohtavasta muovista. Hohtosuojan tarkoituksena on johdinsuojan kanssa muodostaa homogeeninen eli tasalaatuinen sähkökenttä eristykseen. Eristetyt vaihejohtimet on kerrattu yhteen täytelankojen kanssa ja sidottu yhteen puolijohtavalla vesitiiviysnauhalla. Vesitiiviysnauhan ja täytelankojen tarkoituksena on muodostaa pitkäikäisyyssuunnassa kosteussulku. Vesitiiviysnauhan päällä kosketussuojana toimii kerros kuparilankoja ja kuparinauhasidos. Kuparilankojen ja kuparinauhasidoksen päällä on ohut alumiinilaminaattinauha. Kuparilankakerros muodostaa kosketussuojan, jonka tarkoituksena on toimia varaus- ja vikavirtojen kulkutienä. Alumiinilaminaattinauha muodostaa poikittaisen vesisulun ja sen päällä on musta säänkestävä polyeteenivaippa. Vaipan tehtävänä on toimia mekaanisena suojana. [Liite 11]

Kaapelin johtimien suurin sallittu lämpötila jatkuvassa käytössä on 90 astetta. Johtimien suurin sallittu lämpötila oikosulussa enintään viiden sekunnin ajan on 250 astetta. Kaapeli soveltuu kiinteään ulkoasennukseen ja suoraan maahan. Alin asennuslämpötila asennuksen aikana on -20 astetta. [Liite 11]

Kuva 7 havainnollistaa kaapelin AXLJ-F TT rakenteen. Kaapelin rakenne on avattu kuvatekstissä numeroinnilla, josta ilmenee kaapelin eri rakenneosaset.



Kuva 7. Kaapeli AXLJ-F TT, 1 Johdin, 2 Johdinsuoja, 3 PEX-eriste, 4 Hohtosuoja, 5 Paisuväytelanka, 6 Vesitiiviysnauha, 7 Kuparilankoja, 8 Alumiinilaminaatti 9 Polyeteenivaippa. [Liite 11]

## 4 Kosketussuoja kaapelissa

Kosketussuojan rakenteet riippuvat kaapelityypistä ja käyttötarkoituksesta. Nämä voivat olla vaihekohtaisia tai kaikille vaiheille yhteisiä. Yleensä kosketussuojat on tehty kuparista tai AHXAMK-tyypeissä alumiinista. Kosketussuojan materiaalin määrää yleensä kaapelin tyyppi. [3, s. 375.] Kaapeleissa AHXAMK-W, -WP ja WP+ kaapelin kosketussuoja on toteutettu alumiinilaminaatilla [Liite 1, 3, 5].

Kaapelin kosketussuojan päätehtävänä on toimia varaus- ja vikavirtojen kulkutienä [3, s. 375]. Kaapeleissa AHXAMK-W, -WP ja WP+ alumiinilaminaatin tehtävänä on myös toimia poikittaisena kosteussulkuna kaapelissa [Liite 1, 3, 5].

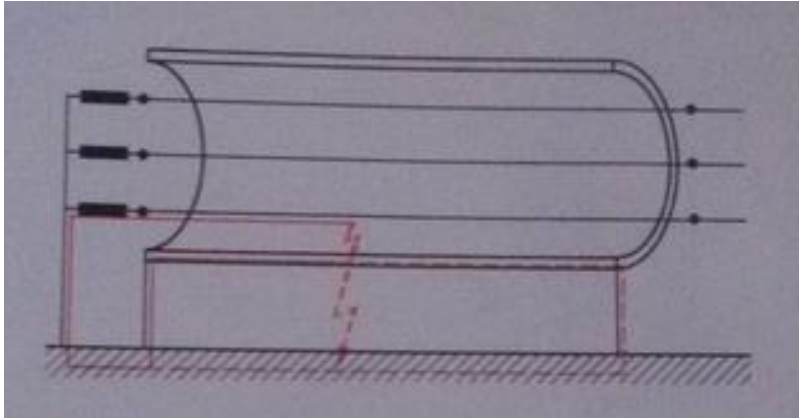
Normaalissa kuormitustilassa kaapelin kosketussuojaan aiheutuu kahdenlaisia häviöitä. Nämä häviöt ovat kiertäviä virtoja (circulating current) ja pyörrevirtoja (eddy current). Häviöt aiheuttavat kaapelin kosketussuojaan ja mahdolliseen armeeraukseen kapasitiivista virtaa. Normaali kuormitusvirta ja kapasitiivinen virta aiheuttavat kaapeliin tehohäviöitä, jotka ilmenevät lämpenemisenä. Ilmiö selittyy muuttuvalla magneettikentällä, jossa kapasitiivinen virta indusoituu kosketussuojan metalliosiin. Kosketussuojassa tapahtuvat häviöt riippuvat maadoitustavasta. [6, s. 14. ja 7, s. 17.]

Kaapelin häiriötilanteessa vikavirran kulku riippuu kaapelin maadoitustavasta. Normaalissa tilanteessa kaapelin kosketussuojassa on kapasitiivista virtaa. Kaapelissa oleva häiriö on yleensä joko maa- tai oikosulku tai näiden yhdistelmä.

Yksivaiheisessa vikaresistanssittomassa maasulussa kaapelin yhteen vaiheeseen tulee häiriö. Häiriö muodostaa maan kanssa suljetun virtapiirin kuvan 13 mukaan. Piirissä kulkeva virta voi olla niin pieni, että suojalaitteet eivät havaitse maasulkuvirtaa.

Maasulun pystyy poistamaan kaapelista vain kytkemällä kaapelin jännitteettömäksi. Jos kaapelia ei kytketä jännitteettömäksi, niin maasulkuvirta kuormittaa kaapelia. Kaapelin kuormittuessa kaapelissa tapahtuu suurempia tehohäviöitä. Tehohäviöiden lisäksi kaapelin eristeet altistuvat ylimääräiselle jännitteelle ja virralle.

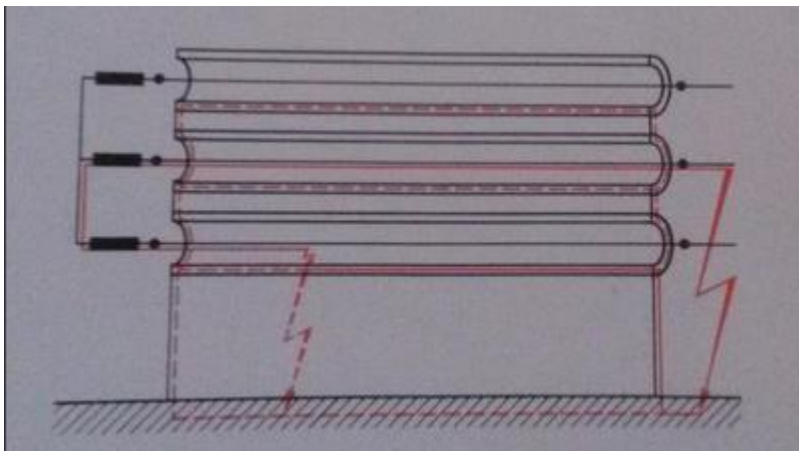
Kuva 8 havainnollistaa maasulussa syntyneen virtapiirin. Virtapiiri on kaapelin kosketussuojasta suoraan maahan yhteydessä, jolloin syntyy suljettu virtapiiri.



Kuva 8. Yksivaiheinen maasulku. [4, s. 281.]

Pitkään jatkunut yksivaiheinen maasulku voi kehittyä kaksivaiheiseksi maasulkuksi. Kaksivaiheisessa maasulussa oikosulkusuojaus pystyy havaitsemaan maasulkuvirran ja katkaisemaan virtapiirin.

Kuva 9 havainnollistaa kaksoismaasulun virtapiiriin. Virtapiirissä on tällöin kaksi vaihejohtimen kosketussuojaa suoraan yhteydessä maahan.



Kuva 9. Kaksivaiheinen maasulku. [4, s. 281.]

Maasta erotetusta ja kompensoidusta verkossa kaapelin kosketussuojaan ei voi tulla kaava 1 suurempaa oikosulkuvirtaa [4, s. 256.].

$$I_k = \frac{\sqrt{3}}{2} I_k'' \quad (1)$$

$I_k$  on oikosulkuvirta [A]

$I_k''$  on muutos oikosulkuvirta [A]

## 5 Alumiinikaapeleiden kosketussuojan suorituskyky nykyisellä rakenteella

Tämän luvun tarkoituksena on antaa vertailupohja, jossa verrataan nykyisellä rakenteella olevien kaapeleiden suorituskykyä. Valmistajan ilmoittamat sähkötekniset arvot löytyvät insinööriyön lopusta liitteistä.

### 5.1 Maasulku

Maasulku on määritelty käyttömaadoittamattoman virtajohtimen ja maan tai maahan johtavassa yhteydessä olevan osan väliseksi eristysviaksi. Kaksoismaasulku on kyseessä silloin, kun verkon kahdessa eri vaiheessa ja eri kohdissa verkkoa esiintyy samanaikaisesti eristysvika. [8, s. 153.]

Käyttömaadoitetussa verkossa maasulku on luonteeltaan yksivaiheisen oikosulun kaltainen ja vikavirran suuruus voidaan laskea, kun tunnetaan verkon impedanssit. Verkon oikosulkusuojat toimivat tällöin myös maasulussa, mikäli vikaresistanssi maasulkukohdassa ei ole liian suuri. Maasta erotetussa ja kompensoidussa verkossa täytyy tuntea koko galvaanisesti yhteen kytketty verkko, jotta maasulkuvirrat ja nollajännitteet voidaan määrittää. Sen sijaan verkon impedansseilla ei tässä tarkastelussa ole käytännön merkitystä. [8, s.153.]

Maasulkuvirran arvo lasketaan yhtälön 2 mukaisesti, kun kyseessä on tähtipisteestä maadoitettu verkko.

$$I_e = \sqrt{3}U_e * \omega * C_e \quad (2)$$

$I_e$  on Maasulkuvirta [A]

$U_e$  on Maasulun aikainen jännite [V]

$C_e$  on Maasulun kapasitanssi [F]

## 5.2 Terminen oikosulkukestoisuus

Sähkökaapelin termisellä oikosulkukestoisuudella tarkoitetaan suurinta oikosulkuvirtaa, jolla kaapeleiden eristeiden lämmönkestävyyttä ei ylitetä. Kaapelin eristys ei saa menettää olennaisesti mekaanista ja sähköistä lujuutta. [1, s. 99.]

Tämän insinööriyön PEX-eristeisillä kaapeleilla oikosulkukestoisuus on 250 astetta enintään viiden sekunnin ajan. Jatkuvassa käyttötilassa johtimien suurin sallittu lämpötila on 90 astetta.

### 5.2.1 Terminen oikosulkuvirta laskenta

Tässä insinööriyössä oikosulkuvirta on laskettu termisen oikosulkuvirta laskennan avulla. Oikosulkuvirtalaskenta tapahtuu monen erilaisen kaavan ja vakion avulla, jotka ovat alempana avattu tarkemmin kaavoissa 3 – 7. Laskentaan vaikuttaa metallin resistanssi 20 asteen lämpötilassa, materiaalikerroin, jossa vaikuttaa metallin ominaislämpökapasiteetti, johtimen jatkuva lämpötila ja viiden sekunnin oikosulku tilanteen maksimilämpötila, sekä ei-adiabaattinen kerroin, jossa vaikuttaa kosketussuojan vakio ja metallin paksuus. Oikosulkuvirta saadaan, kun nämä kaikki edellä mainitut osaset kerrotaan keskenään yhden sekunnin käyttöajalla.

Lämpötilakerroin alumiinilla

$$\theta_a = \frac{1}{\alpha_{20}} - 20^\circ\text{C} \quad (3)$$

Materiaalikerroin:

$$K1 = \sqrt{\frac{ca(\theta_a + 20^\circ\text{C})}{\beta_{20}}} \quad (4)$$

$\theta_a$  on lämpenemä alumiinille [K].

$\alpha_{20}$  on alumiinin resistiivisyys kerroin 20 asteen lämpötilassa.

$K1$  on alumiinin materiaalikerroin.

$ca$  on ominaislämpökapasiteetti [J / (K m<sup>3</sup>)].

$\beta_{20}$  on lämpöresistiivisyys alumiinille [km/W].

## Lämpökerroin

$$K2 = \sqrt{\ln \frac{\theta a + \lambda e}{\theta a + \lambda a}} \quad (5)$$

K2 on alumiinin lämpökerroin.

$\lambda e$  on suurin sallittu johtimen käyttölämpötila oikosulkuilanteessa 250 asteessa. [°C]

$\lambda a$  on suurin sallittu johtimen käyttölämpötila 85 asteessa. [°C]

## Ei-adiabaattinen kerroin

$$K3 = \sqrt{1 + \frac{b}{\delta} * tk} \quad (6)$$

K3 on alumiinin ei-adiabaattinen kerroin.

b on kosketussuojan vakio.

$\delta$  on metallin paksuus. [mm]

tk on käyttöaika. [s]

## Oikosulkuvirta

$$Ik = Qk * K1 * K2 * K3 * \frac{1}{\sqrt{t1s}} \quad (7)$$

Qk on alumiinin kosketussuojan poikkipinta-ala. [m<sup>2</sup>]

t1s on yhden sekunnin käyttöaika. [s]



### 5.3 Kaapeli AHXAMK-W

Kaapelille AHXAMK-W on laskettu maa- ja oikosulkuvirtoja eri poikkipintaisille kaapeleille. Kyseiset tulokset on laskettu kosketussuojan paksuudella 0,20 mm.

#### 5.3.1 Maasulku

Taulukko 1 kertoo kaapelin AHXAMK-W maasulkuvirran arvon kaapelin eri poikkipinnalla.

Taulukko 1. AHXAMK-W kaapelin maasulkukestoisuus.

AHXAMK-W	Jännite [kV]	Kapasitanssi [ $\mu$ F/km]	Kerroin $\omega$	Maasulkuvirta [A/km]
3x50	20	0,16	0,0003142	1,7
3x70	20	0,18	0,0003142	2,0
3x95	20	0,20	0,0003142	2,2
3x120	20	0,23	0,0003142	2,5
3x150	20	0,24	0,0003142	2,6
3x185	20	0,26	0,0003142	2,8
3x240	20	0,29	0,0003142	3,2

### 5.3.2 Oikosulku

Taulukko 2 kertoo kaapelin AHXAMK-W oikosulkuvirran arvon kaapelin eri poikkipinnalla alumiinilaminaatin paksuudella 0,20 mm.

Taulukko 2. Kaapelin AHXAMK-W oikosulkukestoisuus

<b>Kaapeli AHXAMK-W</b>	<b>Oikosulku-virta Ik [kA]</b>	<b>Ei- adiabaattinen kerroin K3</b>	<b>Kosketussuojan Oikosulkuvirta Ik [kA]</b>
3x50	1,4	1,6	2,4
3x70	1,5	1,6	2,5
3x95	1,6	1,6	2,7
3x120	1,7	1,6	2,8
3x150	1,8	1,6	3,0
3x185	1,9	1,6	3,2
3x240	2,1	1,6	3,5
3x300	2,2	1,6	3,6

### 5.4 Kaapeli AHXAMK-WP

Kaapelille AHXAMK-WP on laskettu maa- ja oikosulkuvirtoja eri poikkipintaisille kaapeleille. Kyseiset tulokset on laskettu kosketussuojan paksuudella 0,20 mm.

#### 5.4.1 Maasulku

Taulukko 3 kertoo kaapelin AHXAMK-WP maasulkuvirran arvon kaapelin eri poikkipinnalla.

Taulukko 3. AHXAMK-WP maasulkukestoisuus.

Kaapeli AHXAMK-WP	Jännite [kV]	Kapasitanssi [ $\mu$ F/km]	Kerroin $\omega$	Maasulkuvirta [A/km]
3x50	20	0,17	0,0003142	1,9
3x70	20	0,18	0,0003142	2,0
3x95	20	0,20	0,0003142	2,2
3x150	20	0,24	0,0003142	2,6
3x185	20	0,26	0,0003142	2,8
3x240	20	0,29	0,0003142	3,2
3x300	20	0,32	0,0003142	3,5

#### 5.4.2 Oikosulku

Taulukko 4 kertoo kaapelin AHXAMK-WP oikosulkuvirran arvon kaapelin eri poikkipinnalla alumiinilaminaatin paksuudella 0,20 mm..

Taulukko 4. AHXAMK-WP oikosulkukestoisuus

Kaapeli AHXAMK- WP	Oikosulku- virta Ik [kA]	Ei- adiabaattinen kerroin K3	Kosketussuojan Oikosulkuvirta Ik [kA]
3x50	1,4	1,6	2,4
3x70	1,5	1,6	2,5
3x95	1,6	1,6	2,7
3x120	1,7	1,6	2,8
3x150	1,8	1,6	3,0
3x185	1,9	1,6	3,2
3x240	2,1	1,6	3,5
3x300	2,2	1,6	3,6

#### 5.5 Kaapeli AHXAMK-WP+

Kaapelille AHXAMK-WP+ on laskettu maa- ja oikosulkuvirtoja eri poikkipintaisille kaapeleille. Kyseiset tulokset on laskettu kosketussuojan paksuudella 0,30 mm.

### 5.5.1 Maasulku

Taulukko 5 kertoo kaapelin AHXAMK-WP+ maasulkuvirran arvon kaapelin eri poikkipinnalla.

Taulukko 5. AHXAMK-WP+ maasulkukestoisuus.

Kaapeli AHXAMK-WP+	Jännite [kV]	Kapasitanssi [ $\mu$ F/km]	Kerroin $\omega$	Maasulkuvirta [A/km]
3x50	20	0,17	0,0003142	1,9
3x95	20	0,20	0,0003142	2,2
3x150	20	0,24	0,0003142	2,6
3x185	20	0,26	0,0003142	2,8
3x240	20	0,29	0,0003142	3,2

### 5.5.2 Oikosulku

Taulukko 6 kertoo kaapelin AHXAMK-WP+ oikosulkuvirran arvon kaapelin eri poikkipinnalla alumiinilaminaatin paksuudella 0,30 mm..

Taulukko 6. AHXAMK-WP+ oikosulkukestoisuus.

Kaapeli, AHXAMK- WP+	Oikosulku- virta Ik [kA]	Ei-adiabaattinen kerroin K3	Kosketussuojan oikosulkuvirta Ik [kA]
3x50	2,2	1,5	3,2
3x95	2,5	1,5	3,6
3x150	2,7	1,5	4,0
3x185	2,9	1,5	4,2
3x240	3,0	1,5	4,4

## 5.6 Kaapeli TSLF

Kaapelille TSLF on laskettu maa- ja oikosulkuvirtoja eri poikkipintaisille kaapeleille. Kyseiset tulokset on laskettu kosketussuojan paksuudella 0,20 mm.

### 5.6.1 Maasulku

Taulukko 7 kertoo kaapelin TSLF maasulkuvirran arvon kaapelin eri poikkipinnalla.

Taulukko 7. TSLF maasulkukestoisuus.

Kaapeli TSLF	Jännite [kV]	Kapasitanssi [ $\mu$ F/km]	Kerroin $\omega$	Maasulkuvirta [A/km]
3x1x50/16	20	0,16	0,000314	1,7
3x1x95/25	20	0,17	0,000314	1,9
3x1x150/25	20	0,23	0,000314	2,5
3x1x240/35	20	0,28	0,000314	3,0

### 5.6.2 Oikosulku

Taulukko 8 kertoo kaapelin TSLF oikosulkuvirran arvon kaapelin eri poikkipinnalla alumiinilaminaatin paksuudella 0,20 mm.

Taulukko 8. TSLF oikosulkukestoisuus.

Kaapeli TSLF	Kosketussuojan koko [mm <sup>2</sup> ]	Lämpötila- kerroin K2	Oikosulku [kA]
3x1x50/16	16	0,7	2,4
3x1x95/25	25	0,7	3,7
3x1x150/25	25	0,7	3,7
3x1x240/35	35	0,7	5,2

## 6 Alumiinikaapeleiden kosketussuojan muutos

Tässä luvussa on laskettu alumiinilaminaatin muutoksen vaikutusta oikosulkuvirtaan. Alumiinikaapelit AHXAMK-W:llä ja – WP:llä on 0,20 mm:n paksuinen alumiinilaminaatti. AHXAMK-WP+:lla on 0,30 mm:n paksuinen alumiinilaminaatti. Kaapelien oikosulkuvirta lasketaan luvussa viisi esitettyjen yhtälöiden 3-7 mukaan. Alumiinilaminaatin paksuus muuttuu 0,05 mm asteikolla.

Taulukko 9 kertoo kaapelin AHXAMK-W, -WP ja WP+ oikosulkuvirran, kun alumiinilaminaatin paksuus on 0,25 mm.

Taulukko 9. Oikosulkukestoisuus alumiinilaminaatin paksuudella 0,25 mm.

Kaapeli AHXAMK- W, -WP, -WP+	Oikosulkuvirta Ik [kA]	Ei-adiabaattinen kerroin K3	Kosketussuojan oikosulkuvirta Ik [kA]
3x50	1,8	1,5	2,8
3x70	1,9	1,5	3,0
3x95	2,0	1,5	3,1
3x120	2,2	1,5	3,3
3x150	2,3	1,5	3,5
3x185	2,4	1,5	3,7
3x240	2,6	1,5	4,1
3x300	2,8	1,5	4,3

Taulukko 10 kertoo kaapelin AHXAMK-W, -WP ja WP+ oikosulkuarvon, kun alumiinilaminaatin paksuus on 0,30 mm.

Taulukko 10. Oikosulkukestoisuus alumiinilaminaatin paksuudella 0,30 mm.

<b>Kaapeli AHXAMK- W, -WP, -WP+</b>	<b>Oikosulkuvirta Ik [kA]</b>	<b>Ei-adiabaattinen kerroin K3</b>	<b>Kosketussuojan oikosulkuvirta Ik [kA]</b>
3x50	2,2	1,5	3,2
3x70	2,3	1,5	3,4
3x95	2,5	1,5	3,6
3x120	2,6	1,5	3,8
3x150	2,7	1,5	4,0
3x185	2,9	1,5	4,2
3x240	3,2	1,5	4,6
3x300	3,3	1,5	4,9

Taulukko 11 kertoo kaapelin AHXAMK-W, -WP ja WP+ oikosulkuarvon, kun alumiinilaminaatin paksuus on 0,35 mm.

Taulukko 11. Oikosulkukestoisuus alumiinilaminaatin paksuudella 0,35 mm.

<b>Kaapeli AHXAMK- W, -WP, -WP+</b>	<b>Oikosulkuvirta Ik [kA]</b>	<b>Ei-adiabaattinen kerroin K3</b>	<b>Kosketussuojan oikosulkuvirta Ik [kA]</b>
3x50	2,5	1,4	3,5
3x70	2,7	1,4	3,8
3x95	2,9	1,4	4,0
3x120	3,0	1,4	4,3
3x150	3,2	1,4	4,5
3x185	3,4	1,4	4,7
3x240	3,7	1,4	5,2
3x300	3,9	1,4	5,4

Taulukko 12 kertoo kaapelin AHXAMK-W, -WP ja WP+ oikosulkuarvon, kun alumiinilaminaatin paksuus on 0,40 mm.

Taulukko 12. Oikosulkukestoisuus alumiinilaminaatin paksuudella 0,40 mm.

<b>Kaapeli AHXAMK- W, -WP, -WP+</b>	<b>Oikosulkuvirta Ik [kA]</b>	<b>Ei-adiabaattinen kerroin K3</b>	<b>Kosketussuojan oikosulkuvirta Ik [kA]</b>
3x50	2,9	1,4	3,9
3x70	3,1	1,4	4,2
3x95	3,3	1,4	4,5
3x120	3,5	1,4	4,7
3x150	3,7	1,4	5,0
3x185	3,9	1,4	5,2
3x240	4,2	1,4	5,8
3x300	4,4	1,4	6,0

Taulukko 13 kertoo kaapelin AHXAMK-W, -WP ja WP+ oikosulkuarvon, kun alumiinilaminaatin paksuus on 0,45 mm.

Taulukko 13. Oikosulkukestoisuus alumiinilaminaatin paksuudella 0,45 mm.

<b>Kaapeli AHXAMK- W, -WP, -WP+</b>	<b>Oikosulkuvirta Ik [kA]</b>	<b>Ei-adiabaattinen kerroin K3</b>	<b>Kosketussuojan oikosulkuvirta Ik [kA]</b>
3x50	3,2	1,3	4,3
3x70	3,5	1,3	4,6
3x95	3,7	1,3	4,9
3x120	3,9	1,3	5,2
3x150	4,1	1,3	5,5
3x185	4,3	1,3	5,7
3x240	4,8	1,3	6,3
3x300	5,0	1,3	6,6



Taulukko 14 kertoo kaapelin AHXAMK-W, -WP ja WP+ oikosulkuarvon, kun alumiinilaminaatin paksuus on 0,50 mm.

Taulukko 14. Oikosulkukestoisuus alumiinilaminaatin paksuudella 0,50 mm.

<b>Kaapeli AHXAMK- W, -WP, -WP+</b>	<b>Oikosulkuvirta Ik [kA]</b>	<b>Ei-adiabaattinen kerroin K3</b>	<b>Kosketussuojan oikosulkuvirta Ik [kA]</b>
3x50	3,6	1,3	4,7
3x70	3,9	1,3	5,0
3x95	4,1	1,3	5,3
3x120	4,3	1,3	5,6
3x150	4,6	1,3	5,9
3x185	4,8	1,3	6,2
3x240	5,3	1,3	6,9
3x300	5,5	1,3	7,2

## 7 Kaapelivarusteet

Kaapelivarusteilla tarkoitetaan kaapelipäätteitä ja –jatkoksia. Nämä ovat keskeisiä komponentteja kaapeliverkostossa. Kaapelipäätteiden ja –jatkosten suunnittelussa on otettava huomioon kaapeliverkostossa ilmeneviä erilaisia vikatilanteita kuten oikosulkuvirtaa sekä maasulkuvirtaa. Kaapelivarusteiden tulee kestää samanlaisia verkoston sähköisiä kuormituksia kuin kaapeleiden. Kaapelivarusteiden valmistaja valmistaa tuotteen yleensä kaapeleiden valmistajan ilmoittamilla virtalujuusarvoilla, jolloin kaapeli- ja kaapelivaruste muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden. Kaapelivarustevalmistajan ilmoittama sähköinen virtalujuus riippuu kaapelin termisestä oikosulkukestävydestä, joka on kaapelikohtainen. [11]

*Kaapelipäätteen* päätehtävänä on päättää kaapelieristeet hallitusti. Kaapelipäätte suo- jaa kaapelia estämällä kosteuden pääsyn kaapeliin. Päätte antaa myös mekaanisen suojan kaapelille. [3, s. 380–381.]

Kuva 10 esittää Enston valmistamaa AHXAMK-W tyyppin ulkokaapelipäätettä.



Kuva 10. AHXAMK-W päätte [12].

*Kaapelijatkosten* tehtävänä on yhdistää toisiinsa kaapelipituuksia. Kaapelien jatkaminen on siis mahdollista jatkosten avulla. Jatkokset mahdollistavat kaapelin korjauksen, vaikka kaapeli olisi vaurioitunut. Vaurioitunut kohta korvataan kaapelijatkoksella. Ilman kaapelijatkosta jouduttaisiin koko kaapeli kaivamaan pois maasta ja asentamaan uusi kaapeli tilalle. [3, s. 381.]

Kuva 11 esittää Enston valmistamaa AHXAMK-W tyypin kaapelijatkosta.



Kuva 11. AHXAMK-W jatkos [13].

## 8 Vertailu kaapeleiden teoreettinen suorituskyky kosketussuojalla

Tämän luvun tarkoituksena on kertoa maa- ja oikosulkulaskentaperiaate kuparikosketussuojalle. Laskenta on hyvin samanlaista kuin alumiinilaminaatilla toteutettu laskenta, mutta kyseessä on eri metalli. Kuparilla on hyvät sähköiset ominaisuudet, koska sillä on esimerkiksi hyvä resistiivisyyden kerroin. Materiaalina kupari on alumiinia kalliimpi metalli, mutta sillä on hyvät lämpöiset ja sähköiset ominaisuudet.

Kuparilla on toisenlainen lämpötila- ja materiaalikerroin sekä lämpökerroin kuin alumiinilla. Luvussa 9 on taulukoitu kuparin ja alumiinin välisiä eroja.

Lämpötilakerroin

$$\theta_k = \frac{1}{\gamma_{20}} - 20^\circ\text{C} \quad (9)$$

Materiaalikerroin:

$$K1' = \sqrt{\frac{ck(\theta_k + 20^\circ\text{C})}{\varepsilon_{20}}} \quad (10)$$

$\theta_k$  on kuparin lämpötilakerroin [K]

$\gamma_{20}$  on kuparin resistiivisyyden lämpötilakerroin 20 celsius asteessa

$K1'$  on kuparin materiaalikerroin

$ck$  on kuparin ominaislämpökapasiteetti [J/(K m<sup>3</sup>)]

$\varepsilon_{20}$  on lämpöresistiivisyys kupari [km/W]

Lämpökerroin

$$K2' = \sqrt{\ln \frac{\theta_k + \lambda e'}{\theta_k + \lambda a'}} \quad (11)$$

$K2'$  on kuparin lämpökerroin.

$\lambda e'$  on suurin sallittu johtimen käyttölämpötila oikosulkutilanteessa 250 asteessa. [°C]

$\lambda a'$  on suurin sallittu johtimen käyttölämpötila 80 asteessa. [°C]

Ei-adiabaattinen kerroin

$$K3' = \sqrt{1 + \frac{b}{\delta} * tk} \quad (12)$$

$K3'$  on ei-adiabaattinen kerroin.

$b$  on kosketussuojan vakio.

$\delta$  on metallin paksuus. [mm]

$tk$  on käyttöaika. [s]

Oikosulkuvirta

$$Ik = Qk * K1' * K2' * K3' * \frac{1}{\sqrt{t1s}} \quad (13)$$

$Qk$  on kuparin kosketussuojan poikkipinta-ala. [m<sup>2</sup>]

$K1'$  on kuparin materiaalikerroin.

$K2'$  on kuparin lämpötilakerroin.

$K3'$  on kuparin ei-adiabaattinen kerroin.

$t1s$  on yhden sekunnin käyttöaika. [s]

## 8.1 Maasulku

Taulukko 15 kertoo kaapelin AHXCMK-WTC/PE maasulkuvirtoja eri poikkipinnalla. Maasulkuvirta lasketaan kaavan 2 mukaisella yhtälöllä.

Taulukko 15. AHXCMK-WTC/PE kaapelin maasulku tuloksia

Kaapeli AHXCMK-WTC/PE	Jännite [kV]	Kapasitanssi [μF/km]	Kerroin ω	Maasulkuvirta [A/km]
3x50+16	20	0,16	0,000314	1,7
3x70+16	20	0,18	0,000314	2,0
3x95+16	20	0,2	0,000314	2,2
3x120+25	20	0,22	0,000314	2,4
3x150+25	20	0,23	0,000314	2,5
3x185+25	20	0,26	0,000314	2,8
3x185+35	20	0,26	0,000314	2,8
3x240+25	20	0,29	0,000314	3,2
3x240+35	20	0,29	0,000314	3,2
3x300+35	20	0,31	0,000314	3,4

Taulukko 16 kertoo kaapelin AXLJ-F TT maasulkuvirtoja eri poikkipinnalla.

Taulukko 16. AXLJ-F TT kaapelin maasulku tuloksia

Kaapeli AXLJ-F TT	Jännite [kV]	Kapasitanssi [μF/km]	Kerroin ω	Maasulkuvirta [A/km]
3x50+16	20	0,17	0,000314	1,9
3x70+16	20	0,19	0,000314	2,1
3x95+16	20	0,21	0,000314	2,3
3x95+25	20	0,21	0,000314	2,3
3x120+16	20	0,23	0,000314	2,5
3x150+25	20	0,24	0,000314	2,6
3x185+25	20	0,26	0,000314	2,8
3x240+25	20	0,29	0,000314	3,2
3x240+35	20	0,29	0,000314	3,2
3x300+35	20	0,32	0,000314	3,5

## 8.2 Oikosulku

Kaapeleiden AHXCMK-WTC/PE ja AXLJ-F TT:llä on sama oikosulkuvirta kosketussuojassa. Kaapelin kosketussuojan poikkipinta-alan koko vaikuttaa kaapelin oikosulkuvirtaan, joka vaihtelee 16 – 35 mm<sup>2</sup> väliltä. Kaapelien oikosulkuvirrat on laskettu johtimien jatkuvan tilan lämpötila arvolla 80 astetta ja oikosulkuutilan enintään viiden sekunnin lämpötila arvolla 250 astetta. Tulokset on taulukoitu taulukkoon 17.

Taulukko 17. Kupari kosketussuojien oikosulkuvirtakestoisuus.

Kosketussuojan poikkipinta-alan [mm <sup>2</sup> ]	Oikosulkuvirta Ik [kA]	Ei-adiabaattinen kerroin K3	Kosketussuojan oikosulkuvirta Ik [kA]
16	2,4	1,1	2,6
25	3,7	1,1	4,0
35	5,2	1,1	5,6

## 9 Alumiini- ja kupari kosketussuojien vertailu

Tämän luvun tarkoituksena on vertailla konkreettisella tasolla luvun 5 ja 8 tuloksia. Tulokset havainnollistavat alumiinin ja kuparin välisiä sähköisiä eroja. Tarkoituksena on tuloksien myötä saada yleiskuva, miten erilaisia nämä molemmat metallit ovat virtalujuuksiltaan perustilassa.

Taulukko 18 kertoo alumiini- ja kupari metallien fyysisiä vakioita [6, s. 285].

Taulukko 18. Alumiinin ja kuparin vakioita.

Materiaali	Resistiivisyys	Resistiivisyyden lämpötilakerroin	Terminen ominaisresistiivisyys	Ominaislämpökapasiteetti	Materiaali kerroin
Kupari	$1,7241 \times 10^{-8}$	$3,93 \times 10^{-3}$	234,5	$2,7 \times 10^{-3}$	$226 \times 10^6$
Alumiini	$2,8264 \times 10^{-8}$	$4,03 \times 10^{-3}$	228	$4,8 \times 10^{-3}$	$148 \times 10^6$

Alumiinin ja kuparin sähköiset ominaisuudet ovat merkittävät. Oikosulkuvirtojen perusteella kupari kestää paremmin oikosulkutilannetta kuin alumiini. Oikosulkuvirran lisäksi kuparin poikkipinta-alan koko on puolet pienempi kuin alumiinilla.

Taulukko 19 kertoo alumiini ja kupari kosketussuojien oikosulkukestoisuus eroja.

Taulukko 19. Kosketussuojien erot.

Poikkipinta-ala [mm <sup>2</sup> ]	Alumiini kosketussuoja	Poikkipinta-ala [mm <sup>2</sup> ]	Kupari kosketussuoja
3x50+35	2,4	3x50+16	2,6
3x70+35	2,5	3x70+16	2,6
3x95+35	2,7	3x95+16	2,6
3x120+35	2,8	3x120+25	4,0
3x150+35	3,0	3x150+25	4,0
3x185+35	3,2	3x185+25	4,0
3x240+35	4,6	3x240+35	5,6
3x300+35	4,9	3x300+35	5,6



## 10 Yhteenveto

Insinööri työ on tehty Reka Kaapeli Oy:lle. Insinööri työssä tutkittiin eri kaapeleiden kosketussuojien suorituskykyä sekä vertailtiin näitä keskenään. Työn keskeisin sisältö pohjautuu kaapeleiden AHXAMK-W, -WP ja WP+ kosketussuojaan, joka on toteutettu alumiinilaminaatilla.

Kaapeleiden AHXAMK-W, -WP, WP+ kosketussuojan paksuus perustilassa on 0,20 mm. Standardin minimivaatimus on 0,20 mm. Insinööri työn selvityksen alla oli kaapelin kosketussuojan suorituskyvyn tarkastelu alumiinilaminaattien paksuuksilla 0,20 mm:stä aina 0,50 mm:iin. Työssä selvitettiin teoreettisella laskentamenetelmällä alumiinilaminaatin termien oikosulkukestoisuus sekä maasulkukestoisuus eri laminaatin paksuuksilla.

Insinööri työssä oli lisäksi vertailukaapeleina AHXCMK-WTC/PE, TSLF ja AXLJ-F TT. Vertailukaapeleiden kosketussuojat on toteutettu kuparista. Kaapelin TSLF kosketussuoja on alumiinilaminaatin ja kuparilankojen yhdistelmä.

Työtä tehdessä havaittiin kuparin ja alumiinin välisiä eroja metalleina kosketussuojarakenteissa. Kuparilla toteutettu kosketussuoja on perustilassa olevalle kaapelille suorituskykyisempi vaihtoehto kuin alumiini. Vastaava suorituskyky vaatisi alumiinilta vähintään 0,35 mm tai paksumpien laminaattien käyttämistä.

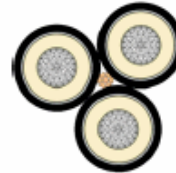
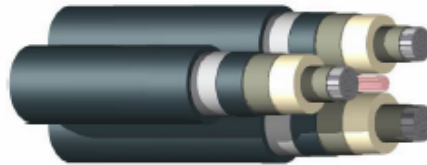
Kaapelien varusteina pidetään kaapelipäätteitä sekä –jatkoksia. Kaapelivarusteet kestävät standardin vaatimukset. Jos kaapelin maasulkuvirtakestoisuutta kasvatetaan, on varusteen ja kaapelin kosketussuojan välisen liitoksen kestävyys oltava myös riittävä.

Insinööri työssä on luottamuksellista tietoa, jota ei tulla julkaisemaan työn julkisessa versiossa.

## Lähteet

1. Alatalo Pentti, 1975, Voimakaaapelit ja Asennusjohdot, Oy Nokia Ab kaapelitehdas, Espoo: Oy Kodaprint Ab.
2. Elovaara Jarmo, Haarla Liisa. 2011. Sähköverkot I, Tallinna: Otatieto.
3. Elovaara Jarmo, Laiho Yrjö. 1999. Sähkölaitos tekniikan perusteet, Helsinki: Otatieto.
4. Heinhold Lothar, 1990. Power Cables and their Application Part 1, Siemens Aktiengesellschaft.
5. Suomen voimajärjestelmän tila. 2016. [Verkkodokumentti]. Fingrid <<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/voimajarjestelman-tila/Sivut/default.aspx>>, Luettu 4.10.2016.
6. Simonen Vesa-Matti. 2009. Keskijännitekaapeleiden terminen kuormitettavuus. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. <[https://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dyot/Simonen\\_Vesa\\_Matti\\_julk.pdf](https://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dyot/Simonen_Vesa_Matti_julk.pdf)>. Luettu 20.10.2016.
7. Suomi Mika. 2010. Kosketussuojan poikkipinnan vaikutus 60–400 kV suurjännitekaapelin kuormitettavuuteen. Metropolia. Opinnäytetyö. <<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/12841/Mika%20Suomi.pdf?sequence=1>>. Luettu 20.10.2016.
8. ABB. 2000. TTT-käsikirja 2000-07, Luku 8 Maasulkusuojaus. [Verkkodokumentti]. Luettu 22.10.2016 <[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/08\\_0\\_Maasulkusuojaus.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/08_0_Maasulkusuojaus.pdf)>.
9. Maakaapeloinnin yleistyminen. 2016. [Verkkodokumentti]. Energiateollisuus <<http://energia.fi/ajankohtaista/lehdistotiedotteet/maakaapelointi-yleistyyturvallisuusriskit-huomioitava-kaivutoissa>>, Luettu 19.10.2016
10. Maakaapeloinnin hyödyt ja haitat [Verkkodokumentti]. <<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/34803/nbnfi-fe20021440.pdf?sequence=1>>, Luettu 19.10.2016
11. Väkeväinen, Kenneth. 2016. Tekninen johtaja, Ensto Oy. Asiantuntijahaastattelu 17.10.2016

12. Kaapelipääte.2016.[Verkkodokumentti]. Ensto  
<<http://www.ensto.com/fi/tuotteet/maakaapelitarvikkeet/keskijannitekaapelitarvikkeet/kylmakutistepaatteet/cotw1-ulkopaatepakkaukset-ahxamk-w/>>, Luettu 20.10.2016
  
13. Kaapelijatkos.2016.[Verkkodokumentti]. Ensto  
<<http://www.ensto.com/fi/tuotteet/maakaapelitarvikkeet/keskijannitekaapelitarvikkeet/kylmakutistepaatteet/cotw1-ulkopaatepakkaukset-ahxamk-w/>>, Luettu 20.10.2016



## Alumiinivoimakaapeli

### Rakenne

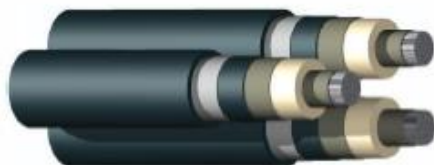
Johdin:	Pitkittäisvesitiivis pyöreä muutamalankainen alumiiniköysi (EN 60228 johdinluokka 2).
Johdinsuoja:	Ristisilloitettu puolijohtava polyeteenimuovi (PEX).
Eristys:	PEX-eristysmuovi, jonka nimellispaksuus on 5,5 mm.
Hohtosuoja:	Ristisilloitettu puolijohtava polyeteenimuovi (PEX).  Johdinsuoja, eristys ja hohtosuoja on valmistettu yhdessä työvaiheessa kolmoispuristamalla.
Pitkittäisvesitiivisyys:	Hohtosuojan päällä on pitkittäinen puolijohtava ja paisuva vesitiiveysnauha. Johtimen alumiinilankojen välissä on vesitiiveyspulveria.
Kosketussuoja:	Alumiinilaminaatti, joka toimii myös poikittaisena vesitiivistyksenä.
Vaippa:	Musta säänkestävä lyijytön polyeteenivaippa  Kolme vaipattua vaihetta on kerrattu kuparisen keskusköyden ympärille.
Jännite:	$U_0/U(U_m) = 12/20(24)$ kV
Sallitut lämpötilat:	Suurin sallittu johtimen käyttölämpötila 90 °C Suurin sallittu johtimen käyttölämpötila oikosulkuilanteessa 250 °C (oikosulun kesto enintään 5 s)  Alin sallittu lämpötila käsittelyn ja asennuksen aikana -20 °C Alin sallittu lämpötila kuljetuksen aikana -40 °C
Käyttö:	Kiinteä asennus sisätiloissa ja ulkona, kaapelihyllyillä ja -kanavissa. Kaapeli voidaan asentaa myös maahan ja pysyvästi kosteisiin olosuhteisiin. Soveltuu aurattavaksi.

**Teknisiä tietoja**

	3x25+3S	3x50+3S	3x70+3S	3x95+3S	3x120+3S	3x150+3S	3x185+3S	3x240+3S
Tuotekoodi	1187000	1187002	1187003	1187004	1187004	1187005	1187006	1187018
Vaihejohtimen nimellishalkaisija (mm)	5,9	8,1	9,5	11,2	12,0	14,1	15,8	18,0
Erikytkimen nimellispaksuus (mm)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Keskusköyden nimellispöytäala (mm <sup>2</sup> )	35	35	35	35	35	35	35	35
Vaiheen nimellispaksuus (mm)	1,8	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1
Vaihejohtimen halkaisija (mm)	24	29	29	31	32	34	36	38
Kaapelin halkaisija (mm)*	50	61	62	66	68	72	76	81
Kaapelin massa (kg/km)*	1650	2350	2550	2950	3250	3650	4100	4650
Suurimmat sallitut vetovoimat käytettäessä								
- vetopäätä (veto suoraan johtimista) (kN)	3,7	7,5	10,5	14,3	16,0	20	20	20
- vetosukkaa (kN)	1,3	2,3	3,2	4,3	5,4	6,8	8,3	8,5
Pienimmät sallitut laivutusväleät								
- asennusvedossa, vaihejohtim (m)	0,36	0,44	0,44	0,47	0,48	0,51	0,54	0,57
- asennusvedossa, koko kaapeli (m)	0,40	0,50	0,50	0,53	0,55	0,58	0,61	0,65
- lopullinen kiertävyyden, vaihejohtim (m)	0,25	0,30	0,30	0,34	0,35	0,37	0,38	0,42
- lopullinen kiertävyyden, koko kaapeli (m)	0,30	0,37	0,37	0,40	0,41	0,43	0,46	0,49
Maksimi tasavirtaresistanssi 20 °C lämpötilassa								
- Vaihejohtimen (Ω/km)	1,20	0,641	0,443	0,320	0,263	0,208	0,164	0,125
- Keskusköyden (Ω/km)	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524
Vaihejohtimen vaihtovirtaresistanssi, kun kosketussuojat kytketty molemmista päistä 1)								
- johdinlämpötila 65 °C (Ω/km)	1,40	0,78	0,52	0,38	0,30	0,24	0,19	0,15
- johdinlämpötila 80 °C (Ω/km)	1,46	0,82	0,57	0,41	0,32	0,26	0,21	0,16
Induktanssi vaihetta kohti (mH/km)*	0,47	0,44	0,41	0,39	0,38	0,36	0,36	0,34
Käyttökapasitanssi (µF/km)*	0,14	0,16	0,18	0,20	0,23	0,24	0,26	0,29
Varausvirta (A/km)*	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
Maasukuvirta (A/km)*	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,8	2,9	3,2
Kuormitettavuus (ks. CENELEC HD 620S2 Part 10F) kun kosketussuojat kytketty molemmista päistä								
- ilmassa 25°C lämpötilassa, kun johdinlämpötila 90°C (A)	125	185	235	280	325	370	425	490
- maassa (15°C ja 1,0 Km/W) syvyydessä 0,7 m, kun johdinlämpötila 65°C (A)	110	155	200	235	265	300	330	385
Maksimi 1 sekunnin sallittu terminen oikosukuvirta								
- johdin (alkulämpötila 90 °C, loppulämpötila 250 °C) (kA)	2,3	4,7	6,6	8,9	11,3	14,1	17,4	22,6
- keskuskaapeli (alkulämpötila 65 °C, loppulämpötila 250 °C) (kA)	2,1	2,5	2,5	2,7	2,8	3,0	3,1	4,4
- keskuskaapeli (alkulämpötila 55 °C, loppulämpötila 200 °C) (kA)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

1) Likiarvo

2) Likiarvo, laskennallinen arvo pääjännitteellä U = 20 kV



## Alumiinivoimakaapeli

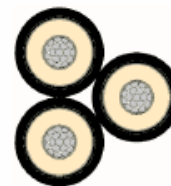
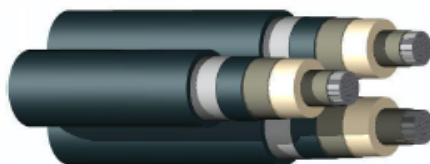
### Rakenne

Johdin:	Pitkittäisvesitiivis pyöreä muutamalankainen alumiiniköysi (EN 60228 johdintuokka 2)
Johdinsuoja:	Ristisilloitettu puolijohtava polyeteenimuovi (PEX), jonka nimellispaksuus on 0,5 mm.
Eristys:	PEX-eristysmuovi, jonka nimellispaksuus on 5,5 mm.
Hohtosuoja:	Ristisilloitettu puolijohtava polyeteenimuovi (PEX). Johdinsuoja, eristys ja hohtosuoja on valmistettu yhdessä työvaiheessa kolmoispuristamalla.
Pitkittäisvesitiivisyys:	Hohtosuojan päällä on pitkittäinen puolijohtava ja paisuva vesitiiveysnauha. Johtimen alumiinilankojen välissä on vesitiiveyspulveria.
Kosketussuoja:	Alumiinilaminaatti, joka toimii myös poikittaisena vesitiiveystyksenä.
Vaippa:	Musta säänkestävä lyijytön polyeteenivaippa. Kolme vaipattua vaihetta on kerrattu yhteen.
Jännite:	$U_g/U(U_m) = 12/20(24) \text{ kV}$
Sallitut lämpötilat:	Suurin sallittu johtimen käyttölämpötila 90 °C Suurin sallittu johtimen käyttölämpötila oikosulkutilanteessa 250 °C (oikosulun kesto enintään 5 s) Alin sallittu lämpötila käsittelyn ja asennuksen aikana -20 °C Alin sallittu lämpötila kuljetuksen aikana -40 °C
Käyttö:	Kiinteä asennus sisätiloissa ja ulkona, kaapelihyllyillä ja -kanavissa. Kaapeli voidaan asentaa myös maahan ja pysyvästi kosteisiin olosuhteisiin. Soveltuu aurattavaksi.

**Teknisiä tietoja**

	3x50	3x70	3x95	3x150	3x185	3x240	3x300
<b>Tuotekoodi</b>	1187052	1187103	1187104	1187106	1187107	1187108	1187109
Vaihejohtimen nimellishalkaisija (mm)	8,1	9,5	11,2	14,1	15,8	18,0	20,3
Eristyksen nimellispaksuus (mm)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Väpän nimellispaksuus (mm)	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1	3,2
Väpätun vaihejohtimen halkaisija (mm)	27	29	31	34	36	38	41
Kaapelin halkaisija (mm) <sup>1</sup>	59	62	65	72	76	81	87
Kaapelin massa (kg/km) <sup>1</sup>	1950	2250	2550	3250	3800	4600	5250
<b>Suurimmat sallitut vetovoimat käytettäessä</b>							
- vetopäätä (veto suoraan johtimista) (kN)	7,2	10,5	14,3	20	20	20	20
- vetosukkaa (kN)	2,3	3,2	4,3	6,8	8,4	8,5	8,5
<b>Plenimmät sallitut taivutusasteet</b>							
- asennusvedossa, vaihejohtin (m)	0,41	0,44	0,47	0,51	0,54	0,57	0,62
- asennusvedossa, koko kaapeli (m)	0,47	0,50	0,52	0,58	0,61	0,65	0,70
- lopullinen kertaistuvuus, vaihejohtin (m)	0,30	0,30	0,34	0,37	0,40	0,42	0,45
- lopullinen kertaistuvuus, koko kaapeli (m)	0,35	0,37	0,39	0,43	0,46	0,49	0,52
<b>Maksimit tasavirtaeristysissä 20 °C lämpötilassa</b>							
- Vaihejohtimen (Ω/km)	0,641	0,443	0,320	0,206	0,164	0,125	0,100
<b>Vaihejohtimen vaihtovirtaeristysissä, kun kosketussuojat kytketty molemmista päistä 1)</b>							
- johdinpöytä 65 °C (Ω/km)	0,76	0,52	0,38	0,24	0,19	0,15	0,12
- johdinpöytä 90 °C (Ω/km)	0,82	0,57	0,41	0,26	0,21	0,16	0,13
Induktanssi vaihetta kohti (mH/km) <sup>1</sup>	0,43	0,41	0,39	0,36	0,35	0,34	0,33
Käyttökapasitanssi (µF/km) <sup>1</sup>	0,17	0,18	0,20	0,24	0,26	0,29	0,32
Varausvirta (A/km) <sup>2</sup>	0,6	0,7	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2
Maasulkuvirta (A/km) <sup>1</sup>	1,8	2,0	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5
<b>Kuormitettavuus (ks. CENELEC HD 620S2 Part 10F) kun kosketussuojat kytketty molemmista päistä</b>							
- ilmaissa 25 °C lämpötilassa, kun johdinpöytä 90 °C (A)	195	235	280	370	425	490	565
- maassa (15 °C ja 1,0 Km/W) syvyydessä 0,7 m, kun johdinpöytä 65 °C (A)	155	200	235	300	330	385	435
<b>Maksimit 1 sekunnin sallittu termin oikosulkuvirta</b>							
- johdin (alkulämpötila 90 °C, loppulämpötila 250 °C) (kA)	4,7	6,6	8,9	14,1	17,4	22,6	28,3
- kosketussuojat (alkulämpötila 85 °C, loppulämpötila 250 °C) (kA)	2,5	2,5	2,7	3,0	3,1	4,4	4,8

- 1) Likiarvo  
2) Likiarvo, laskennallinen arvo päätajamitteilla U = 20 kV



## Alumiinivoimakaapeli

### Rakenne

Johdin:	Pitkittäisvesitiivis pyöreä muutamalankainen alumiiniköysi (EN 60228 johdinluokka 2)
Johdinsuoja:	Ristisilloitettu puolijohtava polyeteenimuovi (PEX), jonka nimellispaksuus on 0,5 mm.
Eristys:	PEX-eristysmuovi, jonka nimellispaksuus on 5,5 mm.
Hohtosuoja:	Ristisilloitettu puolijohtava polyeteenimuovi (PEX). Johdinsuoja, eristys ja hohtosuoja on valmistettu yhdessä työvaiheessa kolmoispuuristamalla.
Pitkittäisvesitiivisyys:	Hohtosuojan päällä on pitkittäinen puolijohtava ja paisuva vesitiiveysnauha. Johtimen alumiinilankojen välissä on vesitiiveyspulveria.
Kosketussuoja:	Alumiinilaminaatti, joka toimii myös poikittaisena vesitiivistyksenä.
Vaippa:	Musta säänkestävä lyijytön polyeteenivaippa Kolme vaipattua vaihejohtinta on kerrattu yhteen.
Jännite:	$U_b/U(U_m) = 12/20(24) \text{ kV}$
Sallitut lämpötilat:	Suurin sallittu johtimen käyttölämpötila 90 °C Suurin sallittu johtimen käyttölämpötila oikosulkutilanteessa 250 °C (oikosulun kesto enintään 5 s) Alin sallittu lämpötila käsittelyn ja asennuksen aikana -20 °C Alin sallittu lämpötila kuljetuksen aikana -40 °C
Käyttö:	Kiinteä asennus sisätiloissa ja ulkona, kaapelihyllyillä ja -kanavissa. Kaapeli voidaan asentaa myös maahan ja pysyvästi kosteisiin olosuhteisiin. Soveltuu aurattavaksi.



**Teknisiä tietoja**

	3x50	3x65	3x150	3x185	3x240
Tuotekoodi	1187132	1187134	1187136	1187137	1187138
Vaihejohtimen nimellishalkaisija (mm)	8,1	11,2	14,1	15,8	18,0
Eristyksen nimellispaksuus (mm)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Väljän nimellispaksuus (mm)	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1
Väljätun vaihejohtimen halkaisija (mm)	28	31	34	36	38
Kaapelin halkaisija (mm)*	59	66	72	76	81
Kaapelin massa (kg/km)*	2000	2550	3250	3800	4400
Suurimmat sallitut vetovoimat käytettäessä					
- vetoaata (veto suoraan johdintista) (kN)	7,5	14,3	20	20	20
- vetosuukkaa (kN)	2,3	4,3	6,8	8,4	8,5
Pienimmät sallitut taivutus säteet					
- asennusvedossa, vaihejohtin (m)	0,42	0,47	0,51	0,54	0,57
- asennusvedossa, koko kaapeli (m)	0,47	0,52	0,58	0,61	0,65
- lopullinen kertaivaikutus, vaihejohtin (m)	0,30	0,34	0,37	0,40	0,42
- lopullinen kertaivaikutus, koko kaapeli (m)	0,35	0,39	0,43	0,46	0,49
<b>Maksimi lasawirtaresistanssi 20 °C lämpötilassa</b>					
- Vaihejohtimen (Ω/km)	0,641	0,320	0,208	0,164	0,125
<b>Vaihejohtimen vaihtovirtaresistanssi, kun kosketussuojat kytketty molemmista päistä 1)</b>					
- johdintilämpötila 65 °C (D/km)	0,76	0,38	0,24	0,19	0,15
- johdintilämpötila 90 °C (D/km)	0,82	0,41	0,26	0,21	0,16
Induktanssi vaihetta kohti (mH/km)*	0,44	0,39	0,36	0,35	0,34
Käyttökapasitanssi (µF/km)*	0,17	0,20	0,24	0,26	0,29
Varausvirta (A/km)*	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1
Maasulkuvirta (A/km)*	1,8	2,2	2,6	2,9	3,2
<b>Kuormitettavuus (ks. CENELEC HD 620S2 Part 10F) kun kosketussuojat kytketty molemmista päistä</b>					
- ilmaissa 25°C lämpötilassa, kun johdintilämpötila 90°C [A]	185	280	370	425	480
- maassa (15°C ja 1,0 Km/W) syvytydessä 0,7 m, kun johdintilämpötila 65°C [A]	155	235	300	330	385
<b>Maksimi 1 sekunnin sallittu termiinin oikosulkuvirta</b>					
- johdin (alkulämpötila 90 °C, loppulämpötila 250 °C) (kA)	4,7	8,9	14,1	17,4	22,6
- kosketussuojat (alkulämpötila 85 °C, loppulämpötila 250 °C) (kA)	3,2	3,7	4,1	4,3	5,9

1) Likiarvo

2) Likiarvo, laskennallinen arvo pääjännitteellä U = 20 kV



### Watertight Three-core Aluminium Power Cable

#### CONSTRUCTION

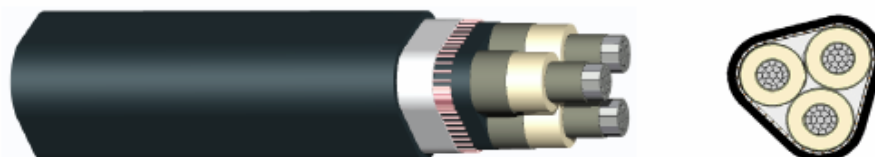
Conductor:	Watertight, round stranded and compacted aluminium conductor (IEC 60228 class 2).
Conductor screen:	Semi-conducting cross-linked polyethylene (XLPE) with nominal thickness of 0,5 mm.
Insulation:	Extruded cross-linked polyethylene having nominal thickness of 5,5 mm.
Insulation screen:	Semi-conducting XLPE with nominal thickness of 0,5 mm. A layer of semi-conducting water swellable tape applied over insulation screen.
Metallic screen:	Layer of helically wound copper wires. Semi-conducting waterswellable tape over metallic screen.
Radial watertightness:	Polyethylene laminated aluminium foil bonded to the sheath. Aluminium foil acts also as a part of the metallic screen.
Sheath:	Grey weather resistant polyethylene (PEMD) sheath. Sheath has a black semi-conducting outer layer with nominal thickness of 0,2 mm.  Three sheathed cables are laid up together.
Temperature limits:	Max. conductor temperature 90 °C Max. short circuit temperature 250 °C (duration not exceeding 5 sec.)  Min. temperature during handling and installation -20 °C Min. temperature during transport -40 °C
Applications:	Cable is intended for fixed installations indoors and outdoors, on cable ladders, in conduits and cable ducts. Cable may also be buried in soil. Cable is both longitudinally and radially watertight and therefore suitable for extremely wet conditions. Not for submarine or similar applications.

**Technical details**

Product code	1187422 3x1x50/16	1187424 3x1x95/25	1187426 3x1x150/25	1187428 3x1x240/35	--- 3x1x400/35
Diameter of conductor (mm)	8,1	11,2	14,1	18,0	22,5
Nominal cross section of metallic screen (mm <sup>2</sup> )	16	25	35	35	35
Nominal thickness of sheath, without semi-con. layer (mm)	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3
Diameter over complete cable, approx. (mm)	63	71	77	87	96
Diameter over individual sheathed phase conductor (mm)	30	33	36	41	45
Weight of cable, approx. (kg/km)	2150	3000	3700	5100	6500
Maximum forces during installation when pulling by					
- pulling stocking (kN)	2,3	4,3	6,8	8,5	8,5
- pulling-eye (kN)	7,5	14,3	20	20	20
Minimum bending radii					
- during handling and installation, complete cable (m)	0,76	0,85	0,92	1,04	1,15
- in case of one smooth bending to final position, one phase conductor (m)	0,33	0,36	0,40	0,45	0,50
Max resistance of conductor at 20°C (Ω/km)	0,641	0,320	0,206	0,125	0,0778
Max resistance of metallic screen at 20°C (Ω/km)	1,15	0,727	0,727	0,524	0,524
Inductance per phase (mH/km)	0,45	0,40	0,38	0,35	0,32
Capacitance (µF/km)	0,16	0,17	0,23	0,28	0,35
Charging current (A/km) <sup>1</sup>	0,6	0,6	0,9	1,0	1,3
Earth fault current (A/km) <sup>2</sup>	1,8	1,8	2,6	3,0	3,8
Current ratings (according to HD 620 S2 part 10F)					
Cables in ground (15 °C, laying depth 0,7 m, conductor temperature 65 °C, screen circuit closed) (A)	155	235	300	385	510
Cables in air (25 °C, conductor temperature 90 °C, screen circuit closed) (A)	195	280	370	490	680
Max 1 second thermal short-circuit current (kA)					
- conductor (temp. at the beginning 90 °C, final temp. 250 °C)	4,7	8,9	14,1	22,6	37,8
- metallic screen (temp. at the beginning 80 °C, final temp. 250 °C)	2,4	3,7	3,7	5,2	5,2

1) Calculated value, for guidance only

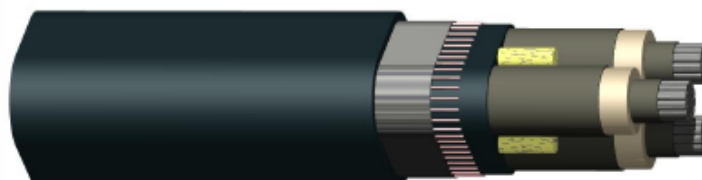
2) Calculated value, U = 20 kV

**AXLJ-F**  
**AHXCMK-WTC/PE 24 kV**  
 12/20(24) kV  
 CENELEC HD 620 S2:2010 Part 10  
 Sections F and M

**Three-core Aluminium Power Cable**
**CONSTRUCTION**

Conductor:	Watertight, round stranded and compacted aluminium conductor (IEC 60228 class 2).
Conductor screen:	Semiconductive cross-linked polyethylene (XLPE) with nominal thickness of 0,5 mm.
Insulation:	Extruded cross-linked polyethylene having nominal thickness of 5,5 mm.
Insulation screen:	Semiconductive XLPE with nominal thickness of 0,5 mm.  Three insulated conductors are laid up together. A lapped layer of semi-conducting water swellable tape as a binder.
Metallic screen:	Layer of helically wound copper wires with a copper equalization tape. Lapped plastic tapes over the metallic screen.
Sheath:	Black weather resistant polyethylene (PE-LLD).
Temperature limits:	Max. conductor temperature 90 °C Max. short circuit temperature 250 °C (duration not exceeding 5 sec.)  Min. temperature during handling and installation - 20 °C Min. temperature during transport - 40 °C
Applications:	Cable is intended for fixed installations indoors and outdoors, on cable ladders, in conduits and cable ducts. Cable may also be buried in soil. Not for submarine or similar applications.

Product code	3x50/16	3x70/16	3x95/16	3x120/25	3x150/25	3x185/25	3x240/25	3x300/35
Conductor diameter (mm)	8.1	9.5	11.2	12.6	14.1	15.8	18.0	20.3
Insulation thickness (mm)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Screen size (mm)*	16	16	16	25	25	25	35	35
Outersheath thickness (mm)	2.8	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	3.5	3.8
Outer diameter (mm)	55	68	82	86	99	112	128	146
Weight (kg)	1840	2110	2400	2920	3300	3700	4250	5250
<b>Max. pulling force</b>								
- with inner conductors (kN)	7.5	10.5	14.3	18.0	20	20	20	20
- with pulling stocking (kN)	2.3	3.1	4.3	5.4	6.8	8.3	8.5	8.5
<b>Min. bending radius</b>								
- during installation (m)	0.66	0.70	0.74	0.79	0.83	0.89	0.95	0.98
- in final installation, only one pending (m)	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.62	0.66	0.69
<b>Min. handling temperature (°C)</b>	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20
<b>Min. transporting temperature (°C)</b>	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
<b>Conductor DC-resistance 20°C</b>								
- phase (Ω/km)	0.641	0.443	0.320	0.253	0.206	0.164	0.125	0.100
- screen (Ω/km)	1.2	1.2	1.2	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6
<b>Inductance (mH/km)*</b>								
- in trefoil, conductors together (mH/km)*	0.37	0.36	0.34	0.33	0.31	0.31	0.29	0.29
Capacitance (µF/km)*	0.16	0.18	0.20	0.22	0.23	0.26	0.29	0.31
Charging current (A/km)*	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1
<b>Current carrying capacity (HD 620S2 Part 10F)</b>								
Cable in the air (25°C)	160	190	230	285	305	340	400	460
- in trefoil, (conductor temperature 90°C) (A)								
Cable in the ground (15°C ja 1.0 K.m/W), installation depth 0.7 m	145	175	205	230	260	290	340	380
- in trefoil, (conductor temperature 65°C) (A)								
<b>Max. thermal short circuit current during 1s</b>								
- phase (initial temperature 90°C and final temperature 250°C.) (kA)	4.7	6.6	8.9	11.3	14.1	17.4	22.6	28.3
- screen (initial temperature 90°C and final temperature 250°C.) (kA)	2.4	2.4	2.4	3.7	3.7	3.7	3.7	5.2

1) Calculated value, for guidance only  
2) Calculated value, U = 20 kV

**AXLJ-F TT 24 kV**
 12/20(24) kV  
 GENELEC HD 620 S2:2010 Part 10  
 Section M
**Watertight Three-core Aluminium Power Cable****CONSTRUCTION**

Conductor:	Watertight, round stranded and compacted aluminium conductor (IEC 60228 class 2).
Conductor screen:	Semiconductive cross-linked polyethylene (XLPE) with nominal thickness of 0,5 mm.
Insulation:	Extruded cross-linked polyethylene having nominal thickness of 5,5 mm.
Insulation screen:	Semiconductive XLPE with nominal thickness of 0,5 mm. A layer of semi-conducting water swellable tape applied over insulation screen.  Three insulated conductors are laid up together with waterswellable fillers and semi-conducting waterswellable tapes.
Metallic screen:	Layer of helically wound copper wires with a copper equalization tape.
Radial watertightness:	Polyester laminated aluminium foil wrapped around the metallic screen and bonded to the sheath.
Sheath:	Black weather resistant polyethylene (PE-LLD).
Temperature limits:	Max. conductor temperature 90 °C Max. short circuit temperature 250 °C (duration not exceeding 5 sec.)  Min. temperature during handling and installation - 20 °C Min. temperature during transport - 40 °C
Applications:	Cable is intended for fixed installations indoors and outdoors, on cable ladders, in conduits and cable ducts. Cable may also be buried in soil. Cable is both longitudinally and radially watertight and therefore suitable for extremely wet conditions. Not for submarine or similar applications.

Technical details

Product code	1187913 3x50/16	1187914 3x70/16	1187915 3x95/16	1187905 3x150/25	1187916 3x120/16	1187917 3x150/25	1187918 3x185/25	1187919 3x240/25	1187909 3x240/35	1187910 3x300/35
Diameter of conductor (mm)	8.1	9.5	11.2	11.2	12.6	14.1	15.8	18.0	18.0	20.3
Nominal cross section of metallic screen (mm <sup>2</sup> )	16	16	16	25	16	25	25	25	35	35
Nominal thickness of sheath (mm)	2.8	2.8	3.0	3.0	3.1	3.2	3.3	3.5	3.5	3.6
Diameter of cable, approx. (mm)	54	57	61	61	64	68	72	77	77	82
Weight of cable, approx. (kg/km)	1850	2100	2500	2600	2900	3350	3800	4500	4550	5300
Maximum forces during installation when pulling by										
- pulling stocking (kN)	2.3	3.2	4.3	4.3	5.4	6.8	8.3	8.5	8.5	8.5
- pulling-eye (kN)	7.5	10.5	14.3	14.3	18.0	20	20	20	20	20
Minimum bending radii										
- during handling and installation (m)	0.65	0.68	0.73	0.73	0.77	0.82	0.86	0.92	0.92	0.99
- in case of one smooth bending to final position (m)	0.45	0.48	0.51	0.51	0.54	0.57	0.60	0.65	0.65	0.66
Max resistance of conductor at 20 °C (Ω/km)	0.641	0.443	0.320	0.320	0.253	0.206	0.164	0.125	0.125	0.100
Max resistance of metallic screen at 20 °C (Ω/km)	1.2	1.2	1.2	0.8	1.2	0.8	0.8	0.8	0.6	0.6
Inductance per phase (mH/km)	0.37	0.36	0.34	0.34	0.33	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28
Capacitance (µF/km)	0.17	0.19	0.21	0.21	0.23	0.24	0.26	0.29	0.29	0.32
Charging current (A/km)	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2
Earth fault current (A/km) <sup>2</sup>	1.8	2.0	2.3	2.3	2.4	2.7	2.9	3.2	3.2	3.5
Current ratings (according to HD 620 S2 part 10F)										
Cables in ground (15 °C, laying depth 0.7 m, conductor temperature 65 °C, screen circuit closed) (A)	145	175	205	205	230	260	290	340	340	380
Cables in air (25 °C, conductor temperature 90 °C, screen circuit closed) (A)	160	190	230	230	265	305	340	400	400	460
Max 1 second thermal short-circuit current (kA)										
- conductor (temp. at the beginning 90 °C, final temp. 250 °C)	4.7	6.6	8.9	8.9	11.3	14.1	17.4	22.6	22.6	28.3
- metallic screen (temp. at the beginning 80 °C, final temp. 250 °C)	2.4	2.4	2.4	3.7	2.4	3.7	3.7	3.7	5.2	5.2

1) Calculated value, for guidance only

2) Calculated value, U = 20 kV