

Keskijännitekaapeleiden osittaispurkauksien
mittaaminen VLF-tekniikalla

Tuomas Lantto

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkötekniikka

Tekijä	Tuomas Lantto	Vuosi	2015
Ohjaaja	Ins. (AMK), Marko Kukkola		
Toimeksiantaja	Pohjolan Werkonrakennus Oy, Erkki Latola		
Työn nimi	Keskijännitekaapeleiden osittaispurkauksien mittaaminen VLF-tekniikalla		
Sivu- ja liitemäärä	39 + 18		

Opinnäytetyö tehtiin Pohjolan Werkonrakennus Oy:lle. Työn tavoite oli tutkia keskijännitekaapelissa tapahtuvia osittaispurkauksia teoreettisesti sekä niille alttiita vikapaikkoja. Lisäksi tavoitteena oli saada tietoa osittaispurkauksien mittaamisesta VLF-tekniikalla. Työ haluttiin tehdä, koska saksalaiset vaativat tuuli-voimapuistossa jännitekokeen VLF-tekniikalla. Nykypäivänä myös keskijänniteverkkoja kaapeloidaan maahan ja näiden kaapeleiden kuntoa halutaan tutkia. Yrityksen VLF-jännitekoemittariin haluttiin tehdä suomenkieliset pikaohjeet.

Työssä käsiteltiin keskijännitekaapelin rakennetta ja keskijännitekaapelin jatkoissa ja päätteissä tapahtuvia asennusvirheitä. Työssä tarkasteltiin teoreettisesti eristeeseen vaikuttavaa sähkökenttää ja sitä, kuinka sähkökenttää ohjataan keskijännitekaapelin päätteissä ja jatkoissa. Lisäksi työssä tutkittiin keskijännitekaapelin osittaispurkauksia sekä muita vikoja ja kuinka näitä vikoja mitataan.

Työn tutkimisessa käytettiin apuna aiheeseen liittyvää alan kirjallisuutta, keskijännitetarvikkeiden valmistajien ohjeita ja asiantuntijoiden haastatteluja. Tiedonhaku oli haasteellista, koska osittaispurkauksista olevaa kirjallisuutta on vähän suomen kielellä.

Osittaispurkauksista saatiin selville alttiit vikapaikat ja -tyypit. Työssä huomattiin, kuinka kentänohjaus on tarpeellinen keskijännitekaapeissa. Työ antoi käsityksen keskijännitekaapelissa tapahtuvista asennusvirheistä ja siitä, kuinka niitä voidaan tutkia. Työllä saatiin yritykselle tietoutta VLF-mittalaitteista. Yritys sai myös ohjeistuksen siitä, kuinka kaapelille voidaan tehdä laajamittainen kunto-tutkimus ja millaisia laitteita tutkimukseen tarvitaan.

Asiasanat keskijännitekaapeli, osittaispurkaus, VLF-tekniikka, sähkönjakeluverkko, maakaapelit

Industry and Natural Resources
Electrical engineering

Author	Tuomas Lantto	Year	2015
Supervisor	Marko Kukkola, B.Eng		
Commissioned by	Pohjolan Werkonrakennus Oy, Erkki Latola		
Subject of thesis	Partial discharge measurement of medium voltage cables with VLF-technique		
Number of pages	39 + 18		

This bachelor's thesis was done for Pohjolan Werkonrakennus Oy. The purpose of this thesis was to theoretically study partial discharges in medium voltage cables, how they developed and where they occur. The thesis wanted to be done, because German's demanded high-voltage tests using VLF-technique in their wind power station's cables. Secondly nowadays medium voltage networks are been cabled underground and there has been a desire to investigate the condition of these cables. The company wanted information about measuring partial discharges and also instructions in Finnish to their VLF-high-voltage tester.

This thesis discussed the structure of medium voltage cables and installation errors which occur in these cables. Then it considered electric field of medium voltage cables and how electric field is controlled in joints and cable terminals. In addition the thesis investigated medium voltage cable's partial discharges and other errors and how to measure these errors.

This thesis used references from literature about electrotechnics, manufacturer's manuals and expert interviews. There was only a little knowledge about partial discharges in Finnish literature and that was a small problem.

The company got a Finnish user manual for their VLF-high-voltage tester. They also got lot off information about measuring partial discharges and how condition analysis is made for medium voltage cables. This thesis cleared out how and where partial discharges occur. In this thesis it was also found out what kind of installation errors cause partial discharges and how electric field is split in cable terminals. The company got information how to make a widescale condition investigation for medium voltage cables.

Key words medium voltage cable, partial discharge, VLF technique, distribution network, underground cable

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	KESKIJÄNNITEVERKKO	8
3	KESKIJÄNNITEKAAPELI	9
3.1	Keskijännitekaapelin rakenne	9
3.1.1	Eristeet	10
3.1.2	Puolijohtavat rakenteet.....	11
3.1.3	Kosketussuoja	12
4	ERISTE SÄHKÖKENTÄSSÄ	13
5	KESKIJÄNNITEKAAPELIN JATKOT JA PÄÄTTEET	17
5.1	Päätteen ja jatkon kentänjakaumat	18
5.1.1	Jatkon kentänohjaus	18
5.1.2	Päätteen kentänohjaus.....	20
5.2	Päätteissä ja jatkoissa tapahtuvat asennusvirheet	21
6	VESI- JA SÄHKÖPUUT	24
7	OSITTAISPURKAUS	26
7.1	Sisäiset osittaispurkaukset.....	27
7.2	Pintapurkaukset	28
7.3	Koronapurkaukset.....	29
7.4	Osittaispurkausten tarkastelu.....	30
7.5	Osittaispurkausten paikantaminen.....	31
8	OSITTAISPURKAUKSEN MITTAAMINEN KÄYTTÖPAIKALLA	32
8.1	VLF-tekniikka	32
8.2	KPG 36 kV VLF	33
8.3	Muita käyttöpaikalla tehtäviä kaapelin kuntomittauksia.....	34
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	36
	LÄHTEET	37
	LIITTEET	39

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Pohjolan Werkonrakennus Oy:lle. Opinnäytetyön ohjaavana opettajana toimi Marko Kukkola ja työpaikkaohjaajana Erkki Latola. Haluan kiittää heitä molempia arvokkaista teorian ja käytännön tiedoista sekä työn ohjauksesta. Kiitokset myös Enston tekniselle päällikölle Kenneth Väkevälle arvokkaista tiedoista osittaispurkauksista ja VLF-tekniikasta.

Lisäksi haluan kiittää avopuolisoani Marika Seikkulaa suuresta avusta opinnäytetyön oikoluennasta ja tuesta opinnäytetyön aikana.

Oulussa 4.12.2015

Tuomas Lantto

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

°C	celsius
DAC	(damped ac voltage) vaimeneva vaihtojännite
EPR	etyleeni-propyleenikumi eriste
KJ	keskijännite
kV	kilovoltia
Pd	dielektriset tehohäviöt
PE	polyeteenieriste
PEX (XLPE)	ristisilloitettu polyeteenieriste
PVC	polyvinyylidikloridi
q	osittaispurkauksen näennäisvaraus
Tan δ	(tan delta) eristeen häviökerroin
U _e	osittaispurkauksen sammumisjännite
U _i	osittaispurkauksen syttymisjännite
VLF	(very low frequency) erittäin matala taajuus
δ	(loss angle) häviökulma

1 JOHDANTO

Lähitulevaisuudessa keskijänniteverkon avojohtolinjoja korvataan maakaapeileilla. Maakaapelit ovat säävarmempia ilmajohtolinjoihin verrattuna, mutta vian sattuessa maakaapeleiden korjaus on työlästä. Tästä syystä halutaan tutkia maakaapeleiden kuntoa ennen asennuksen käyttöönottoa. Nykyään mitattava eristysvastusmittaus kertoo karkeasti kaapelin kunnon, mutta se ei kerro kaapelissa tapahtuvista osittaispurkauksista mitään.

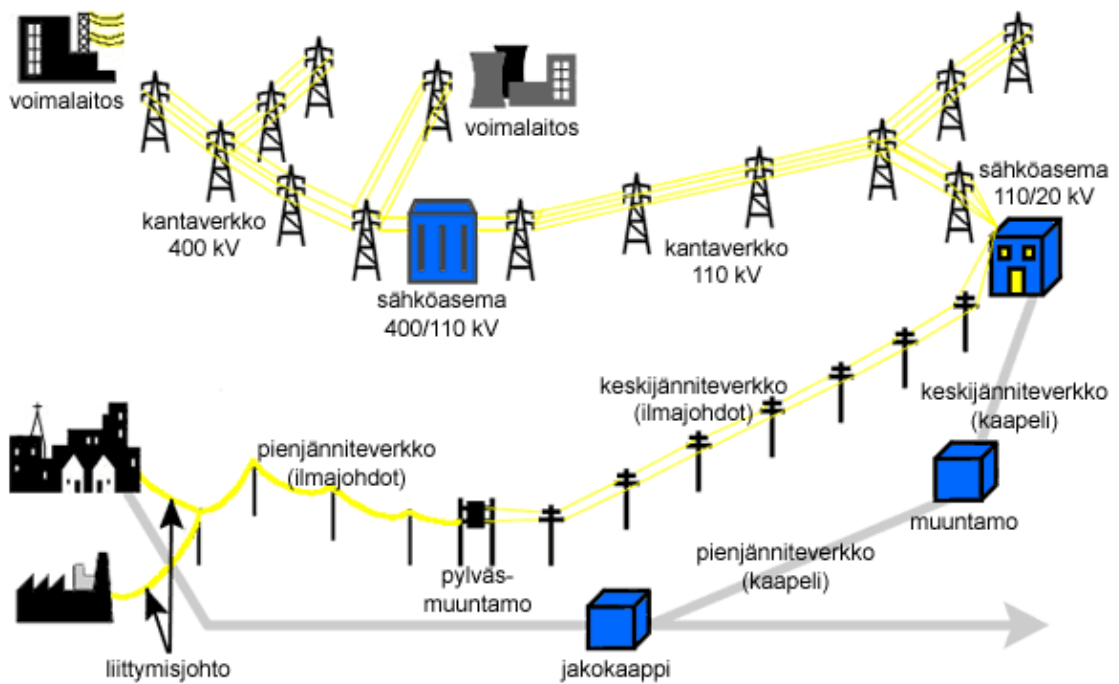
Osittaispurkaukset ovat erittäin vaarallisia erityisesti muovieristeille. Tästä syystä keskijännitekaapelin osittaispurkauksia ja kuntoa halutaan tutkia. Osittaispurkauksia ja kaapelin kuntoa on tutkittu kaapelivalmistajien laboratorioissa jo pitkään, mutta käyttöpaikalla tehtävät mittaukset ovat harvinaisempia. Laajamittainen asennuksen jälkeinen kuntotutkimus keskijännitekaapelille vähentäisi asennuksesta aiheutuvia vikoja. Tekniikan kehittyessä markkinoille on tullut laitteistoja, joilla voidaan tutkia kaapelin kuntoa ja osittaispurkauksia käyttöpaikalla.

Työn tarkoitus on selvittää keskijännitekaapelissa esiintyviä osittaispurkauksia, missä niitä esiintyy ja mikä aiheuttaa osittaispurkaukset. Lisäksi haluttiin yleistä tietoa muista keskijännitekaapelissa tapahtuvista vioista. Asentajille haluttiin antaa lisätietoa osittaispurkauksista ja siitä, kuinka he voisivat omalla toiminnallaan välttää asennuksen johdosta syntyviä osittaispurkauksia. Yritys halusi tietoa VLF-tekniikasta ja sen avulla tehtävistä kuntomittauksista.

Työ käsittelee yleisesti keskijänniteverkkoa ja -kaapeleita sekä niiden rakenteita. Rakenteiden osalta tarkastellaan tarkemmin osittaispurkausten kannalta tärkeitä rakenteita. Työssä tutkitaan keskijännitekaapelin eristeeseen vaikuttavaa sähkökenttää. Lisäksi tarkastellaan keskijännitekaapelissa esiintyviä vikoja ja sitä, millaisilla mittareilla nämä viat havaitaan. Työ keskittyy käsittelemään osittaispurkauksia tarkemmin kuin muita kaapelivikoja.

2 KESKIJÄNNITEVERKKO

Keskijänniteverkko on niin sanottu jakeluverkko. Keskijänniteverkko on kantaverkon ja pienjänniteverkon välissä toimiva verkkotaso. Alla olevassa kuvassa näkyy jakeluverkon periaate (Kuva 1). Suomessa keskijänniteverkossa käytetään yleensä kahta jännitetasoa. Nämä tasot ovat suuruudeltaan 10 kV ja 20 kV. Keskijänniteverkko on yleensä silmukkamainen. Keskijänniteverkkoon kuuluvat mm. siirtoyhteydet, sähköasemat, muuntamot 110/20 kV ja 20/0,4 kV. Siirtoyhteydet tehdään maakaapeloinnilla tai ilmajohtoilla. Ilmajohtoihin kuuluvat avojohtimet sekä päällysteiset johtimet. Sähkönkäyttäjien vaikuttavat käyttökeskeytykset johtuvat 90 prosenttisesti keskijänniteverkossa tapahtuvista vioista. (Lakervi & Partanen 2008, 125.)



Kuva 1. Sähkönjakelun periaate (Pohjois-Karjalan amk, Motiva Oy 2003.)

3 KESKIJÄNNITEKAAPELI

Keskijännitekaapelin etu verrattuna avojohtoon on sen säävarmuus. Keskijännitemaakaapeli on suojassa myrskyiltä, ukkosilta ja lumikuormilta. Keskijännitekaapelin käyttöikäksi on määritelty yli 50 vuotta. Tämä tietenkin edellyttää, että kaapeli on asennettu oikein, oikeita asennusmateriaaleja ja asennustapoja käyttäen. Lisäksi keskijännitemaakaapelin etuna voidaan pitää mm. pientä tilantarvetta luonnossa, pientä häiriötä ympäristölle, jännitteisten osien kosketussuojaa sekä maasulkuvirtojen helppoa havaitsemista. Kaapelilla on maadoitettu kosketussuoja, joten osa maasulkuvirtasta palaa tätä kautta syöttöpisteeseen. Avojohtoilla maasulkuvirta palaa maan kautta, mikä hankaloittaa vian löytymistä. (Elovaara & Haarla 2011, 304–306; Elenia Oy 2015.)

Keskijännitemaakaapelin haittana voidaan pitää korkeita kustannuksia. Kaapelin asennushinta on kallis. Tämä johtuu asennustavoista (kaivaus ja auraus). Toinen suuri kustannus avojohtoihin verrattuna ovat materiaalikustannukset (kaapelit, jatkot ja päätteet). Hinnan lisäksi keskijännitekaapelin haittana voidaan pitää huonompia jäähdytysominaisuuksia ja pitkäaikaisylikuormitettavuusominaisuuksia. Käyttökapasitanssit ovat myös huonoja puolia keskijännitekaapeloinnissa, koska niiden takia kaapelissa syntyy varausvirtaa ja kapasitiivista loistehoa. Kapasitiivisen loistehon kasvaessa kaapelilla siirrettävän pätötehon määrä pienenee. Suuremmilla jännitteillä kapasitiivinen loisteho on vielä suurempi ongelma, jota joudutaan korjaamaan kompensoinnilla tai tasajänniteyhteysillä. (Elovaara & Haarla 2011, 305, 306.)

3.1 Keskijännitekaapelin rakenne

Kaapelien johtimet ovat kuparia tai alumiinia. Alumiinia käytetään yleensä suurilla johdinpoikkipinta-aloilla. Tämä johtuu alumiinin keveydestä ja edullisesta hinnasta. Kaapeli jaetaan kahteen ryhmään eristyksen osalta: muovieristeiset ja öljypaperieristeiset kaapelit. Yksi öljypaperieristeinen kaapelimalli on APY-AKMM, jonka valmistus on lopetettu, mutta sitä esiintyy vielä paljon vanhoissa

asennuksissa. (Elovaara & Haarla 2011, 307, 312–315; Monni 2002, 11, 17–21; Reka kaapeli Oy 2015.)

Nykyään yleisin maahan asennettava keskijännitekaapeli on muovieristeinen AHXAMK-W. Alla olevassa kuvassa näkyy keskijännitekaapeli (Kuva 2). Kaapelin rakenne: 1) johdin, 2) johdinsuoja, 3) eriste, 4) hohtosuoja, 5) vesitiivisyysnauha, 6) kosketussuoja, 7) suojavaippa, 8) keskusköysi. Kaapelin parhaimpina puolina voidaan pitää hyvää veden eristävyttä. Kaapeli on pitkittäin ja poikittain vesitiivis. Poikittain vesitiiveys toteutetaan kosketussuojalla, joka on alumiini-muovilaminaattia. Pitkittäinen vesitiiveys toteutetaan puolijohtavalla nauhalla, joka paisuu veden vaikutuksesta. Keski- ja suurjännitekaapeleissa suurin rakenteellinen ero pienjännitekaapeleihin on puolijohtavat johdin- ja hohtosuoja sekä kosketussuoja. (Elovaara & Haarla 2011, 307, 312–315; Monni 2002, 11, 17–21; Reka kaapeli Oy 2015.)



Kuva 2. AHXAMK-W keskijännitekaapeli (Kuusinen 2010, 13.)

3.1.1 Eristeet

Eristeen tehtävä on antaa kaapelille riittävä jännitekestoisuus ja sen on siirrettävä johtimessa syntyvä häviölämpö pois kaapelista. Kuten aikaisemmin jo totesin, eristeillä on kaksi pääryhmää: muovieristeet ja öljypaperieristeet. Muovieristeet ovat käytännössä syrjäyttäneet öljypaperieristeet. Öljypaperieristeisiä kaapeleita tulee suuremmalta osin vanhoissa asennuksissa. Öljypaperieristys on epähomogeeninen johtuen paperin ja öljyn poikkeavista permittiivisyyksistä. Öljyyn vaikuttaa kaksinkertainen kentänvoimakkuus paperiin verrattuna. Osittaispurkauksia esiintyy myös öljypaperieristeisissä kaapeleissa. Kaapelissa voi olla ilmakuplia, jotka aiheuttavat osittaispurkauksia. Öljy pyrkii tasoittumaan

eristeen sisällä, joten kaapeli korjaa osittain itse itseään ja tästä syystä osittaispurkaukset eivät ole yhtä vaarallisia kuin muovieristeillä. (Aro, Elovaara, Karttunen, Nousiainen & Palva 2003, 149–153; Elovaara & Haarla 2011, 308.)

Nykyisin käytetään erilaisia muovieristeitä. Eristeet koostuvat esimerkiksi polyetyleenistä (PE) ja etyleeni-propyleenikumista (EPR) tai näiden yhdisteistä. Yleisimmät eristeet muovieristeisillä keskijännitekaapeleilla ovat EPR, PE ja PEX. Hyvien vesipuiden estämismominaisuuksien takia EPR-eristettä odotettiin yleistyvän PE-eristettä paremmin, mutta näin ei käynyt. PEX-eriste on paranneltu PE-eristeestä ristosilloittamalla. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että muovin sulamispiste on saatu korkeammaksi. Tästä johtuen PEX-eristettä voidaan käyttää jatkuvasti 90 °C:een käyttölämpötilassa ja hetkellisesti jopa 130 °C:een käyttölämpötilassa. PEX-eriste on homogeeninen. Muovieristeet eivät kestä osittaispurkauksia, eivätkä pysty korjaamaan itseään samalla tavalla kuin öljypaperieristeet. (Aro ym. 2003, 149–153; Elovaara & Haarla 2011, 58, 308.)

3.1.2 Puolijohtavat rakenteet

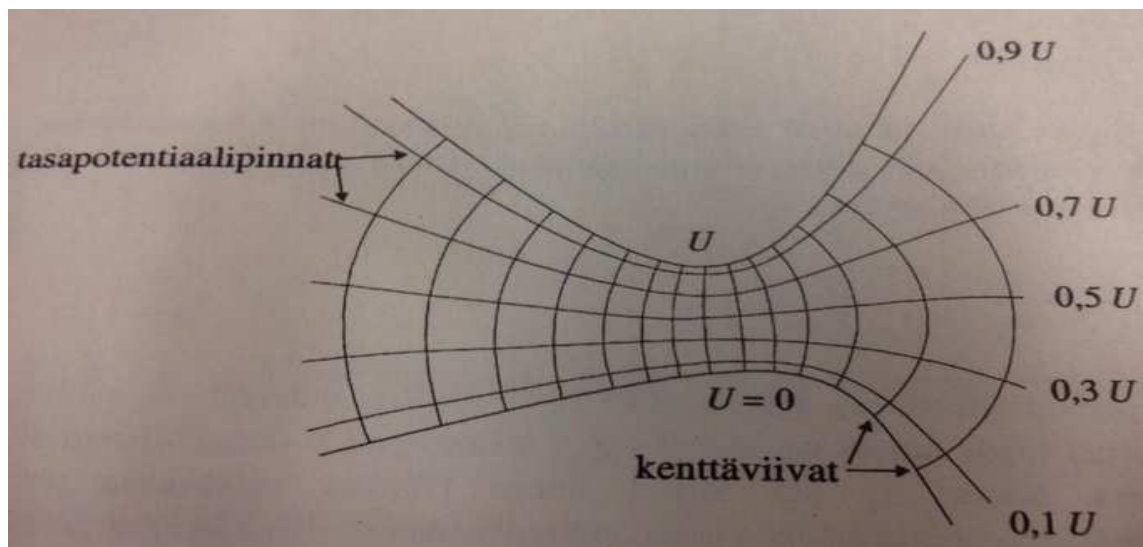
Kaapelin tärkeimpiä ominaisuuksia osittaispurkausten ehkäisyn osalta ovat johdinsuoja ja hohtosuoja. Johdinsuoja sijaitsee johtimen ja eristeen välissä. Johdinsuoja on puolijohtavaa materiaalia. Johdinsuojan tarkoitus on poistaa johtimen epätasaisuudet ja pienentää kentänvoimakkuushuippuja. Johdinsuojan tarpeellisuus riippuu käyttöjännitteestä ja eristemateriaalista. Johdinsuoja täytyy olla polyeteenikaapeleissa jo 6 kV jännitteellä, PVC:llä 10 kV ja öljypaperilla 20 kV. Osittaispurkausten osalta johdinsuoja on välttämätön keskijännitekaapeleilla. Kaapelin valmistuksessa jää luonnostaan eristeeseen kaasunteloita, joissa osittaispurkaukset syttyvät. Hohtosuojan tarkoitus on rajata yhdessä johdinsuojan kanssa johtimen sähkökenttä kahden sylinteripinnan väliin. Hohtosuoja on materiaaliltaan puolijohtavaa. Hohtosuojan pitää olla hyvin kiinni eristeessä, jotta ei tapahdu haitallisia osittaispurkauksia. (Elovaara & Haarla 2011, 307–310.)

3.1.3 Kosketussuoja

Kosketussuojan tarkoitus on toimia varaus- ja vikavirtojen kulkutienä. Kaapelintyyppi ja käyttötarkoitus vaikuttavat kosketussuojanrakenteisiin. Kosketussuoja voi olla koko kaapelilla yhteinen tai jokaisella vaiheella voi olla oma kosketussuoja. Tämä riippuu kaapelin mallista. Lyijyä, kuparia, alumiinia ja terästä voidaan käyttää kosketussuojan raaka-aineena. AHXAMK-W-kaapelissa kosketussuoja yhtenäinen alumiini-muovilaminaatti, joka toimii myös veden eristyksenä. (Elovaara & Haarla 2011, 310–311; Monni 2003, 17–22).

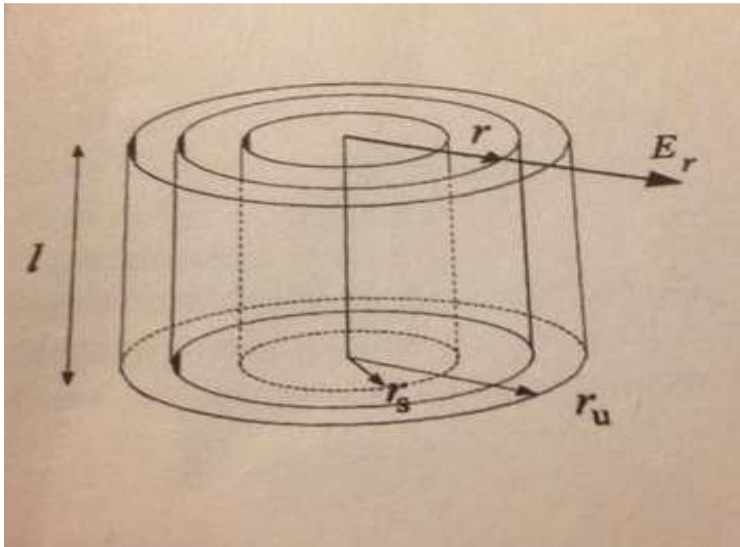
4 ERISTE SÄHKÖKENTÄSSÄ

Sähkökenttä syntyy kahden elektrodin väliin. Eristeen ollessa elektrodien välissä sähkövaraukset eivät pysty liikkumaan, joten sähkökentällä on potentiaalienergiaa. Sähkökentän jakaumaa voidaan kuvata kenttäviivoilla ja tasapotentiaalipinnoilla (Kuva 3). Keskijännitekaapeleilla sama ilmiö esiintyy johtimen ja hohtosuojan välillä. Keskijännitekaapelin tapauksessa johdin on tasapotentiaalipinta. Lähimpänä johdinta olevaan eristysrakenteeseen kohdistuu suurin kentänvoimakkuus. Eristysrakenteella on tietty jännitelujuus eli läpilyöntilujuus. Sähkökentän voimakkuuden ylittäessä eristeen jännitelujuus tapahtuu läpilyönti tai osittaispurkauksia. (Aro ym. 2003, 19, 21; Elovaara & Haarla 2011, 41.)



Kuva 3. Erään elektrodivälin kentänjakauma (Aro ym. 2003, 19.)

Laskettaessa kaapelin kentänvoimakkuuksia voidaan hyödyntää lieriökondensaattorin laskentatapoja. Tämä johtuu kaapelin ja lieriökondensaattorin samankaltaisista rakenteista. Kuvassa näkyy lieriökondensaattorin rakenne (Kuva 4). (Aro ym. 2003, 35.)



Kuva 4. Lieriökondensaattori (Aro ym. 2003, 35.)

Kaapelin sisäelektrodin pinnalla (r_s) esiintyy kentänvoimakkuuden suurin arvo. Se voidaan laskea kaavalla (Kaava 1). (Aro ym. 2003, 35, 36.)

$$E_{max} = \frac{U_0}{r_s \times \ln \frac{r_u}{r_s}} \quad (1)$$

missä

E_{max}	on	maksimikentänvoimakkuus [kV/mm]
U_0	on	kaapelin vaihejännite [kV]
r_u	on	ulkoelektrodin säde (hohtosuojan) säde [mm]
r_s	on	sisäelektrodin (johtimen) säde [mm]

Sisäelektrodin pinnalla (r_s) vaikuttavan maksimikentänvoimakkuuden (E_{max}) ollessa suurempi kuin eristeen läpilyöntilujuus (E_b) tapahtuu läpilyönti tai elektrodin pinnalla ilmenee osittaispurkauksia. Seuraavalla kaavalla voidaan laskea eristysrakenteen maksimijännite (U_b). Jännitettä (U_b) suuremmilla arvoilla alkaa eristerakenteessa syntyä osittaispurkauksia tai tapahtua läpilyönti (Kaava 2). (Aro ym. 2003, 36.)

$$U_b = E_b \times r_s \times \ln \frac{r_u}{r_s} \quad (2)$$

missä

U_b	on	eristerakenteen maksimijännite [kV]
E_b	on	eristeen läpilyöntilujuus [kV/mm]

r_u	on	ulkoelektrodin (hohtosuojan) säde [mm]
r_s	on	sisäelektrodin (johtimen) säde [mm]

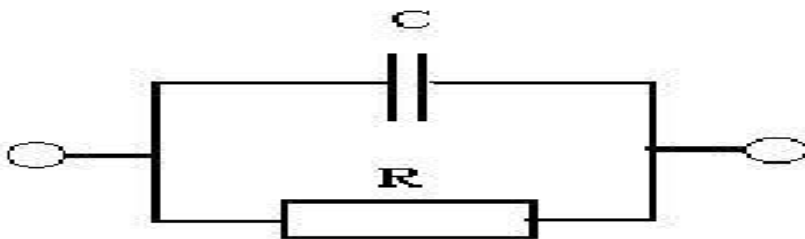
Johdinsuojan ja hohtosuojan välisen sylinteripinnan jossakin kohdassa olevaa kenttävoimakkuutta voidaan tarkastella kaavalla (Kaava 3). Kyseistä kaavaa käytettäessä eristeen täytyy olla homogeeninen. Laskennassa voidaan hyödyntää lieriökondensaattorin rakennetta (Kuva 4). (Elovaara & Haarla 2011, 309, 310.)

$$E(r) = \frac{U_0}{r \times \ln \frac{r_u}{r_s}} \quad (3)$$

missä

$E(r)$	on	kentänvoimakkuus kohdassa r [kV/mm]
U_0	on	kaapelin vaihejännite [kV]
r	on	keskiviivalta laskettu etäisyys [mm]
r_u	on	ulkoelektrodin (hohtosuojan) säde [mm]
r_s	on	sisäelektrodin (johtimen) säde [mm]

Eristeeseen syntyy tehohäviöitä vaihtojännitekentässä. Häviöitä kutsutaan dielektriseksi häviöiksi (**dielectric dissipation factor**). Häviöt johtuvat mm. molekyylikitkasta ja eristeen johtavuudesta. Eristeen sijaiskytkentänä voidaan ajatella vaihtojännitteellä kapasitanssin ja resistanssin rinnankytkentänä (Kuva 5). (Aro ym. 2003, 51.)



Kuva 5. Eristeen sijaiskytkentä (Aro ym. 2003, 51.)

Eristeen huono kunto näkyy yleensä dielektrisen häviöiden kasvuna. Mittauksissa käytetään apuna eristeen häviökerrointa ($\tan \delta$). Häviökerroin kertoo kapasitiivisen loistehon (Q_c) ja dielektrisen häviöiden (P_d) välisestä suhteesta. Laskennallisesti tämä voidaan toteuttaa kaavalla (Kaava 4). (Aro ym. 2003, 53.)

$$\tan\delta = \frac{P_d}{Q_c} \quad (4)$$

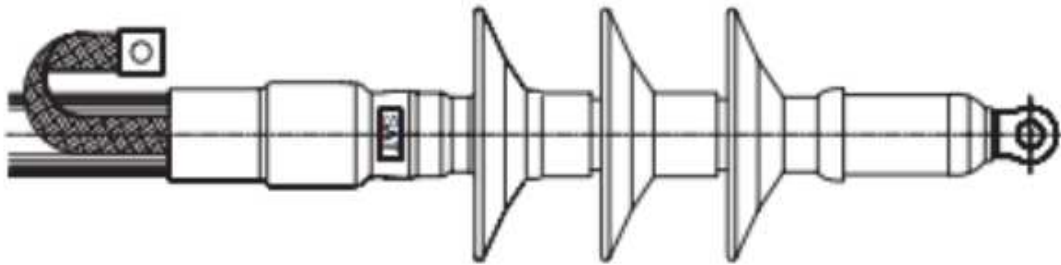
missä

$\tan\delta$	on	häviökerroin
P_d	on	dielektriset häviöt
Q_c	on	kapasitiivinen loisteho

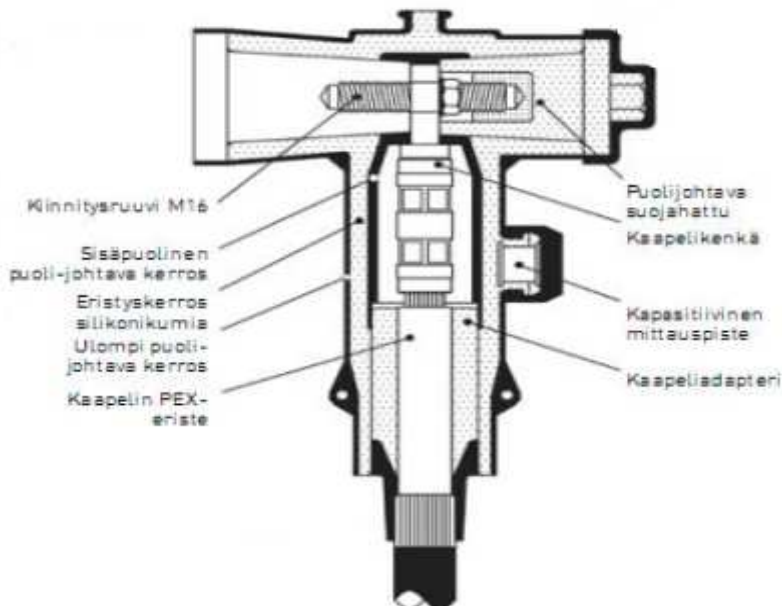
Eristeen ero ideaaliseen eristeeseen kerrotaan häviökulman avulla (δ). Liian suuri häviökerroin ja suuret dielektriset tehohäviöt aiheuttavat kaapelin kuumentamista. Pahimmassa tapauksessa eristeen kuumentaminen aiheuttaa jopa koko eristyksen termisen läpilyönnin. (Aro ym. 2003, 51–53,191.)

5 KESKIJÄNNITEKAAPELIN JATKOT JA PÄÄTTEET

Keskijännitekaapelien jatkojen tehtävänä on yhdistää kaksi kaapelia. Jatkokohdissa kaapelityyppi voi vaihtua tai jatkua samalla kaapelilla. Jatkon tulee mukaila kaapelin oikeaa rakennetta. Jatkoja asennetaan useasti maahan, joten niiden tulee eristää hyvin kosteutta vastaan. Nykyisin keskijännitekaapelien jatkoja tehdään lämpökutistejatkoksilla tai kylmäkutistejatkoksilla. Sellaisissa tiloissa, joissa ei voi tehdä tulitöitä on hyvä käyttää kylmäkutisteita. (Monni 2002, 40.)



Kuva 6. Lämpökutisteinen ulkopäätte (Kuusinen 2010, 20.)



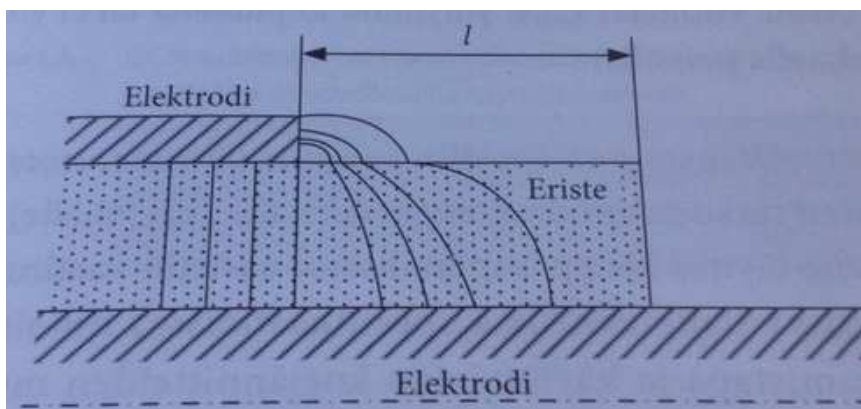
Kuva 7. Kosketussuojattu kulmapistokepäätte (Kuusinen 2010, 22.)

Päätteillä yhdistetään kaapelit muuntamoihin, ilmajohtoihin tai kytkinlaitokseen. Päätteitä on sisä- ja ulkopäätteitä, jotka eroavat toisistaan mm. laippojen ja ve-

den eristyksen osalta (Kuva 6). Nykyisin käytettävät päätteet on lämpö- tai kylmäkutistepäätteitä. Vanhoissa asennuksissa voidaan nähdä keila- ja posliinipäätteitä. Ahtaissa tiloissa ja SF₆-kojeistoissa käytetään kosketussuojattua pistokepäätettä (Kuva 7). Kosketussuojattua pistokepäätettä voidaan asentaa pieneen fysikaaliseen tilaan ja jännitteiset osat ovat hyvin suojattuja. (Monni 2002, 36–39.)

5.1 Päänteen ja jatkon kentänjakaumat

Keskijännitekaapelin kentänjakauma muuttuu jatkojen ja päätteiden kohdalla. Tästä syystä jatkoissa ja päätteissä tehdään kentänohjausta. Päänteessä erityisesti ongelmana on se, että jännitteinen elektrodi jatkuu (johdin) ja maadoitettu elektrodi päättyy (hohtosuoja). Ilman kentänohjausta eristeen ja maadoitetun elektrodin rajapintaan syntyy kentänjakauman vääristymiä ja tihentymiä (Kuva 8). Tihentymät synnyttävät paikallisia kentänvoimakkuushuippuja, jotka aiheuttavat liukupurkauksia. Liukupurkauksia käsitellään tarkemmin kappaleessa (7.2). Keskijännitteellä kentänohjaus voidaan toteuttaa elektrodimuotoa muotoilemalla, permittiviteetti eroon perustuvalla ohjauksella tai resistiiviskapasiitiivisella ohjauksella. (Aro ym. 2003, 154–156; Elovaara & Haarla 2011, 327–330.)

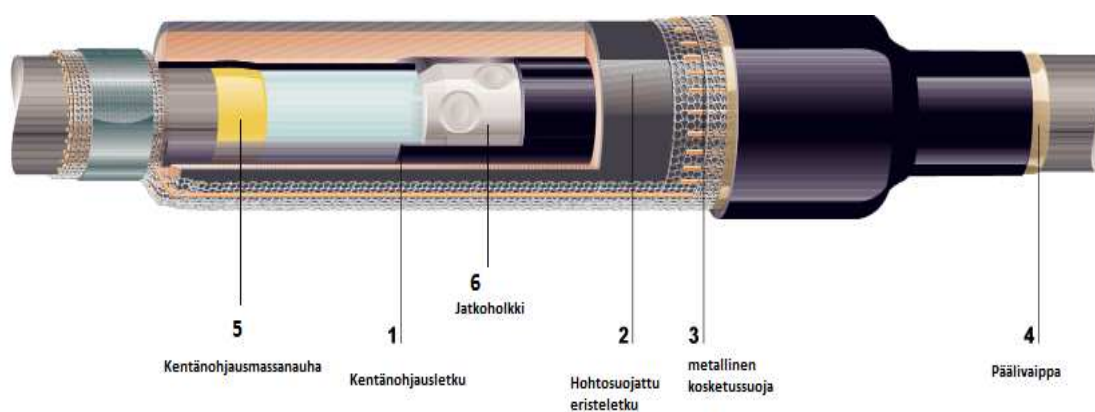


Kuva 8. Liukupurkausrakenne (Elovaara & Haarla 2011, 61.)

5.1.1 Jatkon kentänohjaus

Jatkossa maadoitettu elektrodi jatkuu. Näin ollen jatkon tulee mukaila kaapelin rakennetta. Jatkoissa kentänohjaus toteutetaan samalla tyylillä kuin päätteissä.

Erona kuitenkin on hohtosuojan ja sähkökentän jatkuminen. Jatkon ongelma on pitkittäiset sähköiset rasiutukset, koska kaapelissa esiintyy vain säteen suuntaisia rasiutuksia. Jatkon rakenne koostuu erilaisista kerroksista. Kylmäkutistejatkossa kerrokset ovat jatkorungon sisällä. Lämpökutistejatkossa kerrokset koostuvat eri kutisteletkuista. Kerrokset ovat eristäviä, kentänohjaavia tai puoli-johtavia. Jatkoholkin rakenne on lieriömäinen ja sen päät on pyöristetty, jotta ei tapahtuisi kentänvoimakkuus huippuja. Alla olevassa kuvassa jatkon rakenne (Kuva 9). (Elovaara & Haarla 2011, 330; Monni 2002, 40.)



Kuva 9. Keskijännitekaapelin jatko (Tyco Electronics 2004, 9.)

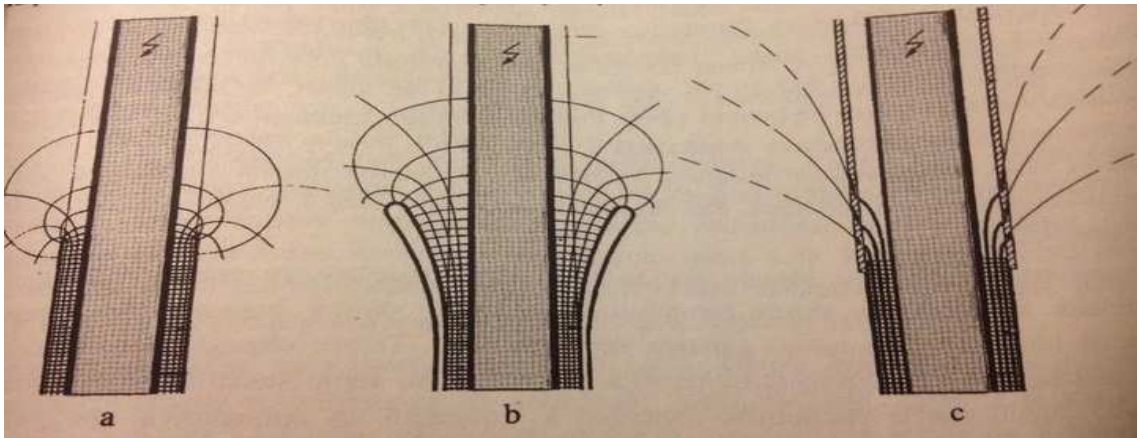


Kuva 10. Ensto HJW11-jatkopaketti (Ensto Oy 2015.)

Enston HJW11-jatkopaketissa on AHXAMK-W-kaapelin jatkotarvikkeet. Tarkastellaan jatkopaketin kutisteletkuja tarkemmin. Jatkon kentänohjausletkun sisäpuoli on musta ja se toimii kentänohjauksena. Kentänohjaus toteutetaan permittiviteetti erolla, joten letkussa on useampia eri permittiviteetin omaavia kerroksia. Kentänohjausletkun ulompi osa on punainen ja se toimii eristeenä. Tämän

päälle tulee eristävä/puolijohtava letku. Sisäpuoli letkussa on punainen ja se toimii eristeenä. Ulompi osa on musta ja se toimii hohtosuojana eli on puolijohdavaa. Puolijohtavan pinnan päälle tulee metallinen kosketussuoja. Kosketussuojan päälle tulee vaippaletku. Edellä olevassa kuvassa näkyy jatkopaketin tarvikkeet (Kuva 10). (Kylliäinen 2015.)

5.1.2 Päättien kentänohjaus



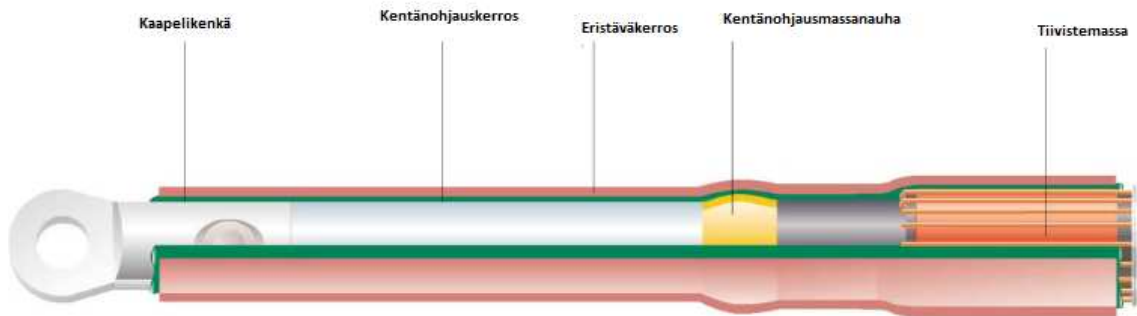
Kuva 11. Kaapelipäättien kentänjakaumia (Aro ym. 2003, 155.)

Yllä olevassa kuvassa näkyy päätteiden sähkökentänjakaumat (Kuva 11).

Kentänohjauksien kentänjakaumat ovat kuvan kohdissa seuraavat:

- a) kentänohjausta ei ole ollenkaan
- b) kohdassa kentänohjaus on suoritettu elektrodimuodolla,
- c) kohdassa ohjaus toteutettu eristeen permittiviteettien eroilla.

Resistiiviskapasiivisessa ohjauksessa sähkökenttää ohjataan eristeen päälle laitettavan resistiivisen kerroksen avulla. Resitiivisen kerroksen ja johtimen välille syntyy kapasitanssia. Yhdessä resistiivisyys ja kapasitanssi ohjaavat sähkökenttää. Resistiiviskapasiivisessä kentänohjauksessa on ongelmana taajuus ja eri jännitetasot. Tämä tarkoittaa sitä, että jokaiselle jännitetasolle pitäisi tehdä erilainen kentänohjaus, koska taajuus ja jännite vaikuttavat resistanssien ja kapasitanssien arvoihin. Lisäksi tasajännite testaukset voisi vahingoittaa resistiiviskapasiivistä kentänohjausta. (Aro ym. 2003, 155,156; Väkeväinen 2015.)



Kuva 12. Lämpökutistepäätteen rakenne (Tyco Electronics 2004, 8.)

Enston lämpökutistepäätteissä kentänohjaus suoritetaan kentänohjausletkuilla (Kuva 12). Kentänohjaus perustuu permittiviteetin eroon (refractive stress control). Kentänohjausmassanauhan tarkoituksena on tasata eristeen ja hohotosuojan väli, jotta kentänohjausletku kutistuu tasaisesti, eikä koloja ja rakoja jää. Elektrodimuodolla ohjattua kentänohjausta käytetään pistokepäätteissä, kylmäkutistepäätteissä ja -jatkoissa. (Väkeväinen 2015.)

5.2 Päätteissä ja jatkoissa tapahtuvat asennusvirheet

Yleisimmät vikakohtat keskijännitekaapelissa ovat jatkot ja päätteet. Näissä kohdissa tapahtuu osittaispurkauksia, jotka ajan kuluessa johtavat läpilyöntiin ja päätteen tai jatkon hajoamiseen. Kaapelin jatkon tai päätteen tekemisessä tulee huolehtia puhtaudesta ja oikeista asennustavoista, materiaaleista ja valmistajan antamista ohjeista. Kaapelin jatkossa tai päätteessä tulee huolehtia myös oikeista mitoista. Seuraavaksi käsitellään tärkeitä työvaiheita osittaispurkausten ja vesi- ja sähköpuiden osalta. Osittaispurkauksista kerrotaan tarkemmin kappaleessa 7 ja vesi- ja sähköpuista kappaleessa 6. (Aro ym. 2003, 154, 155; Monni 2002, 41–45.)



Kuva 13. Hohtosuojan poisto sorvaamalla (Kuusinen 2010, 26.)

Hohtosuojan poisto. Hohtosuojan poiston yhteydessä tulee huolehtia, että eristettä ei lähde liikaa (Kuva 13). Eristeen pinnan täytyy olla tasainen, puhdas ja pintaan ei saa jäädä hohtosuojaa. Eristeen pintaan jäänyt hohtosuoja poistetaan lasipalასella. Eristettä täytyy hioa, vaikka hohtosuoja poistetaan sähköisellä sorvilla. Eristeen epätasaisuudet ja sen pinnalle jäävät epäpuhtaudet aiheuttavat sähköpuita ja osittaispurkauksia. (Lindberg 2000; Lindberg 2014; Monni 2002, 41–45; Väkeväinen 2015.)

Kentänohjausmassan asennus. Eristeen ja puolijohtavan hohtosuojan kohtaan tulee kentänohjausmassa. Massanauhaa tulee asentaa venyttämällä noin puolet pidemmäksi kuin alkuperäinen pituus. Kentänohjausmassanauhan on tarkoitus tasoittaa eristeen ja hohtosuojan rajakohta, jotta kentänohjausletku kutistuu tasaisesti ja rajakohtaan ei jää ilmarakoja. Pistokepäätteissä ja kylmäkutisteissa ei välttämättä ole kentänohjausmassaa. Tämä riippuu valmistajasta. (Lindberg 2000; Lindberg 2014; Monni 2002, 41–45.)

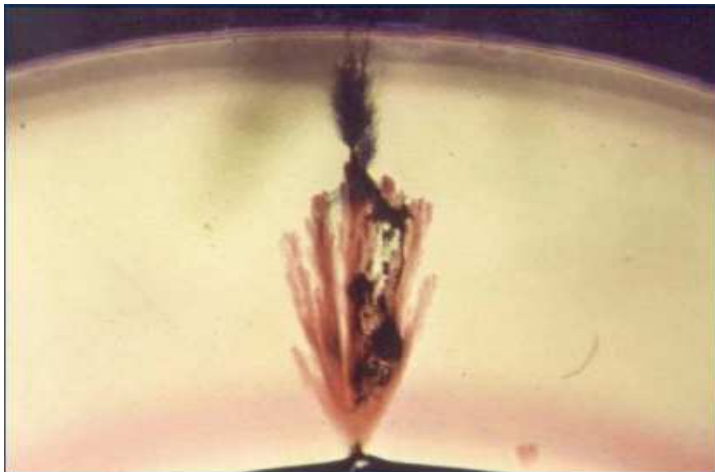
Kentänohjauksen asennus. Eristeen ja kentänohjausmassan päälle tulee kentänohjausletku tai kentänohjausadapteri. Eristeen ja sen päälle asennettavan kentänohjausletkun täytyy olla puhdas. Kentänohjausletkun asennuksessa ei saa jäädä ilmarakoja eristeen ja letkun väliin. Ilmaraot ja epäpuhtaudet kentänohjausletkussa aiheuttavat sähköpuita ja osittaispurkauksia. (Lindberg 2000; Lindberg 2014; Monni 2002, 41–45.)

Jatkoholkin asennus. Jatkoholkissa ei saa olla teräviä kulmia, jotta ei tule kentänvoimakkuushuippuja. Jatkoholkin asennuksessa tulee puristuksen ja ruuviliitoksen johdosta koloja ja teräviä kulmia. Kolot täytyy täyttää ja terävät kulmat pitää tasoittaa hiomalla. Kolot aiheuttavat osittaispurkauksia ja kentänvoimakkuushuippujen lisäksi terävät kulmat rikkovat päällysmateriaaleja. Jatkoholkin päälle tulee kentänohjausmassa, jonka asennuksessa noudatetaan valmistajan ohjeita. Ohjeet ovat samantyyppiset kuin hohtosuojan ja eristeen välisen kentänohjausmassa asennuksessa. Kentänohjausmassanauhan asennuksessa tulee välttää ilmarakoja. (Lindberg 2000; Lindberg 2014; Monni 2002, 41–45.)

Kaapelikengän asennus. Kaapelikengässä terävät kulmat tulee hioa ja kolot täyttää. Ruuvikaapelikengissä kolot ja epätasaisuudet tasataan täytemassalla. Puristettavissa kaapelikengissä voi joillakin valmistajilla riittää kolojen täyttämiseen lämpökutisteen pinnoite. Tämä koskee vain sisäpäätteitä ja tällaisissa tapauksissa tulee varmistaa, että pinnoite leviää kaikkialle. Varmistus saadaan sillä, että pinnoite pursuaa kutisteen alta. Etenkin ulkopäätteissä tulee muistaa asentaa kaapelikengän päähän tiivistysmassa. Tiivistysmassan tehtävänä on luoda vesitiiveys. (Lindberg 2000; Lindberg 2014; Monni 2002, 41–45.)

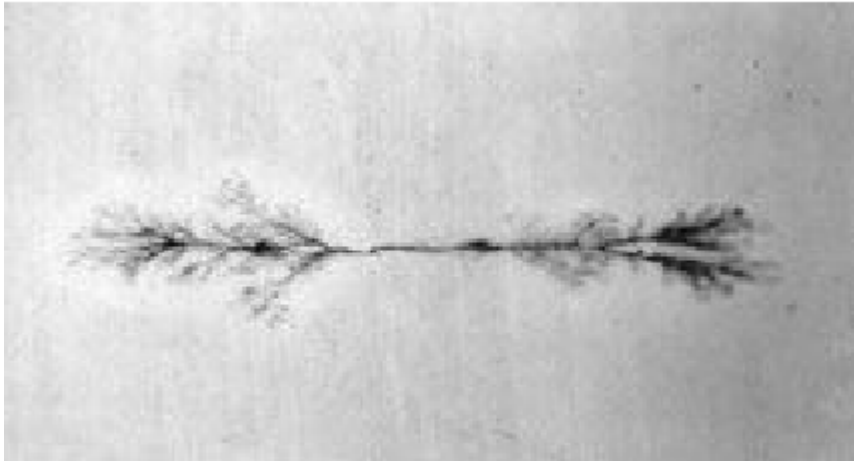
6 VESI- JA SÄHKÖPUUT

Valmistuksen tai asennuksen aikana eristeeseen päässyt kosteus aiheuttaa vesipuita (Kuva 14). Vedeltä suojattuunkin kaapeliin voi päästä vettä kaapeli-vaurioiden takia. Vesipuu on eristeessä sähkökentän suuntaan kasvava purkaus, joka muistuttaa puuta. Vesipuut voivat kasvaa puolijohtavasta aineesta eristeeseen päin (*vented trees*) tai vesipuu voi lähteä kasvamaan, myös keskeltä eristettä (*bow-tie trees*). Vesipuun kasvuun vaikuttaa purkauksissa syntyvä kaasu. Jos purkauskanavassa oleva kaasu pääsee poistumaan, jatkaa vesipuu kasvamistaan. Lopulta vesipuu lävistää eristeen, joka johtaa läpilyöntiin. (Aro ym. 2003, 156, 157.)



Kuva 14. Vesipuu eristeessä (Estola 2010, 10)

Purkaukset vähenevät, jos kaasu ei pääse poistumaan kanavasta. Tämä johtuu siitä, että kanavassa paine kasvaa ja tällöin Paschenin lain mukaan sähkönlujuuskin kasvaa. Mikäli eriste voidaan kuivata, vesipuun kasvaminen pysähtyy. Yhtenäinen kosketussuoja suojaa kaapelia veden diffundoitumiselta. Vesipuita ei havaita osittaispurkausmittauksilla, joten kaapeli täytyy mitata dielektrisellä vasteella. Ilmiön syntymistä voidaan välttää käyttämällä jatkojen ja päätteiden tekemisessä kosteuseristettyjä materiaaleja ja kuivaa asennusympäristöä. (Aro ym. 2003, 156, 157.)

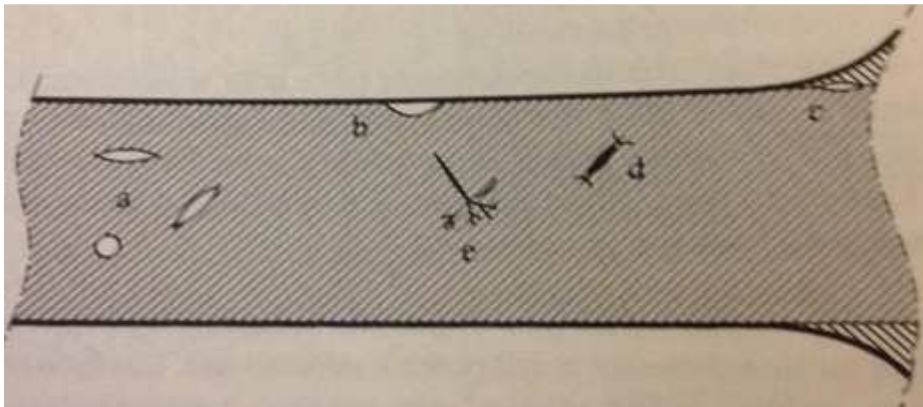


Kuva 15. Eristeen pinnalla sähköpuu (Estola 2010, 11.)

Pitkällä aikavälillä osittaispurkaukset voivat vaurioittaa eristettä aiheuttaen sähköpuun. Sähköpuu on puumainen eroosiojälki, joka kasvaa eristeen läpi ja aiheuttaa lopulta läpilyönnin (Kuva 15). Sähköpuu voi syntyä elektrodeilla olevista johtavista epäpuhtauksista tai epätasaisuuksista. Epäpuhtauksilla on erilainen permittiivisyys kuin eristeellä. Elektrodin ja eristeen rajapinnalla voi esiintyä sähköpuita, jotka etenevät eristeen pintaa pitkin. (Aro ym. 2003, 126.)

7 OSITTAISPURKAUS

Osittaispurkaus tunnetaan englanninkielessä nimellä (*partial discharge*). Osittaispurkaus on pieni sähköinen purkaus, joka ei oikosulje elektrodiväliä. Eristeeseen vaikuttavan sähkökentän voimakkuuden ylittäessä eristeen sähkönlujuuden syntyy osittaispurkauksia. Osittaispurkauksia esiintyy seuraavilla jännitteillä: vaihto-, tasa-, ja syöksyjännitteillä. Eristeaineet, joissa osittaispurkauksia voi esiintyä, ovat nesteet, kaasut, kiinteät eristeaineet ja niiden rajapinnat. Vaihtojännitteellä osittaispurkaukset toistuvat joka jaksolla. Tästä syystä osittaispurkauksien merkitys on suurin vaihtojännitteellä. Osittaispurkaukset jaetaan kolmeen ryhmään: pintapurkauksiin, sisäisiin purkauksiin ja koronapurkauksiin. Tavallisesti osittaispurkaukset ovat pieniä, mutta ne voivat vaikuttaa eristeen elinikään. Muovieristeet ovat herkkiä osittaispurkauksille, eikä niissä voi sallia merkittäviä purkauksia. (Aro ym. 2003, 76.)



Kuva 16. Osittaispurkauksille alttiit vikapaikat eristeessä (Aro ym. 2003, 76.)

Osittaispurkauksia esiintyy eristeessä eri paikoissa (Kuva 16).

Eristeessä alttiit vikapaikat osittaispurkausten kannalta ovat:

- a) sisäiset kaasuontelot
- b) ontelot eristeen ja elektrodin rajapinnalla
- c) ontelo eristeiden rajapinnalla
- d) eristeessä olevan vieraan hiukkasen ja eristeen rajapinnat,
- e) kehittyneet sähköpuut.

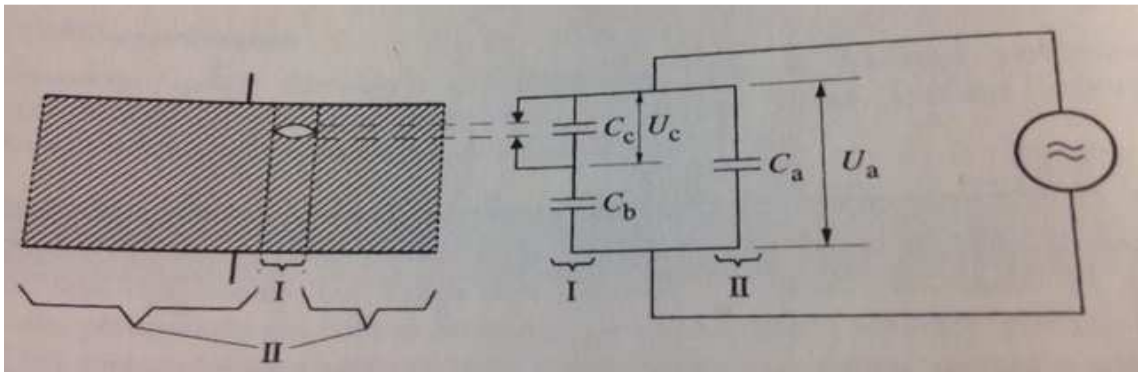
7.1 Sisäiset osittaispurkaukset

Vaihtojännitteellä tapahtuu sisäisiä osittaispurkauksia eli ontelopurkauksia. Ontelopurkauksen perusilmiötä ja -suureita voidaan mallintaa yksinkertaisen eristysrakenteen avulla. Kyseistä mallia kutsutaan kolmikapasitanssimalliksi (Kuva 17). Pienissä onkaloissa osittaispurkaukset tapahtuvat nopeasti. Tästä syystä ulkoinen piiri ei kerkiä vaikuttaa ilmiöön. Rakennetta voidaan tämän takia kuvata kolmikapasitanssimallilla. C_a on eristysrakeen loppuosan kapasitanssi, C_b on ontelon kanssa sarjassa olevan eristeen kapasitanssi ja C_c on ontelon kapasitanssi. Laskennallisesti ontelon yli vaikuttavaa jännitettä voidaan tarkastella kaavalla (Kaava 5). (Aro ym. 2003, 77–80.)

$$U_c = \frac{C_b}{C_b + C_c} \times U_a \quad (5)$$

missä

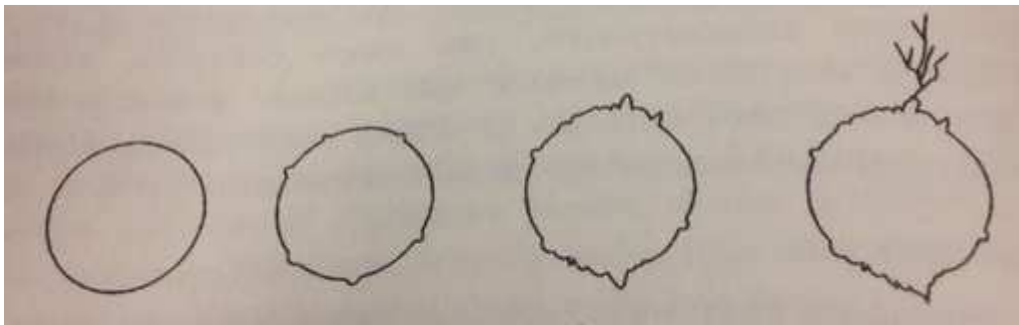
U_a	on	eristysrakenteeseen yli vaikuttava jännite [kV]
U_c	on	ontelon yli vaikuttava jännite [kV]
C_b	on	ontelon kanssa sarjassa olevan eristeen kapasitanssi [μF]
C_c	on	ontelon kapasitanssi [μF]



Kuva 17. Eristeessä oleva ontelo ja kolmikapasitanssimalli (Aro ym. 2003, 78.)

Eristeessä esiintyvien onteloiden ja kaasukuilien jännitelujuus on pienempi verrattuna ympäröivään eristykseen ja ontelossa olevan aineen (kaasu) permittiviteetti on erilainen kuin eristeen. Tämän takia ontelon jänniterasitus on suurempi kuin ympäröivässä eristeessä. Sähkökentän voimakkuuden ylittäessä ontelon

jännitelujuuden tapahtuu osittaispurkauksia. Ontelon seinämissä tapahtuu eroosiota, kun purkauksen vapauttamat positiiviset ionit ja elektronit törmäävät ontelon seinämiin (Kuva 18). Purkaus aiheuttaa myös kemiallisia yhdisteitä, jotka heikentävät eristettä. Ontelon seinämillä olevat epätasaisuudet ja ulokkeet voivat aiheuttaa sähkökentän tihentymiä. Epätasaisuuksiin ja ulokkeisiin keskittyneet purkaukset voivat tuhota eristettä lisää ja synnyttää sähköpuun. (Aro ym. 2003, 126.)

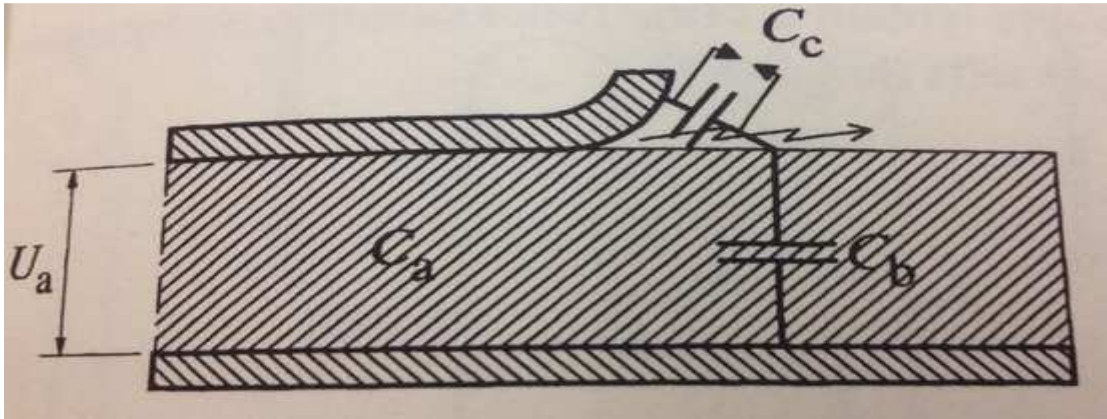


Kuva 18. Osittaispurkausontelossa etenevä eroosio (Aro ym. 2003, 126.)

Ontelossa syntyvän osittaispurkauksen kehittyminen läpilyönniksi voidaan jakaa kolmeen aika-alueeseen. Alkuun ontelon seinämillä tapahtuu hidasta ja melko tasaista vaurioitumista osittaispurkausten johdosta. Seuraavaksi osittaispurkaukset alkavat vioittaa tiettyjä kohtia enemmän aiheuttaen syvennyksiä. Lopuksi syvennyksistä kehittyä sähköpuita, jotka kasvavat ja aiheuttavat läpilyönnin (Kuva 18). Tälle tapahtumasarjalle on vaikea arvioida kokonaisaikaa, johtuen mm. purkauksien suuruudesta (Aro ym. 2003, 181.)

7.2 Pintapurkaukset

Vaihtojännitteellä pintapurkaukset voivat syntyä voimakkaassa eristepinnan suuntaisessa sähkökentässä. Pintapurkauksia voidaan mallintaa kolmikapasitanssimallilla. Erona ontelon kolmikapasitanssimalliin C_c on voimakkaan sähkökentän alueen kapasitanssi (Kuva 19). (Aro ym. 2003, 81.)

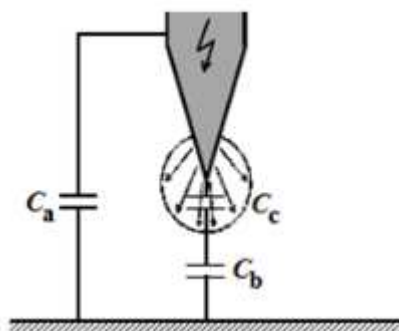


Kuva 19. Pintapurkauksen kolmikapasitanssimalli (Aro ym. 2003, 81.)

Liukupurkaukset ovat yksi pintapurkauksen erittäin haitallinen muoto. Purkauksen kulkiessa eristeen pintaa pitkin kohti toista elektroodia on liukupurkaus. Liukupurkaukset syntyvät eristeiden rajapinnoilla. Liukupurkaukset ovat suuri ongelma läpivientieristeissä ja kaapelipääteissä. Eristeiden rajapinnassa esiintyy kentänvoimakkuuden tihentymiä ja huippuja. Ilmalla on eristettä pienempi permittiviteetti ja jännitelujuus. Tästä johtuen alhaisemmillä jännitteillä kentänvoimakkuus ylittää ilman jännitelujuuden ja aiheuttaa osittaispurkauksia. Jännitteen kasvaessa osittaispurkaus kehittyy liukupurkaukseksi. Sähkökentän jakauma muuttuu liukupurkauksen aikana ja voi johtaa koko eristysrakenteen ylilyöntiin. (Aro ym. 2003, 81, 82; Elovaara & Haarla 2011, 60, 61.)

7.3 Koronapurkaukset

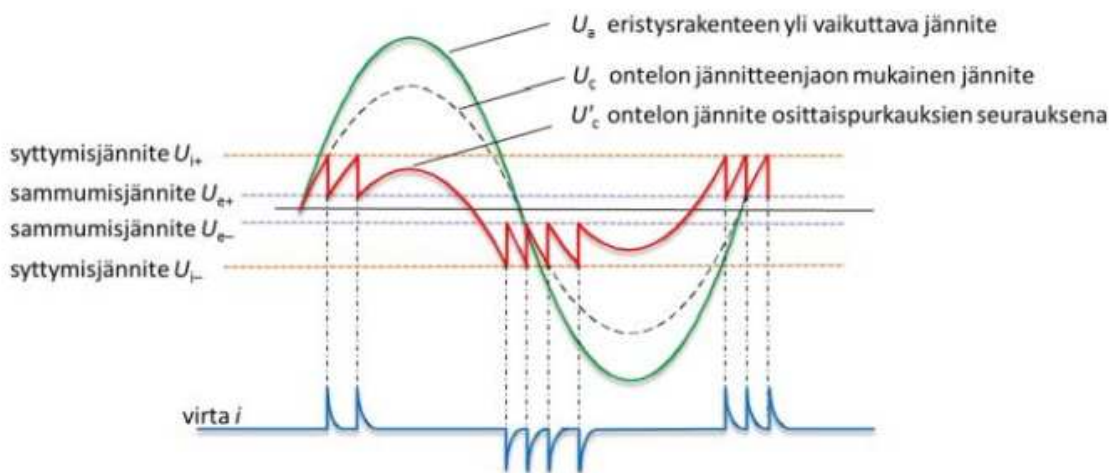
Osittaispurkaukset, jotka syntyvät ilmassa tai muussa kaasussa elektrodin pinnalla kutsutaan koronaksi. Vaihtojännitteellä koronat esiintyvät jännitteen puolijaksojen huippujen kohdalla. Koronapurkauksia esiintyy enimmäkseen avojohdoilla ja terävissä kärjissä (Kuva 20). Tästä syystä kaapelikengissä käytetään pyöristettyjä muotoja. Avojojhdoilla koronapurkauksia lisää erityisesti sade ja huurre. Koronat lisäävät johdoissa pätötehohäviöitä. (Aro ym. 2003, 86, 88; Elovaara & Haarla 2011, 354.)



Kuva 20. Korona purkaus terävässä kärjessä (Nepola 2013, 16.)

7.4 Osittaispurkausten tarkastelu

Osittaispurkauksia voidaan esittää perussuureiden avulla. Osittaispurkausten voimakkuutta ja merkitystä voidaan kuvata näennäisvarauksella sekä syttymis- ja sammumisjännitteillä. Jännitteen kasvaessa eristeessä alkaa syntyä tietyn suuruisia osittaispurkauksia. Kyseistä eristeeseen vaikuttavaa jännitettä kutsutaan syttymisjännitteeksi (U_i). Jännitteen pienentyessä eristeessä ei enää esiinny tietyn suuruisia osittaispurkauksia. Kyseistä eristeeseen vaikuttavaa jännitettä kutsutaan sammumisjännitteeksi (U_e). Osittaispurkaukset ilmoitetaan yleensä näennäisvarauksena (q), koska osittaispurkauksessa siirtyvää varausta ei voida mitata. Näennäisvaraus on eristysrakenteen liittimissä näkyvä varauksen muutos. Näennäisvarauksen suurus ilmoitetaan pikocoulombeina (pC). (Aro ym. 2003, 84, 85.)



Kuva 21. Jännite- ja virtakäyrät osittaispurkauksessa (Niemi 2014, 21.)

Tarkastellaan ontelossa tapahtuvien osittaispurkausten syttymis- ja sammumisjännitteitä (Kuva 21). Kaapeliin kytketään vaihtojännite. Jännitteen kasvaessa sähkökentän voimakkuus kasvaa eristeessä ja ontelossa. Ontelon jännitelujuuden ylittyessä tapahtuu osittaispurkaus, ja kyseistä jännitteen arvoa kutsutaan syttymisjännitteeksi. Osittaispurkaus siirtää osan varauksestaan ontelon toisella puolella olevalle seinämälle aiheuttaen ontelon jännitteen pienenemisen. Jännitteen pienentyessä tarpeeksi purkaus sammuu (sammumisjännite). Eristeen pienen johtavuuden takia varauksen muutos säilyy seuraavaan purkaukseen asti. Eristysrakenteen liittimissä varauksen muutos näkyy virtapulssina (i). Osittaispurkauksia voi syntyä syttymisjännitettä pienemmilläkin jännitteillä, kun purkaus on tapahtunut ensimmäisen kerran. (Aro ym. 2003, 77–79.)

7.5 Osittaispurkausten paikantaminen

Osittaispurkaukset voidaan paikantaa sähköisesti. Sähköistä tapaa käytetään keskijännitekaapeleille, koska kaapelit on asennettu maahan. Paikannus perustuu kulkuaaltoihin ja heijastumiseen. Kaapeleissa osittaispurkaus synnyttää kulkuaallon. Purkaukshodasta kulkuaalto lähtee etenemään kaapelin molempia päitä kohti. Kulkuaalto heijastuu kaapelin avoimesta päästä takaisin. Mittari mittaa kulkuaaltojen välisen kulkuajan ja pääättelee sen perusteella vikapaikan sijainnin. Mittarin laajakaistan kaistanleveys täytyy olla useita satoja megahertsiä (MHz), jotta laite pystyy erottamaan heijastuvat ja peräkkäiset pulssit toisistaan. (Aro ym. 2003, 480.)

Osittaispurkauksia voidaan paikantaa myös akustisesti. Akustiset laitteen paikantavat osittaispurkauksesta aiheutuvan äänen avulla. Mittalaitteet käyttävät yleensä 10 kHz–500 kHz:n taajuusalueita. Lisäksi on olemassa ultraääniantureita, jotka paikantavat osittaispurkaukset ääneen ja kulkuaaltojen perusteella. Akustista paikannustapaa käytetään sähköasemien ja muuntajien osittaispurkausten paikannukseen. (Aro ym. 2003, 480.)

8 OSITTAISPURKAUKSEN MITTAAMINEN KÄYTTÖPAIKALLA

Osittaispurkauksia on mitattu pitkän aikaa kaapelivalmistajien laboratorioissa. Käyttöpaikalla tehtävät mittaukset ovat harvinaisempia. Osittaispurkauksia voidaan mitata mm. sähköisesti, akustisesti, käyttöaikaisesti esim. antureilla tai sähkömagneettiseen säteilyyn perustuvilla menetelmillä. Mittaukset jaetaan käyttökeskeytyksen vaativiin ja käytönaikaisiin mittauksiin. Käsittelen tässä luvussa käyttökeskeytyksen vaativia sähköisiä mittausten menetelmiä. Keskijännitekaapeleille tehtäviä sähköisiä mittauksia tehdään kahdella tekniikalla. Tekniikat ovat nimeltään VLF-tekniikka ja vaimeneva vaihtojännite (DAC). (Aro ym. 2003,192–196.)

Vaimeneva vaihtojännite (DAC) on yksi yleisimmistä osittaispurkauksien mitaustavoista käyttöpaikalla. Mittauksessa kaapelia varataan tasajännitteellä parin sekunnin ajan, jonka jälkeen rinnalle kytketään kuristin. Mittauspiiri alkaa värähdellä kuristimen induktanssin ja kaapelin kapasitanssin määräämällä tavalla. Värähtelyn taajuus on 50–1000 Hz. Kytkentäilmiön jälkeen mitataan osittaispurkaukset. Niitä voidaan mitata yhden jakson, puolijakson ajalta tai pidemmältä ajalta. Laitteistolla pystytään useasti mittaamaan häviökerroin ($\tan\delta$) testijännitteen vaimentumiseen perustuen. (Aro ym. 2003,192,193,420.)

8.1 VLF-tekniikka

VLF tulee englannin kielen sanoista (*very low frequency*). Testijännite käyttää erittäin matalaa taajuutta. Taajuus on yleensä 0,1 Hz, mikä mahdollistaa kaapelien testauksen pienillä tehoilla ja laitteilla. Maakaapeleilla on suuret käyttökapasitanssit. Jos mittauksia tehtäisiin 50 Hz:n taajuudella, olisi laitteisto suuri ja kallis. Tämä johtuu tarvittavasta loistehosta ja virrasta, koska 0,1 Hz:n taajuus tarvitsee vain 0,2 % tehon tarpeen verrattuna 50 Hz:n taajuutta käyttävään laitteistoon. VLF-tekniikalla voidaan valmistaa suurijännitteisiä laitteita, jotka tarvitsevat toimiakseen vain verkkovirran. Tällä tavoin laitteet pysyvät keveinä ja ihminen voi liikuttaa niitä käsin. VLF-tekniikka kehittyy nopeaa vauhtia, koska

monet valmistajat ovat alkaneet tuottaa VLF-tekniikalla toimivia mittalaitteistoja. Valmistajilla löytyy erillisiä sekä yhdistettyjä laitteistoja, joilla voidaan tehdä jännitekoe, osittaispurkaustesti sekä $\tan\delta$ mittaus. VLF-tekniikka ei huononna kaapelin ehjää eristettä mittauksen aikana. Laitteisto tuottaa joko sini- tai kanttiaaltomuotoista vaihtojännitettä. (Aro ym. 2003, 419, 420; Väkeväinen 2015.)

8.2 KPG 36 kV VLF

KPG 36 kV VLF-mittarilla voidaan tehdä jännitekoe eristetyille kaapeleille. Mittarilla syötetään kaapeliin kolminkertainen vaihejännite tietyn ajaksi. Mittari käyttää 0,1 Hz:n taajuutta testijännitteessä. Kunnossa olevat kaapelit, jatkot ja päätteet kestävät kyseisen jänniterasituksen. Viallinen kohta hajoaa testin aikana ja aiheuttaa läpilyönnin. Mittarilla saadaan selville suuret asennusvirheet ja heikot kohdat. Kaapelin eristyksen pettäessä laite tekee hallitun läpilyönnin. (Kilovolt Prueftechnik 2014, 8.)

Mittari pystyy mittaamaan 36 kV jännitteellä 2 μF kapasitanssi kuormia. Mittari laskee ennen mittausta kapasitanssin. Kaapeleilla on käyttökapasitanssit, jotka näkyvät kaapelin teknisistä tiedoista. Kaapelin käyttökapasitanssi on laskettu yhdelle vaiheelle, jos kyseessä on AHXAMK-kaapeli. Kaapelin kapasitanssin laskemisessa voidaan käyttää apuna lieriökondensaattorin mallia (Kuva 4). Kaapelin kapasitanssin voi laskea kaavalla (Kaava 6). (Kilovolt Prueftechnik 2014, 12; Pirttilä 2015.)

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln\frac{r_u}{r_s}} \quad (6)$$

missä

C	on	kaapelin kapasitanssi [F]
ϵ	on	eristeen permittiivisyys [F/m]
l	on	kaapelin pituus [m]
r_u	on	ulkoelektrodin (hohtosuojan) säde [mm]
r_s	on	sisäelektrodin (johtimen) säde [mm]

Laitteen muita ominaisuuksia on tasajännitteellä tehtävä vaipaneheysmittaus sekä jännitekoe tasasähköllä. Mittarin ohjeen mukaan tasajännitetestausta ei

saa tehdä kuin öljypaperieristeisille kaapeleille. Liitteenä olevassa pikaohjeessa näkyy mittauksissa käytettävät jännitteet sekä vuotovirtojen suuruudet (Liite 1). VLF-testin aikana voidaan mitata vuotovirtaa, jolloin automaattisesti mittari pysähtyy negatiiviselle puolijaksolle ja mittaa vuotovirran. Mittarin valmistajalla ei ollut tällä hetkellä tarjota lisäosia, jotta olisi voitu mitata osittaispurkauksia tai tanδ häviökerrointa. Alla olevassa kuvassa näkyy mittarin laitteet ja mittakaapelit (Kuva 22). (Kilovolt Prueftechnik 2014, 1,8–9,12.)



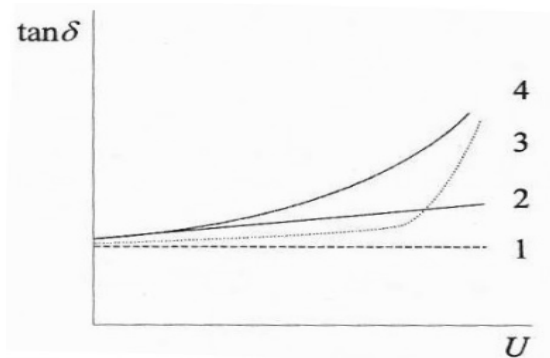
Kuva 22. KPG 36 kV VLF laitteisto

8.3 Muita käyttöpaikalla tehtäviä kaapelin kuntomittauksia

Eristysresistanssin mittaaminen on yleisimmin käytetty kaapelin kuntomittaus. Mittaus suoritetaan usein tasajännitteellä, koska tasajännitemittarit ovat pieniä ja edullisia. Useasti mittauksessa käytetään 5 kV tasajännitettä ja mittauksen kesto on 1 minuutti. Mittaus ei kuitenkaan kerro muovieristeille vaarallisista osittaispurkauksista mitään. Lisäksi tasajännitetestaukset aiheuttavat muovieristeeseen eristeaineen polarisaatiota, joka voi vioittaa eristettä. (Aro ym. 2003, 184, 419.)

Tanδ eli häviökerroin mittaus kertoo kaapelin tämän hetkisen yleiskunnon. Mittaus suoritetaan jännitteen funktiona. Jännitteen kasvaessa kasvaa myös

$\tan\delta$. Kaapelin kuntoa voidaan tarkastella jännitteen funktiona mitatun $\tan\delta$ -käyrän avulla (Kuva 23). (Aro ym. 2003, 186, 190, 191.)



Kuva 23. $\tan\delta$ -käyrä jännitteen funktiona (Vepsäläinen 2014, 32.)

Kuvassa $\tan\delta$ -käyrät voivat kertoa seuraavaa (Kuva 23).

- 1) Ideaalinen käyrä
- 2) Käytännössä terveen eristeen käyrä
- 3) Eristeessä tapahtuu mahdollinen osittaispurkaus
- 4) Eristys heikentynyt.

Eristeen vanhentuessa eriste menettää eristyskykyään, mikä näkyy käyrän 4 muodossa. Tietyn jänniterasituksen ylittyessä käyrä voi nousta äkillisesti. Tämä voi kertoa eristeessä tapahtuvasta osittaispurkauksesta, joka näkyy käyrässä 3. Itse osittaispurkausmittaus kertoo tarkemmin osittaispurkauksista, johtuen mitausherkkyydestä ja käyttöpaikalla tapahtuvista häiriöistä. (Aro ym. 2003, 186, 190, 191.)

Dielektrinen vaste mittaus kertoo kaapelissa olevasta kosteudesta sekä vesipuista. Kaapelin kostuminen ja vesipuut muuttavat häviökertoimen minimiarvoa. Dielektrinen vaste voidaan mitata kapasitanssin ja häviökertoimen taajuuden funktiona. (Aro ym. 2003,191,192.)

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön aihe oli erittäin ajankohtainen ja mielenkiintoinen. Aihe oli hyvällä tavalla haastava, koska työhön ei kyllästynyt missään vaiheessa. Haastavan työstä teki se, että suomenkielisiä teoksia aiheeseen liittyen on vähän ja osittaispurkaukset eivät ole niin yksiselitteisiä. Opinnäytetyön ohessa työskentelin verkostopuolen töissä, mikä antoi minulle käytännön tietoa keskijännitekaapeleista ja – tarvikkeista. Tällä tavoin pystyin yhdistämään oppimaani teoriaa käytäntöön.

Jos halutaan ymmärtää osittaispurkauksista, on silloin ymmärrettävä keskijännitekaapeliin vaikuttavaa sähkökenttää ja sähkökentän jakautumista. Osittaispurkauksiin vaikuttaa todella paljon se, mitä materiaalia eristeenä on käytetty. Keskijännitekaapelit tulevat työmaille testattuina, joten niissä tapahtuvat viat ovat syntyneet kuljetuksen tai asennuksen aikana. Osittaispurkauksien osalta viat sijoittuvat kaapelin jatkoihin ja päätteisiin. Päätteissä ja jatkoissa osittaispurkaukset ovat pinta- tai ontelopurkauksia. Osittaispurkauksia päätteissä ja jatkoissa aiheuttavat huono kentänohjaus, ontelot, ilmaraot sekä epätasaisuudet ja epäpuhtaudet eristeessä. Huolimattomasti tehty päätte tai jatko voi osittaispurkauksen johdosta hajota. VLF-tekniikalla voidaan tehdä laajamittainen kuntotutkimus kaapelille vahingoittamatta kaapelia.

Omasta mielestäni sain kerrottua hyvin osittaispurkauksista, niiden kehittymisestä ja alttiista vikapaikoista. Työssä käsittelin myös hieman päätteiden ja jatkosten teoissa tapahtuvia asennusvirheitä. Osittaispurkauksia olisi voinut tarkastella syvemmin, mutta aihetta oli rajattava jotenkin ja ajan niukkuus vaikutti osaltaan myös tähän. Sain tehtyä yritykselle esitelmän mahdollisesti ostettavasta mittalaitteesta.

LÄHTEET

Aro, M., Elovaara, J., Karttunen, M., Nousiainen, K. & Palva, V. 2003. Suurjännitetekniikka. 3 painos. Helsinki: Otatieto

Baur 2015. Yrityksen www-sivut. Viitattu 25.11.2015.
<http://www.baur.at/en/home.html>

B2 electronic GmbH 2015. Yrityksen www-sivut. Viitattu 25.11.2015.
<http://www.b2hv.com/>

Elenia Oy 2015. Yrityksen www-sivut. Viitattu 2.11.2015. www.elenia.fi

Elovaara, J., Haarla, L. 2011. Sähköverkot 2. Helsinki: Otatieto

Ensto Oy 2015. Yrityksen www-sivut. Viitattu 12.11.2015.
<http://www.ensto.com/fi>

Estola, J. 2010. Maakaapeli kunnomittaukset. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Kandidaatintyö.

Kilovolt Prueftechnik. 2014. User manual

Kuusinen, M. 2010. Keskijännitepääte- ja liitostekniikka. Satankunnan ammattikorkeakoulu. Sähkövoimatekniikan tutkintotyö.

Kylliäinen, M. 2015. Ensto Finland Oy. Myyntipäällikön haastattelu 6.11.2015.

Lakervi, E., Partanen, J. 2008. Sähköjälkitekniikka. Helsinki: Otatieto

Lindberg, J. 2000. Asennusohje. Sisä- ja ulkopääte. SLO Oy

Lindberg, J. 2014. Asennusohje. Kutistejatkos. SLO Oy

Monni, M. 2002. Sähkölaitosasetajan ammattioppi 2, Maakaapeliverkostotyöt, katu- ja tievalaistustyöt. 4 painos. Helsinki: Adota energia

Nepola, K. 2013. Radiotaajuisten osittaispurkausmittausten soveltuvuus suurjännitteisten sähköasemalaitteiden kunnonvalvontaan. Aalto yliopisto sähkötekniikan korkeakoulu. Sähkötekniikan laitos. Diplomityö

Niemi, J. 2014. Osittaispurkausmittauksen tuotteistaminen jakeluverkonrakennusprojekteihin. Metropolia ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikka. Insinööriyö.

Pirttilä, A. 2015. Reka Oy. Tuotepäällikön haastattelu 4.11.2015

Pohjoiskarjalan ammattikorkeakoulu ja Motiva Oy. 2003. Energiaverkko. Viitattu 7.10.2015

http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/energiaverkko/energian_siirto/sahkon_siirto.htm

Reka kaapeli Oy 2015. Yrityksen www-sivut. Viitattu 2.11.2015. www.reka.fi

Tyco Electronics. 2004. Power cable accessories catalogue. Viitattu 25.11.2015
http://raychem.kz/te/catalogs/eng/MV_Cable_Accessories.pdf#page=19&zoom=auto,-12,803

Vepsäläinen, J. 2014. Mittaavan kunnossapidon hyödyntäminen keskijänniteverkon häiriöiden vähentämisessä ja elinkaarihallinnassa. Aalto yliopisto sähkötekniikan korkeakoulu. Sähkötekniikan laitos. Diplomityö

Väkeväinen, K. 2015. Ensto Finland Oy. Teknisen päällikön haastattelu 10.11.2015

LIITTEET

Liite 1. Pikaopas



POHJOLAN WERKONRAKENNUS OY

KPG 36kV VLF

Pikaopas

Sisällys

1. Turvallisuusohjeet.....	2
2. Painikkeet ja liitännät.....	3
3. Testilaitteiston kytkentä.....	5
4. Testit.....	8
5. Kellonajan asettaminen ja tiedonsiirto.....	16
6. Vianhaku.....	17

1.Turvallisuusohjeet

Varmista, että korkeajännitepistoke on riittävän kaukana maadoitetuista ja jännitteisistä osista.

Muista purkaa mitattavasta kaapelista mahdolliset varausjännitteet ennen mittauksia.

Mittaukset tehdään jännitteettömänä ja ennen testiä täytyy kytkeä irti jännite- ja virtamuuntajat.

Kun testaat kaapelia huolehdi siitä, että toisessa päässä ei ole mahdollista saada sähköiskua.

Älä kytke tai ota pois korkeajännitepistoketta jännitteellisenä.

Rinnakkaiset kaapelit voivat olla testin jälkeen latautuneita.

Korkeajännitelaitetta täytyy pitää aina pystysuorassa, niin varastossa kuin kuljetuksessakin.

Kun käynnistät mittalaitteet katso, että korkeajänniteyksikön tuuletin toimii.

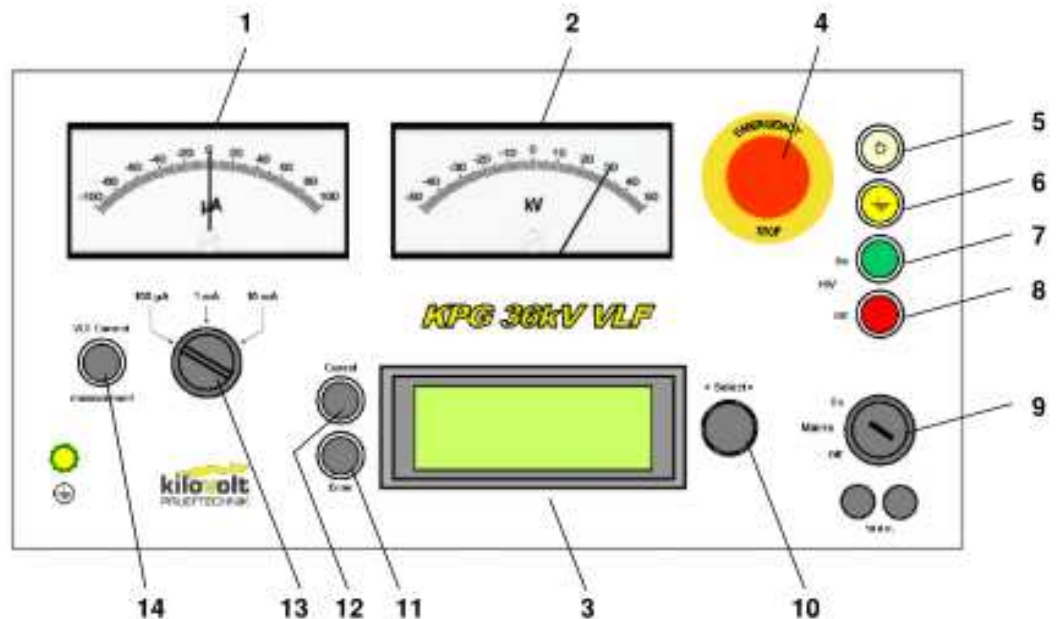
Ota käyttöyksikkö pois kangaskassista, jotta laitteen jäähdytys toimii.

Testi on päättynyt manuaalisesti tai automaattisesti. Tämän jälkeen korkeajännite pois päältä painikkeen (8) punainen valo sammuu ja purkauslaite on aktivoitunut.

Voit seurata purkaustoimintoa volttimittarista. Kunnes korkeajännitteen lukema on laskenut 0 volttiin, on laite purkautunut.

Jos suuria kuormia on testattu pitkän aikaa, tulee pääkytkin jättää päälle (MAINS ON) 5-10 minuutiksi, jotta jäähdytysjärjestelmä jäähdyttää korkeajännitemuuntajan ja -kotelon.

2.Painikkeet ja liitännät



1) Ampeerimittari

-näyttää vuotovirran suuruuden. Mittausalue $-100 \mu\text{A} \dots +100 \mu\text{A}$ / $-1 \text{ mA} \dots +1 \text{ mA}$ / $-10 \text{ mA} \dots +10 \text{ mA}$

2) Jännitemittari

-näyttää lähtöjännitteen. Mittausalue $-50 \text{ kV} \dots +50 \text{ kV}$

3) Näyttö

4) Hätäseis

5) Virran merkkivalo

6)Maadoituksen merkkivalo

- valo loistaa, kun käyttölaite ja korkeajännitelaite on asianmukaisesti maadoitettu.

7) Korkeajännite päälle

- valon loistaessa korkeajännitteen voi laittaa päälle. Painamalla painiketta korkeajännite kytkeytyy päälle

8) Korkeajännite pois päältä

-valo ilmoittaa milloin korkeajännite on päällä. Painiketta painamalla korkeajännite kytkeytyy pois.

9) Pääkytkin

- Avainta kääntämällä saadaan virta käyttölaitteeseen päälle ja pois.

10) Valikon ohjausruuvi ja jännitteensäätäjä

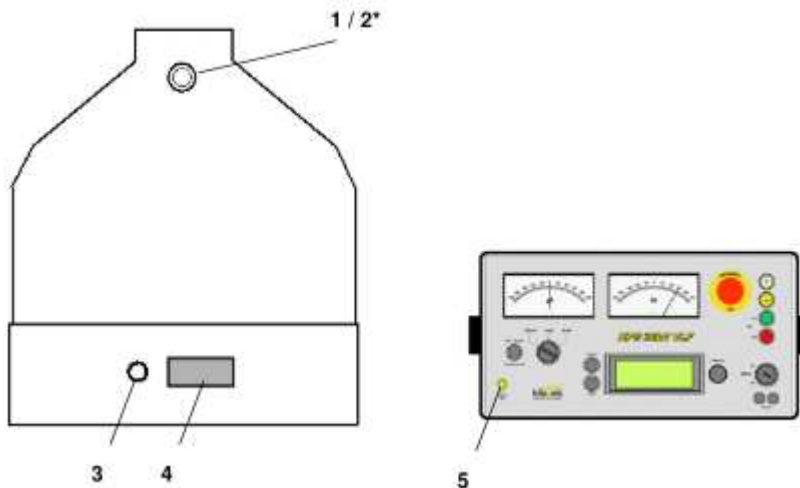
11) Enter (hyväksy)

12) Cancel (peruuta)

13) Ampeerimittarin mittausalueen muuttaminen

-kytkimellä valitaan ampeerimittarin mittausalue 100µA/1mA/10mA

14) VLF-vuotovirranmittaus painike



1) Korkeajännitepistoke

2*) Öljyn määrän linssi (toisella puolella)

3) Maadoitusliitin (station ground)

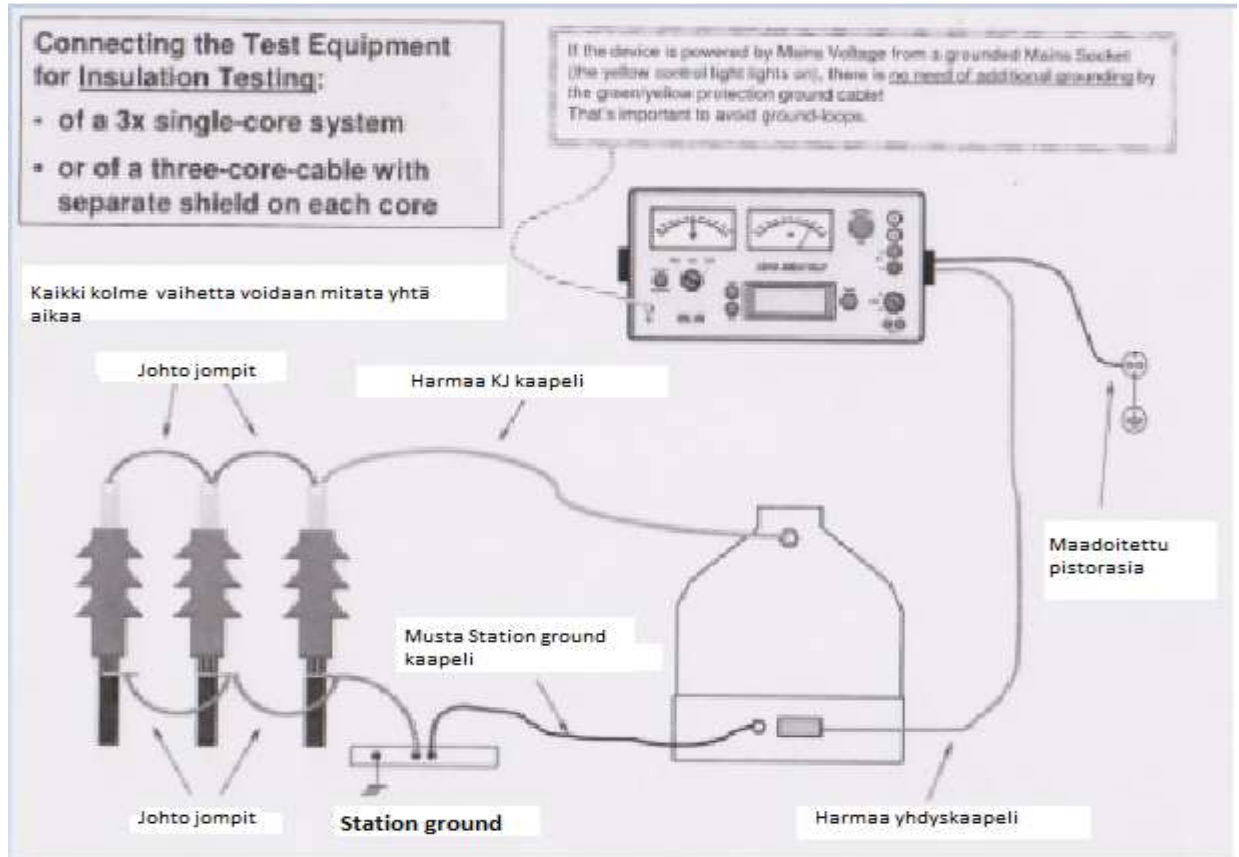
4) Käyttöyksikön ja korkeajänniteyksikön yhdyskaapelin liitin.

5) Käyttöyksikön suojamaa.

Huom! Käyttöyksikön erillistä suojamaata ei tarvitse, jos teho saadaan verkosta ja maadoitetusta pistorasiasta. Tämä on tärkeää välttääkseen maapiirejä. Teho saadaan aggregaatista tai invertteristä, niin silloin maadoitetaan käyttöyksikkö.

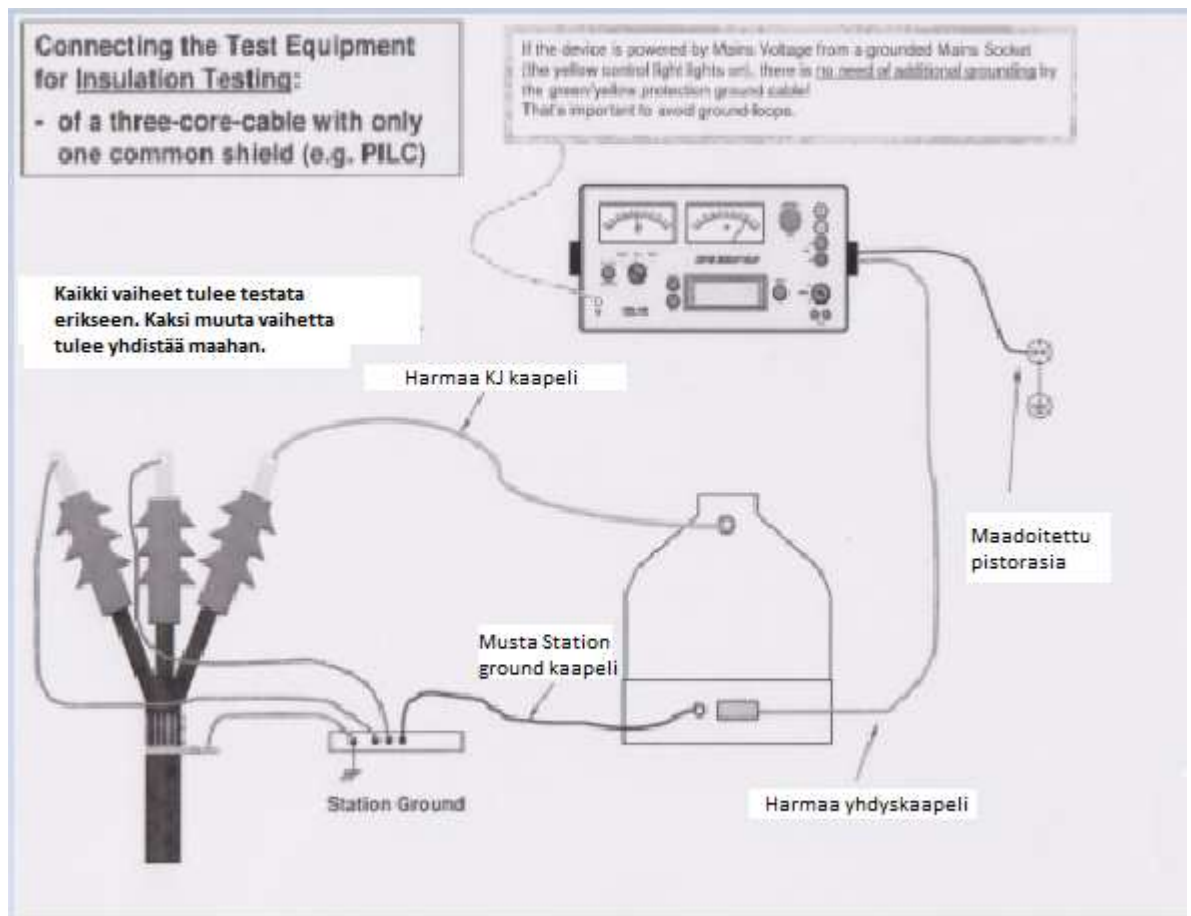
3. Testilaitteiston kytkentä

Eristystesti, jokaisella kolmella vaiheella oma kosketussuoja (Insulation testing)



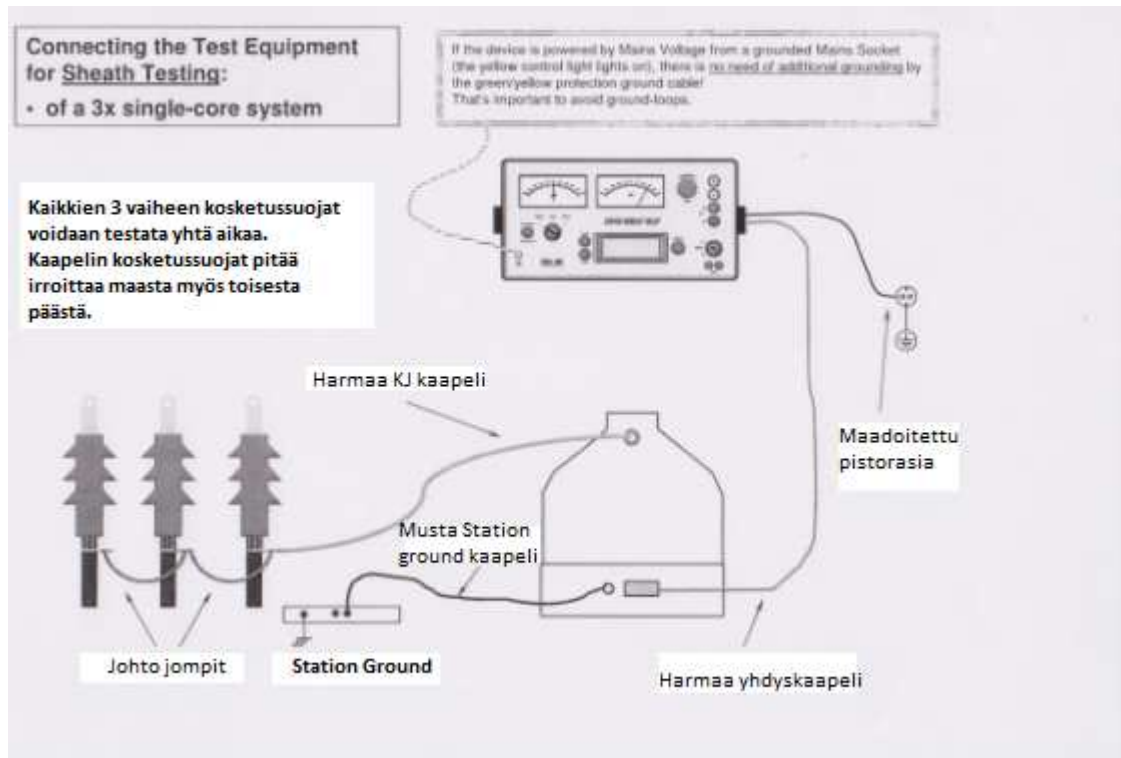
Huom! Käyttöyksikön erillistä suojamaata ei tarvitse, jos teho saadaan verkosta ja maadoitetusta pistorasiasta. Tämä on tärkeää välttääkseen maapiirejä. Teho saadaan aggregaatista tai invertteristä, niin silloin maadoitetaan käyttöyksikkö.

Eristystesti vaiheilla yhteinen kosketussuoja (Insulation testing)



Huom! Käyttöyksikön erillistä suojamaata ei tarvitse, jos teho saadaan verkosta ja maadoitetusta pistorasiasta. Tämä on tärkeää välttääkseen maapiirejä. Teho saadaan aggregaatista tai invertteristä, niin silloin maadoitetaan käyttöyksikkö.

Eristystesti vaipalle (Sheath testing)



Huom! Käyttöyksikön erillistä suojamaata ei tarvitse, jos teho saadaan verkosta ja maadoitetusta pistorasiasta. Tämä on tärkeää välttääkseen maapiirejä. Teho saadaan aggregaatista tai invertteristä, niin silloin maadoitetaan käyttöyksikkö.

4. Testit

VLF-testi

Soveltuu **muovieristeisille, öljypaperieristeisille** ja erilaisille **eristesekoitus keskijännitekaapeleille**

- Testijännitteen taajuus 0,1Hz
- Testijännite $3xU_0$
- Testiaika 60 min
- Testin vaatimus: ei läpilyöntiä (no breakdown)

Kaapelin jännite					
U_0 / U^*	3.6/6 kV	6/10 kV	6.3/11kV	8.7/15 kV	12/20 kV
VLF-testijännite	11 kV rms	18 kV rms	19kV rms	26kV rms	36kV rms

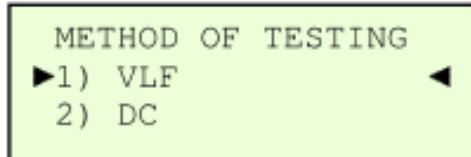
Taulukko 1 VLF-testinjännitteet

U_0 = vaiheen ja maan välinen

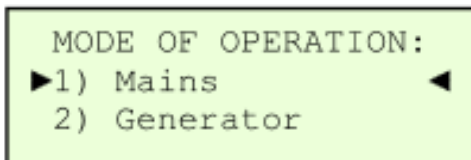
U^* =vaiheiden välinen jännite

Lue ensin turvallisuusohje.

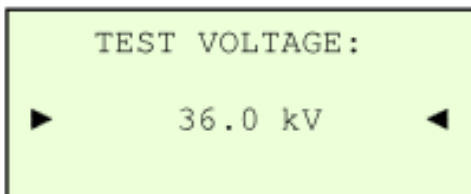
Käännä avaimesta virrat päälle. Katso, että maadoituksen merkkivalo syttyy, jos ei syty katso: (vianhaku). Näyttöön käynnistyy päävalikko valitse sieltä **Test parameters** ja paina Enter. Valikossa liikutaan ja säädetään arvoja ohjausruuvilla (10). Valitaan VLF ja painetaan Enter.



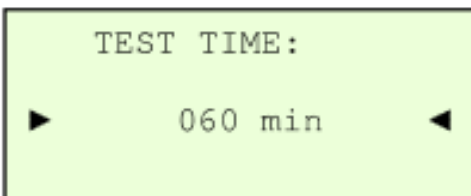
Tämän jälkeen valitaan käyttöyksikön virtalähde verkko tai generaattori ja painetaan Enter.



Valitaan testijännite 5-36 kV testijännitteen suuruus valitaan kaapelin nimellijännitteen mukaan. Taulukosta 1 nähdään kaapelin jännite, jonka mukaan asetetaan testijännite ja painetaan Enter.



Aseta testiaika ja paina Enter.



Jos testin tulokset halutaan tallentaa, valitaan yes ja painetaan Enter. Testin tulokset tallentuvat käyttöyksikön muistiin, josta ne voidaan siirtää muistitikun avulla tietokoneelle. Muistitikussa on valmis pöytäkirja pohja. HUOM!! Jos tallennat testin katso, että käyttöyksikön kello on oikeassa ajassa, että oikea tiedosto löytyy myöhemmin muistitikulta.

```

DATA RECORDING
▶ 1) yes ◀
  2) no

```

Valitaan kytkennän mukaan, minkä johtimien välillä mittausta tehdään. Painetaan Enter.

```

Test between
▶ 1) L1 » L2 L3 E ◀
  2) L2 » L1 L3 E
  3) L3 » L1 L2 E
  4) L1 L2 L3 » E
  5) L1 L2 » L3 E
  6) L1 L3 » L2 E
  7) L2 L3 » L1 E
  8) *S L1 » E
  9) *S L2 » E
 10) *S L3 » E
 11) *S L1 L2 L3 » E

```

e.g L1 >> L2 L3 E meinaa eristystestiä vaiheen L1 vasten maata ja L2 L3 on maadoitettu.

L1 L2 L3 >> E meinaa eristystestiä kaikkien kolmen vaiheiden ja maan välillä.

*S L1 >> E Kosketussuojan eristystesti kosketussuoja ja L1 vasten maata.

Tämän jälkeen näyttöön tulee testin tiedot, jos tiedot ovat oikein paina Enter. Väärät tiedot voidaan muuttaa kun perutetaan painikkeella Cancel.

```

VLF TEST
Frequency:  0.1 Hz
Voltage:    36.0 kV
Test Time:  060 min

```

Testi voidaan käynnistää, kun vihreä HV on valo palaa. Painamalla painiketta (7) HV On. Testi käynnistyy ja punainen HV Off valo alkaa loistaa.

Start with
[HV On]

Laite laskee automaattisesti kaapelin kapasitanssin arvon. Arvon ollessa sallitun rajoissa testi käynnistyy automaattisesti.

Load Test
1.4 μF

Alla olevassa taulukossa näkyy kapasitanssin maksimiarvot testijännitteen ja taajuuden mukaan (Taulukko 2).

Maximum load (VLF)	0.1 Hz	0.05 Hz ^(option)
06 kV	5.0 μF	9.0 μF
18 kV	3.8 μF	6,8 μF
19 kV	3.7 μF	6.7 μF
26 kV	3.0 μF	5.4 μF
36 kV	2.0 μF	3.6 μF

Taulukko 2 Kapasitanssin maksimiarvot

VLF-testin ollessa päällä mittari ei laske automaattisesti vuotovirtaa. Vuotovirran voi mitata kesken testi painikkeella (14) VLF current measurement. Mittari pysähtyy automaattisesti negatiiviselle ajanjaksolle. Vuotovirran mittaus loppuu automaattisesti 30 sekunnin kuluttua, mutta se voidaan keskeyttää painikkeella (14).

Testin aikana voi tulla näytölle seuraavia tekstejä **short-circuit at output**, joka tarkoittaa, että mittaus päässä mittajohdot ovat oikosulussa. Toinen teksti voi olla **breakdown!** eli testin aikana tapahtui läpilyönti. Näytössä näkyy myös aika jolloin purkaus tapahtui. Tietokoneella voidaan tarkastella jännitekäyrää tarkemmin, kun testi tallennetaan.

DC-testi

Soveltuu öljypaperieristeisille keskijännite kaapeleille.

- Testijännitteen: näkee taulukosta
- Testiaika: 15-30 minuuttia
- Vaatimus: ei läpi lyöntiä testin aikana

Kaapelin jännite U_0/U	3.6/6 kV	6/10 kV	8.7/15 kV	12/20 kV
DC testijännite	20–29 kV	34–48 kV	52–69 kV	67–96 kV
maksimi sallittu vuotovirta per johdin	500 μ A/km	700 μ A/km	700 μ A/km	700 μ A/km

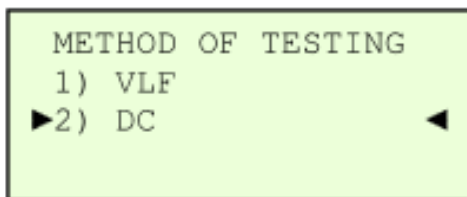
Taulukko 3 DC testijännitteet

Dc napaisuus Testijännite johtimeen: negatiivinen

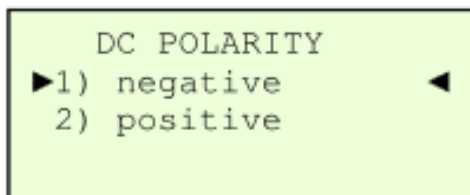
Kosketussuoja (station ground): positiivinen

Lue ensin turvallisuusohje.

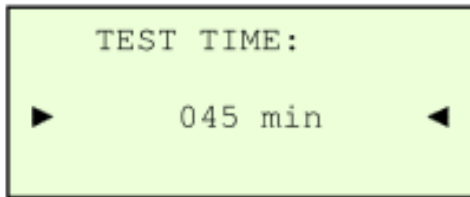
Käynnistetään laite avaimesta. Valitaan **test parameters** ja painetaan Enter. Valitaan DC testi ja painetaan Enter.



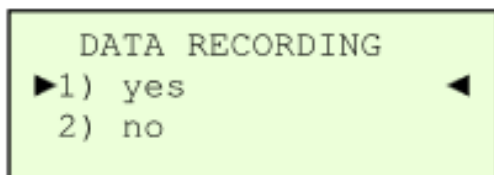
Valitaan DC jännitteen napaisuus. DC testeillä napaisuus täytyy valita negatiiviseksi. Valitaan negative ja painetaan Enter.



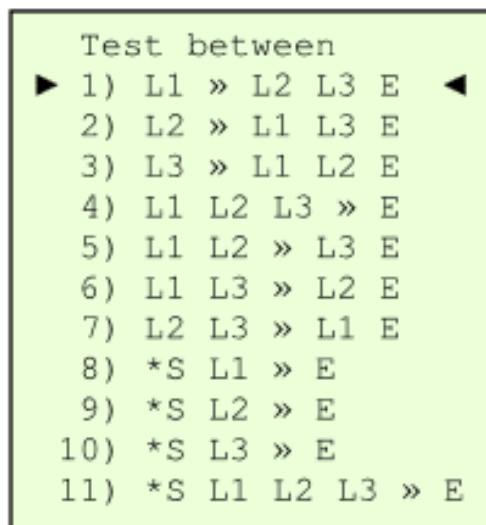
Valitaan testiaika 15–30 minuuttia ja painetaan Enter.



Jos testin tulokset halutaan tallentaa, valitaan yes ja painetaan Enter. Testin tulokset tallentuvat käyttöyksikön muistiin, josta ne voidaan siirtää muistitikun avulla tietokoneelle. Muistitikussa on valmis pöytäkirja pohja. HUOM!! jos tallennat testin katso, että käyttöyksikön kello on oikeassa ajassa, että oikea tiedosto löytyy myöhemmin muistitikulta.



Valitaan kytkennän mukaan, minkä johtimien välillä mittaus tehdään. Painetaan Enter.



e.g L1 >> L2 L3 E meinaa eristystestiä vaiheen L1 vasten maata ja L2 L3 on maadoitettu.

L1 L2 L3 >> E meinaa eristystestiä kaikkien kolmen vaiheiden ja maan välillä.

*S L1 >> E Kosketussuojan eristystesti kosketussuoja ja L1 vasten maata.

Tämän jälkeen näyttöön tulee testin tiedot, jos tiedot ovat oikein paina Enter.

Väärät tiedot voidaan muuttaa kun perutetaan painikkeella Cancel.

```
DC TEST  
Polarity: negative  
Test Time: 045 min
```

Testi voidaan käynnistää, kun vihreä HV On valo palaa. Painamalla painiketta (7) HV On. Testi käynnistyy ja punainen HV Off valo alkaa loistaa.

```
Start with  
[HV On]
```

Käännä säätöruuvista (10) jännitettä pikku hiljaa valittuun arvoon. Jännitteen arvon näkee kaapelin jännitteen mukaan taulukosta. (Taulukko 3). Tarkkaile kokoajan jännite- ja virtamittareita (1),(2). Katso, että virtamittarin mitta-alueen valintakytkin (13) osoittaa arvoa 10 mA. Jos jännitteen noston yhteydessä virtamittari näyttää nollaa, voidaan mitta-aluetta pienentää kytkimellä (13).

```
Output Voltage:  
38.4 kV  
Polarity: negative  
1:04 of 45 min
```

Vuotovirran ylittäessä 10 mA ylivirtalaukaisin laukeaa ja näyttöön tulee lukemaan Overcurrent trip. Tällöin mitattava kaapeli on viallinen.

```
Overcurrent Trip!  
after 11:13 min  
at 47.8 kV
```

Testijännitteen ylittäessä 52.5 kV ylijännitelaukaisin laukeaa

5.Kellonajan asettaminen ja tiedonsiirto

Päävalikosta eli (main menu) pääsee asentamaan laitteen kellon ajan sekä siirtämään tietoa muistitikulle. Valitaan Data Recording ja painetaan Enter.

```
MAIN MENU
1) Test Parameters
2) Operating hours
3) Select Language
▶4) Data Recording ◀
```

Tämän jälkeen aukeaa alla olevan kuvan mukainen valikko. Käyttöyksikön tiedonsiirto tapahtuu (transfer data) valikon kautta. Laitetaan muistitikku käyttöyksikön kyljessä olevaan liittimeen, jonka jälkeen painetaan Enteriä transfer data valikon kohdalla. Tiedonsiirron ollessa valmis näyttöön tulee transfer ok! Samasta paikasta voidaan asettaa kellonaika (set clock) tai tyhjentää käyttöyksikön tallennetut mittaustiedot (delete data)

```
DATA RECORDING
▶1) transfer Data ◀
2) set Clock
3) delete Data
4) Memory-Info
```


6.Vianhaku

Vika: Käyttöyksikköön on käännetty avaimesta virta päälle, mutta laite ei käynnisty. (Power on valo ei loista).

- Tarkista onko hätä-seis painike pohjassa, jos on nosta painike ylös.
- Onko laite kytkettynä virtalähteeseen
- Tarkista syötön ja käyttöyksikön sulakkeet

Vika: Maadoituksen valo ei loista, jos laitteita ei ole maadoitettu laite ei anna tehdä testiä ja näyttöön tulee NO EARTH!

- Onko korkeajänniteyksikkö ja käyttöyksikkö maadoitettu
- Onko korkeajänniteyksikön ja käyttöyksikön välinen yhdyskaapeli liitetty ja lukittu.
- Onko virtalähteenä invertteri tai aggregaatti. Tällöin käyttöyksikkö vaatii lisämaadoituksen, jos virtalähteet eivät ole kunnolla maadoitettu.
- Joskus pistorasiasta otettu verkkovirran maadoitus ja (station ground) ei ole samassa potentiaalissa. Tällöin käyttöyksikkö pitää maadoittaa lisämaadoituksella (station ground:in) kanssa samasta paikasta.

Vika: Ohjauksen epämääräinen käyttäytyminen.

- Nollaa ohjaus sammuttamalla pääkytkimestä käyttöyksikkö ja 5 sekunnin jälkeen käynnistä uudelleen.