



LAPPEENRANNAN
TEKNILLINEN YLIOPISTO

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
SÄHKÖTEKNIIKAN OSASTO

Kandidaatintyö

21.1.2010

Juha Estola

0239498

Säte N

Maakaapeliin kuntomittaukset

PL 20, 53851 LAPPEENRANTA, p. 05 62111, fax. 05 621 6799

<http://www.ee.lut.fi/fi/lab/sahkomarkkina>

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Sähkötekniikan osasto

Juha Estola

Maakaapelien kuntomittaukset

Kandidaatintyö

2010

29 sivua ja 18 kuvaa

Ohjaaja ja tarkastaja: TkT Samuli Honkapuro

Hakusanat: maakaapelit, kuntomittaus, osittaispurkausmittaus, dielektrinen vaste

Kandidaatintyössä on luotu katsaus maakaapelirakenteisiin ja erilaisiin maakaapelien kuntomittausmenetelmiin, kuten osittaispurkausmittaus ja dielektrisen vasteen mittaaminen. Työssä on myös esitelty muutamat yleisimmät mittauslaitteistot ja sivuttu lyhyesti mittauksen hyödyntämistä kunnossapidossa.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology

Department of Electrical Engineering

Juha Estola

Condition measurements of underground cables

Bachelor thesis

2010

29 pages and 18 figures

Advisor and supervisor: D.Sc Samuli Honkapuro

Keywords: power cable, condition measurement, partial discharge measurement, dielectric response

This thesis includes basic information about cable systems and review of cable condition measurement methods, such as partial discharge measurement and dielectric response. Thesis also includes short section about couple of the most common measurement instruments and few things about use of condition measurements on maintenance.

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto.....	5
2	Maakaapelit.....	6
2.1	Öljypaperieristeiset kaapelit.....	6
2.1.1	Öljypaperieristyksen vanheneminen.....	7
2.2	Polymeerieristeiset kaapelit.....	7
2.2.1	Polymeerieristyksen vanheneminen	9
2.3	Kaapelipäätteet ja jatkokset.....	11
3	Kuntomittaukset.....	13
3.1	Eristysresistanssin mittaaminen	14
3.2	Dielektrinen vaste.....	14
3.3	Osittaispurkausten mittaaminen.....	17
3.3.1	Erittäin matala taajuus.....	18
3.3.2	Sarjaresonanssilaitteet	19
3.3.3	Vaimeneva vaihtojännite	20
3.3.4	Purkausten paikantaminen.....	20
3.4	FTIR-analyysi.....	21
4	Mittalaitteita.....	22
4.1	Megger MIT1020	22
4.2	Megger IDAX 300.....	23
4.3	HDW Electronics OWTS M60.....	24
5	Mittausten hyödyntäminen Helsingin Energialla	25
6	Johtopäätökset	26

Lyhenteet ja merkinnät

DAC	vaimeneva vaihtojännite (Damped Alternating Current)
EPR	eteeni-propeenikumi
FTIR	Fourier transformed infrared
OWTS	vaimenevaa vaihtojännitettä käyttävä testauslaitteisto
PE	polyeteeni
PEX	ristisilloitettu polyeteeni
PVC	polyvinyylikloridi
VLF	very low frequency, erittäin matala taajuus
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko
<i>C</i>	kapasitanssi
ε	permittiivisyys
<i>f</i>	taajuus
<i>L</i>	induktanssi
<i>tanδ</i>	häviökerroin
<i>R</i>	resistanssi
<i>U</i>	jännite

1 Johdanto

Maakaapeleita on käytetty Suomessa 1900-luvun alusta lähtien ja vanhimmat nykyisin käytössä olevat maakaapelit ovat asennettu 1940-luvulla, joten niiden voidaan olettaa lähestyvän käyttöikänsä loppua. On tärkeää saada tietoa kaapeleiden todellisesta nykyykunnosta, jotta uusinnat voidaan toteuttaa oikeaan aikaan mahdollisimman tehokkaasti ja taloudellisesti. Uusien kaapeleiden vetäminen on kallista, joten on taloudellisesti tehokasta käyttää niitä aivan käyttöikänsä loppuun asti ja jos mahdollista ajoittaa uusinnat tehtäväksi samaan aikaan muiden maan kaivamista vaativien töiden kanssa. Toisaalta sähköntoimitusvarmuudelle asetetut vaatimukset ovat koventuneet, joten kaapelirikkoja ei saisi päästää tapahtumaan. Kaapelijärjestelmille on myös tarkoituksenmukaista tehdä käyttöönottovaiheessa mahdollisimman laajat testaukset, jotta mahdolliset asennuksesta syntyneet käyttöikää alentavat viat voidaan korjata ennen kuin järjestelmä otetaan käyttöön.

Pitkään eristysresistanssin mittaaminen on ollut ainoa käytössä ollut menetelmä tutkia kaapelijärjestelmien kuntoa, mutta viime vuosikymmeninä on kehitetty uusia huomattavasti tarkempia ja paremmin kuntoa kuvaavia menetelmiä. Osittaispurkausten mittaaminen ja dielektrinen vaste yhdessä kertovat kohtuullisen tarkasti kaapelijärjestelmän kunnon, syvempää tutkimista varten voidaan kaapelinäytteille suorittaa FTIR-analyysi, jolla saadaan tietoon eristeen rakenteen nykytila.

Osittaispurkausten mittaamisella on mahdollista havaita ajoissa eristeelle erittäin haitallisten osittaispurkausten esiintyminen ja mittaamalla dielektrinen vaste voidaan tunnistaa öljypaperieristyksen kostuminen ja PEX-eristeisissä kaapeleissa esiintyvät vesipuut.

2 Maakaapelit

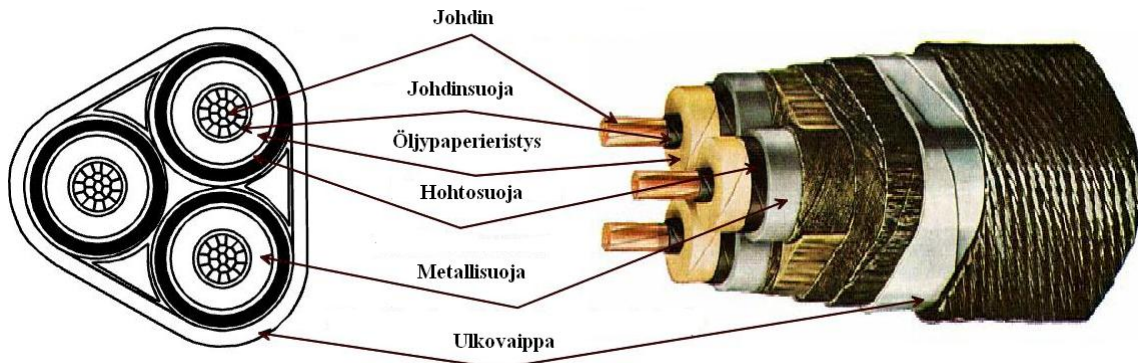
Kaapeleissa käytetään eristeenä pääasiassa muoveja tai öljyllä kyllästettyä paperia. Ensimmäiset keski- ja suurjännite maakaapelit olivat öljypaperieristeisiä, 60-luvun lopulla käyttöön tulivat polymeerieristeiset kaapelit, jotka ovat käytännössä syrjäyttäneet öljypaperieristeiset kaapelit uudis- ja korjausasennuksissa. Ainoastaan suurilla tasajännitteillä käytetään uusissa asennuksissa öljypaperieristeisiä kaapeleita, koska muovit ovat liian hyviä eristeitä. Käytössä muovit polarisoituvat tasajännitteellä, eikä polarisaatio pääse muuttumaan riittävän nopeasti vaihdettaessa kaapelin polariteettia tai jännitetransientin sattuessa, josta seuraa kriittisen kentänvoimakkuuden ylittyminen ja lopulta läpilyönti. (Aro 1996)

2.1 Öljypaperieristeiset kaapelit

Öljypaperieristeisen kaapelin eristys valmistetaan kiertämällä kraft-prosessilla valmistettuja 10 - 20 mm leveitä ja 50 - 200 μm paksuja paperinauhoja johtimen päälle, niin että yhden kerroksen paperien väliin jää pieni rako. Seuraava kerros kierretään ensimmäisen päälle niin, ettei paperien väliin pääse syntymään yhdensuuntaisia kanavia. Paperien keräämisen jälkeen kaapeli tyhjiökuivataan kuumassa uunissa ja paperi kyllästetään suuriviskositeetisellä öljyllä. Öljyn tarkoituksena on kyllästyä paperi ja täyttää paperikerrosten väliset raot ohuilla suuren jännitelujuuden omaavilla öljykalvoilla. Paperi estää epäpuhtauksien liikkumisen kerroksesta toiseen ja antaa armeerauksen sekä vaipan kanssa kaapelille sen tarvittavat mekaaniset ominaisuudet. Kyllästyksen jälkeen paperin päälle laitetaan puolijohtava hohtosuojaja, jonka päälle laitetaan lyijystä tai alumiinista tehty suoja. Suojan tarkoituksena on sulkea öljy hermeettisen kuoren sisään, jottei öljy joutuisi tekemisiin hapen ja kosteuden kanssa. Kuvassa 2.1 on esitetty PYLKVJ kaapelin rakenne.

Kokonaisuutena öljypaperieristys on epähomogeeninen johtuen öljyn ja paperin toisistaan poikkeavista suhteellista permittiivisyyksistä, öljyssä vaikuttaa noin kaksinkertainen kentänvoimakkuus verrattuna paperiin.

Suurjännitteille tehdyissä öljypaperieristeisissä kaapeleissa on sisällä pitkittäiset öljykanavat, joita pitkin öljy voi virrata. Nämä kaapelit ovat paineistettuja ja ne ovat joko pientai suurpaineikaapeleita. Suurpaineikaapeleissa kaapeli on metallisen putken sisällä, jossa pidetään yllä usean baarin painetta. Näin rakennettuja kaapeleita voidaan rasittaa enemmän, koska öljyn virtaaminen ja paine estävät haitallisten onteloiden muodostumista, samalla virtaavaa öljyä voidaan hyödyntää kaapelin jäähdytyksessä.



Kuva 2.1 Öljypaperieristeinen PYLKVJ kaapeli. (Hyv 2008)

2.1.1 Öljypaperieristyksen vanheneminen

Öljyn ja paperin omaisuuden muuttuvat kaapelin eliniän aikana, muutokset aiheutuvat normaalista ikääntymisestä ja ulkoisista tekijöistä. Elinikänsä aikana kaapeleihin kohdistuu mekaanista, termistä ja sähköistä kuormitusta.

Öljy on orgaaninen aine ja se vanhenee hapen vaikutuksesta, kun hiilivetomolekyylit hajoavat vetyperoksidiksi. Vetoperoksidi hajoaa muodostaen vapaita radikaaleja, jotka ovat erittäin reaktiivisia ja muodostavat helposti lisää uusia vapaita radikaaleja. Näin öljyyn alkaa muodostua epäpuhtauksia, johtavia hiukkasia, vettä ja happamia yhdisteitä, nämä aineet huonontavat öljyn sähköisiä ominaisuuksia. Öljyosan suojavaippa estää tehokkaasti happea ja kosteutta tunkeutumasta öljyyn, joten ilman ulkoista vauriota öljyn vanheneminen on hidaskäynnin prosessi.

Vanhetessaan paperi haurastuu selluloosakuitujen katkeillessa, erityisesti vesi ja happamat yhdisteet nopeuttavat prosessia. Paperin hajotessa syntyy vettä, hiilidioksidia ja happamia yhdisteitä ja näin hajoamisprosessi kiihtyy. Hajoamisesta syntyneet kaasut voivat syrjäyttää öljyn ja synnyttää kaasutäyteen onkalon johon vaikuttaa suuri kentänvoimakkuus. Ontelon jännitekestoisuuden ylittyessä syntyy osittaispurkaus, joka vuorostaan aiheuttaa öljyssä ja paperissa lisää hajoamisreaktioita. Öljypaperieriste on kuitenkin jossain määrin itseään korjaava, sillä öljy täyttää liikkuessaan muodostuneet onkalot. Tämän vuoksi öljypaperieriste kestää kohtuullisen hyvin osittaispurkauksia. (Aro 1996)

2.2 Polymeerieristeiset kaapelit

Kaapelieristeinä käytettävät polymeerit voidaan jakaa kumeihin ja muoveihin, pienjännitteillä eristeinä käytetään pääasiassa polyvinyylikloridia (PVC) ja keskijännitteillä yle-

simmät polymeerieristeet ovat eteeni-propeenikumi (EPR), polyeteeni (PE) ja ristosilloitettu polyeteeni (PEX).

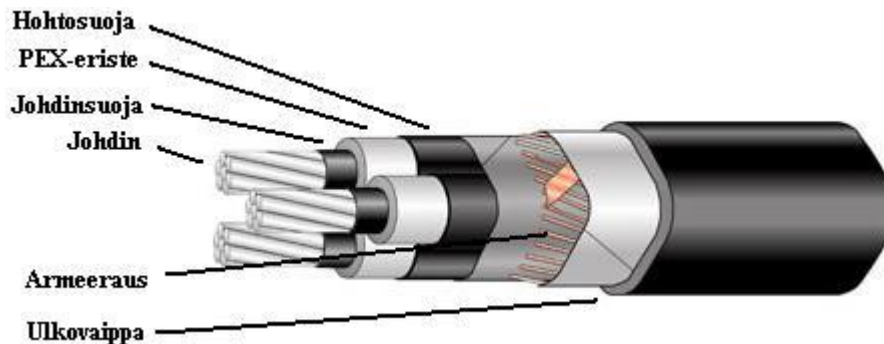
Ristosilloitettu polyeteeni on kaikkein käytetyin eristemateriaali keskijännitteillä, EPR-kumia käytetään tilanteissa joissa kaapelin tarvitsee olla taipuisa tai sitä siirretään usein. EPR-kumi kestää lisäksi hyvin otsonin, hapen, UV- ja ionisoivan säteilyn vaikutusta.

PEX-eristeen raaka-aineena on pientiheysinen polyeteeni, johon valmistusvaiheessa lisätään peroksidia. Johtimen päälle vedetään suulakepuristamalla ohut puolijohtava kalvo, jonka päälle laitetaan varsinainen eriste. Eristeen päälle laitetaan vielä toinen ohut puolijohtava kerros, niin sanottu hohtosuoja, jonka jälkeen eristys vulkanoidaan.

Noin 130 °C lämpötilassa suoritettavan vulkanoinnin aikana peroksidin vaikutuksesta polymeeriketjujen välille muodostuu sidoksia, tämä ristosilloittuminen parantaa eristeen sähköisiä ja mekaanisia ominaisuuksia. Vulkanoinnin jälkeen kaapelin annetaan jäähtyä ja sitä varastoidaan lämpimässä jonkin aikaa. Tänä aikana kemiallisten prosessien kaasumaiset jätteet poistuvat ja eristeeseen jääneet jännitykset laukeavat. Eristeen kestävyttä parannetaan lisäämällä siihen stabilisattoreita, jotka hidastavat vanhenemista, vaikeuttavat osittaispurkauksen syttymistä ja hidastavat puumaisten purkauskanavien kasvua.

Varastoinnin jälkeen hohtosuojan päälle vedetään veden pitkittäisen etenemisen estävä kerros, tämä voi olla esimerkiksi veden vaikutuksesta turpoavaa nauhaa. Seuraavaksi asennetaan kaapelin metallinen vaippa, joka voi olla konsentrisen kuparipunos tai alumiinilaminaattia ja lopuksi uloimmaksi kerrokseksi muovinen suoja. (Hyv 2003)

Kuvassa 2.2 on moderni alumiinijohtimilla varustettu 24 kV maakaapeli, jossa armeeraus on tehty kuparilangoilla ja kuparinauhasidoksella, ulkovaippa on PVC-muovia.



Kuva 2.2 Reka Kaapeli Oy:n AHXCMK-WTC kaapeli. (Rek 2009)

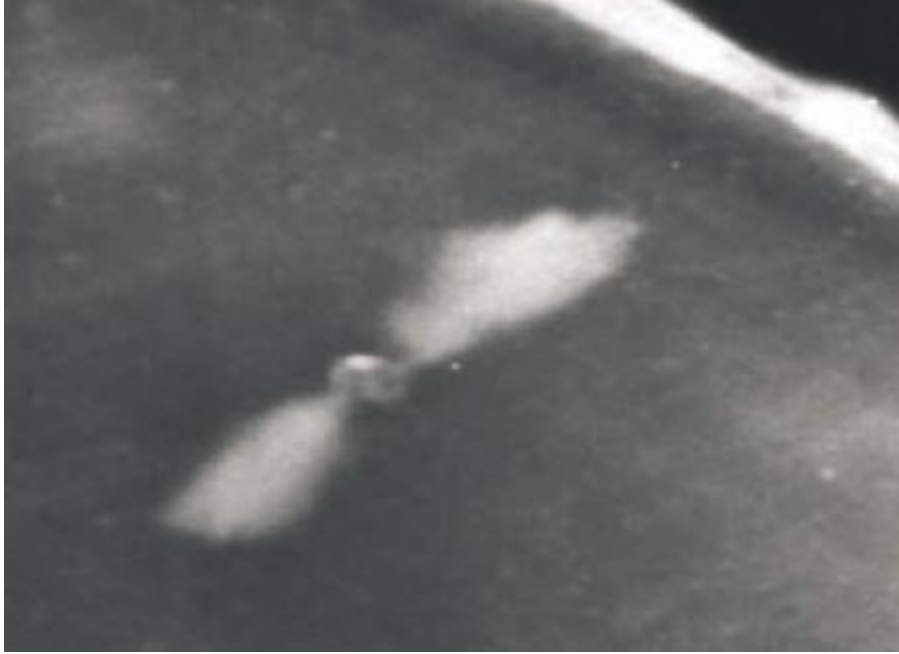
2.2.1 Polymeerieristyksen vanheneminen

Mekaaninen, kemiallinen ja sähköinen heikkeneminen ovat tärkeimpiä PEX-eristeen vanhenemismekanismeja. Polymeerit eivät saavuta lopullista kiderakennettaan heti valmistuksen jälkeen, vaan lopullinen muotoutuminen tapahtuu useiden vuosien kuluessa, tämän takia eristeen sisään voi muodostua pieniä koloja tai paikallisesti tiheämpiä alueita muuten yhdenmuotoiseen eristeeseen. Myös mekaaninen rasitus esimerkiksi kaapelin taittaminen voi aiheuttaa muutoksia eristeen rakenteeseen. Näissä kohdissa vaikuttaa suurempi kentänvoimakkuus kuin muualla ja on mahdollista, että syntyy osittaispurkauksia, joka on tuhoisaa PEX-eristeelle, sillä sen osittaispurkausten kesto on todella huono.

Kemiallisessa heikkenemisessä polymeerieriste haurastuu, kun pitkät polymeeriketjut katkeavat. Kemiallisesti aktiiviset vapaat radikaalit ovat osa reaktiota, niitä muodostuu eristeen joutuessa tekemisiin hapen kanssa. Altistuminen säteilylle (esimerkiksi UV-säteily) tai otsonille nopeuttaa reaktiota, PEX-eriste tosin on mekaanisia vaurioita lukuun ottamatta hyvin suojassa näiltä. Myös osittaispurkaukset eristeen sisällä muodostavat ionisoivaa säteilyä, joka aiheuttaa vapaiden radikaalien muodostumista.

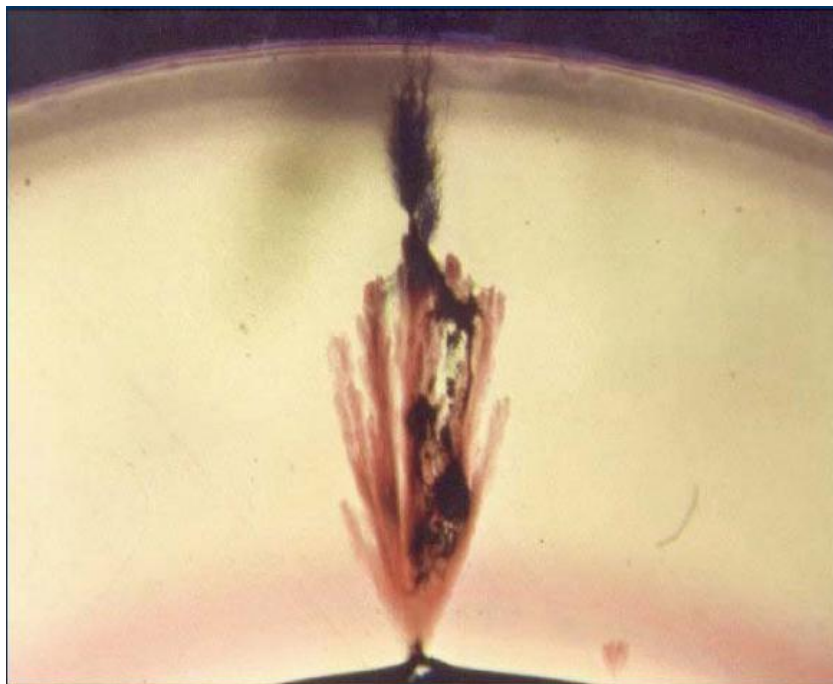
Tuhoisimmat PEX-eristeen vanhenemistä aiheuttavat syyt ovat sähköisiä, osittaispurkaukset, sähkö- ja vesipuut. Jokainen PEX-eristeinen kaapeli, joka on alttiina kosteudelle on myös alttiina vesipuiden muodostumiselle. Ensimmäisen sukupolven kaapeleissa oli sisäistä kosteutta, johtuen käytetystä höyryvulkanointiprosessista.

Vesipuun muodostuminen alkaa eristeessä olevasta kosteudesta, joka on voinut jäädä sisään valmistusvaiheessa, kulkeutua ulkokuoren läpi diffuusion avulla, reiän kautta tai kaapelipääteestä. Kosteus eristeen sisällä alkaa edetä sähkökentän suuntaan, muodostaen puumaisen muodostelman. Vesipuita on kahdenlaisia: bow-tie ja vented. Bow-tie-puut saavat alkunsa eristeen sisällä ja niillä on taipumusta kasvaa ulos- ja sisäänpäin sähkökentän suuntaan, mutta eivät saavuta useinkaan yli muutamien kymmenien mikrometrien mittaa, eivätkä siten aiheuta merkittävää heikkenemistä. Kuvassa 2.3 on poikkileikkaus bow-tie-puusta kaapelin eristeessä.



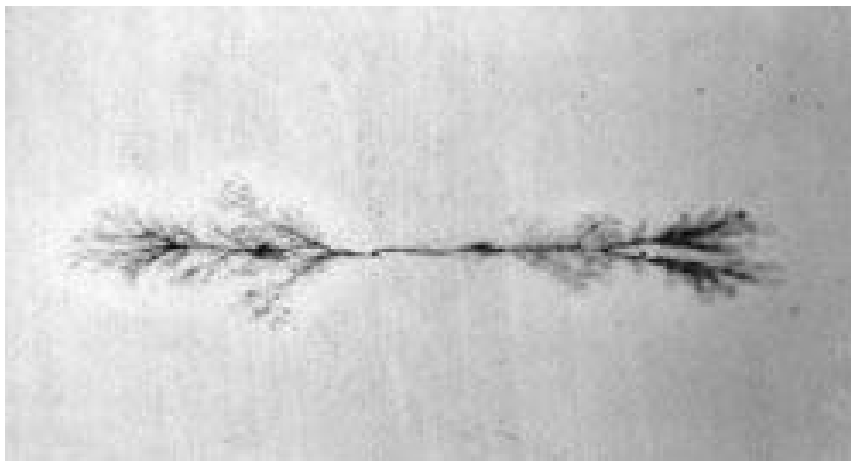
Kuva 2.3 Bow-tie-puu PEX-eristeessä. (Ele 2009)

Vented-puut saavat alkunsa PEX-eristeen ja puolijohtavan kerroksen rajapinnassa ja kasvavat myös sähkökentän suuntaan, mutta toisin kuin bow-tie-puut ne eivät lopeta kasvamista, vaan saattavat lävistää koko eristekerroksen. Tästä johtuen vented-puut ovat paljon vakavampi uhka eristykselle kuin bow-tie-puut. Kuvassa 2.4 on koko eristeen kerroksen lävistävä vented-puu. Erona sähköpuihin on, että vesipuut katoavat eristeen kiuuessa, kun taas sähköpuut ovat pysyviä vaurioita eristeen rakenteessa.



Kuva 2.4 Puolijohtavasta kerroksesta alkanut vented-puu, joka lävistää koko PEX-eristeen. (Hvi 2008)

Sähköpuut ovat ohuiden johtavien kanavien muodostamia puumaisia verkostoja. Ne saavat alkunsa epähomogeenisuudesta eristeessä, kuten likahiukkasesta, onkalosta tai vesipuusta. Kun epähomogeenisessa alueessa vaikuttaa riittävän suuri sähkökentän voimakkuus tapahtuu osittaispurkausta, joka luo onkalon tai suurentaa ennestään olemassa olutta. Ajan kuluessa tapahtuu uusia osittaispurkauksia ja joka kerta onkalo kasvaa hieman ja alkaa muistuttaa muodoltaan puuta tai pensasta. Kuvassa 2.5 on eristeen onkalosta alkunsa saanut sähköpuu, joka etenee molempiin suuntiin kohti hohtosuoja ja johdinta. Lopulta puu lävistää koko eristeen ja tapahtuu täydellinen läpilyönti. Kerran alkuun päässyt puu ei korjaannu vaan on pysyvä, toisin kuin öljypaperieristeisissä kaapeleissa joissa muodostuneet onkalot täyttyvät aikanaan. Tämän takia jo pienetkin osittaispurkaukset ovat erittäin tuhoisia PEX-eristeelle, joten niiden mahdollistavien muutosten havaitseminen mahdollisimman ajoissa on tärkeää. (Hyv 2008)



Kuva 2.5 Sähköpuu PEX-eristeessä. (Lor 2005)

2.3 Kaapelipäätteet ja jatkokset

Kaapeleiden päihin täytyy tehdä kaapelipäätteet, joilla kaapeli liitetään sen päissä oleviin koneistoihin. Päätteen täytyy antaa kaapelin päälle mekaaninen suojaus, estää kosteuden ja muun lian pääsy sisään, estää öljyn hapettuminen ja ulos valuminen öljypaperieristeisissä kaapeleissa sekä ohjata sähkökenttää. Päätetyypin valintaan vaikuttavat käytetty kaapeli, jännitetaso ja asennusympäristö. Aikaisemmin öljypaperieristeisissä kaapeleissa on käytetty sisäasennuksissa öljytäytteisiä letku- tai eristysputkipäätteitä ja ulkoasennuksissa posliinieristimillä varustettuja päätteitä. Nykyään käytetään yleensä kutistemuovipäätteitä joita on käytetty alusta asti PEX-eristeisissä kaapeleissa, sisä- ja ulkoasennuksissa voidaan myös käyttää silikonikumipäätteitä tai pelkällä kentänohjauskeilalla varustettuja päätteitä.

Keski- ja suurjännitepääteissä sähkökenttää täytyy ohjata, jotta estetään liukupurkaukset. Pääteissä kentänvoimakkuuden jakauma vääristyy, koska jännitteinen johdin jatkuu mutta maadoitettu elektrodi katkaistaan. Kentänohjauksella pyritään minimoimaan varsinaisen eristeen ja lisäeristeen rajapintaan kohdistuva pitkittäissuuntainen sähkökenttä. Sähkökenttää ohjataan eristyspaksuutta kasvattamalla ja muotoilemalla eristys keilamaisiksi, kapasitiivisella kentänohjauksella sijoittamalla eristykseen sylinterimäisiä johtavia kerroksia tai resistiivisellä ohjauksella laittamalla puolijohtavia materiaaleja eristyksen päälle hohtosuojan katkaisukohdasta eteenpäin. Ennen pääteissä käytettiin pääasiassa eristyspaksuuden muuttamista ja kapasitiivista ohjausta, nykyään puolijohtavat kutistemuovit ovat syrjäyttäneet ne. Kuvassa 2.6 on Tyco Electronics Raychemin kutistemuoveilla tehty pääte. Virheellisesti tehty kentänohjaus aiheuttaa osittaispurkauksia, jotka vanhentavat ja lopulta rikkovat päätteen, muuten päätteet vanhenevat samojen mekanismien kautta kuin itse kaapelitkin. (Hyv 2003)



Kuva 2.6 Tyco Electronics Raychemin IXSU-F kaapelipääte. (Tyc 2009)

Kaapelijatkosten tarkoituksena on liittää kaksi kaapelia toisiinsa pitkän kaapelivedon tai vikakorjauksen yhteydessä, on myös mahdollista liittää kaksi erityyppistä kaapelia toisiinsa. Kaapelivarusteiden valmistajilta löytyy valmiita paketteja eri kaapelityyppien yhdistämistä varten, joten rakenteelta erilaiset kaapelit voidaan yhdistää. Nykyään siirrettäessä tai korjattaessa öljypaperieristeisiä kaapeleita käytetään jatkoksissa PEX-eristeisiä kaapeleita.

Kaapelin johtimet liitetään toisiinsa holkeilla, jotka voivat olla juotettavia, ruuvattavia tai puristettavia, nykyään käytetyimmät ovat momenttiruuveilla varustetut ruuvattavat holkit ja puristettavat. Eristykseen käytetään valumuovia, muoviteippiä, paperinauhaa, öljyä tai

kutistemuoveja, tässäkin tehtävässä ovat kutistemuovit nousseet valta-asemaan. Metallinen kosketussuoja jatketaan kuparipunoksella ja jatkoskohta päällystetään metallisella tai muovisella suojalla. Sähkökentän ohjaus toteutetaan puolijohtavien kerrosten avulla, eikä eristeen keilamaista muotoilua tarvita. (Hyv 2003)

Kaapelijatkokset vanhenevat samojen mekanismien kautta kuin kaapelitkin. Huonosti asennettu liitosholkki aiheuttaa ylimenoresistanssin kasvua, joka voi johtaa liialliseen lämpenemiseen. Sisään jatkokseen jääneet ilmakuplat ja muut epäpuhtaudet voivat aiheuttaa osittaispurkauksia, joten kaapelin jatkamisen jälkeen olisi suositeltavaa mitata osittaispurkaukset, ettei jatkos hajoaisi pian asentamisen jälkeen.



Kuva 2.7 Tyco Electronics Raychemin kutistemuoveilla toteutettu MXSU jatkos. (Tyc 2009)

3 Kuntomittaukset

Kuntomittausten tarkoituksena on varmistaa järjestelmän olevan siinä kunnossa, että se kestää käytönaikaiset rasitukset ja mahdollisuuksien mukaan arvioida jäljellä olevaa elinikää. Testauksessa käytettävät menetelmät voidaan jakaa tuhoaviin ja ei tuhoaviin menetelmiin, yleisin tuhoava menetelmä on jännitekoee, jossa kaapelia rasitetaan ennalta sovitulla käyttöjännitteen ylittävällä tasolla. Kaapeli joko kestää kyseisen rasituksen tai tapahtuu läpilyönti ja testattava kohde hajoaa, joten ongelmana on normaalin käyttöjännitteen kestävä kaapelin vaurioituminen testauksen yhteydessä. Kaapeleista voidaan myös ottaa näytteitä ja tutkia niitä visuaalisesti ja kemiallisin analyysin, näytteiden ottaminen ehjistä kaapelista ei kuitenkaan ole järkevää vaan näytteitä otetaan esimerkiksi ulkoisen vaurion seurauksena tapahtuneen kaapelirikon korjauksen yhteydessä.

Ei tuhoavilla menetelmillä pyritään saamaan tietoa kaapelin nykykunnosta aiheuttamatta vahinkoa tai tarpeetonta rasitusta. Näillä menetelmillä käytetään alhaisia jännitetasoja, joilla pyritään tutkimaan niitä ilmiötä jotka kertovat kaapelin nykykunnosta.

3.1 Eristysresistanssin mittaaminen

Ensimmäinen ja pitkään ainoa käytössä ollut tapa tutkia kaapelijärjestelmien kuntoa oli eristysresistanssin mittaaminen tasajännitteellä. Mittausta varten kaapeli on erotettava ja mittausta suoritetaan yhden vaiheen ja kahden muun maahan yhdistetyn vaiheen väliltä, jokaiselle vaiheelle erikseen.

Tasajännitteellä tehtävä mittausta on nopea suorittaa ja käytettävät laitteet ovat kooltaan pieniä sekä suhteellisen halpoja. Mittausta ei kuitenkaan ole tarkka vaan, lähinnä kertoo onko eriste ehjä vai ei. Vakavat eristeauriot ja kostuminen voidaan havaita, mutta ehjän eristeen erottaminen selvästi vanhentuneesta ei ole mahdollista. Eristysresistanssin mittaustuksella ei kyetä myöskään havaitsemaan PEX-eristeelle erittäin tuhoisia osittaispurkauksia. (Aro 1996)

Tasajännitteellä tehtävä testaus ei muutenkaan sovi polymeerieristeisten kaapeleiden testaamiseen, koska ne polarisoituvat ja syntyneet sähköstaattiset avaruusvaraukset voivat synnyttää heikkoja kohtia täysin ehjäänkin eristeeseen. On mahdollista, että ehjä kaapeli rikkoontuu testauksen aikana tai elinikä laskee merkittävästi. (Hyv 2003)

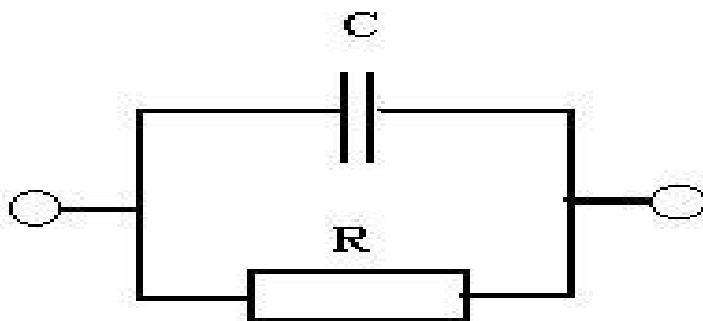
3.2 Dielektrinen vaste

Vasteen mittaamisella tarkoitetaan yleisesti jonkin herätteen aiheuttaman muutoksen mittaamista järjestelmällä. Dielektrisen vasteen mittaaminen on mahdollista, koska jänniteheräte aiheuttaa eristeessä dielektrisiä ilmiöitä, jotka voidaan mitata.

Joutuessaan sähkökenttään eriste polarisoituu, eli sen molekyylien muodostamat sähködipolit kääntyvät sähkökentän suuntaan, koska niiden positiivisiin ja negatiivisiin osiin kohdistuu eri suuntiin vetävä voima. Sähkövirtaa ei kuitenkaan synny kuten johteiden tapauksessa, koska eristeissä ei ole vapaita varauksenkuljettajia. Kun polaaraisuus vaihtuu molekyyli kääntyy ympäri, mutta molekyylien välinen kitka estää tätä, jolloin syntyy häviötä jotka ilmenevät eristeen lämpenemisenä. Vaihtojännitteillä polarisaatio on jo pienillä taajuuksilla suurin häviötä aiheuttava tekijä eristeissä. Polarisaatio ilmenee myös eristeen varautumisena ja varauksen purkautumisena, tämä on yksi ilmiö jota hyödynnetään dielektrisen vasteen tutkimisessa.

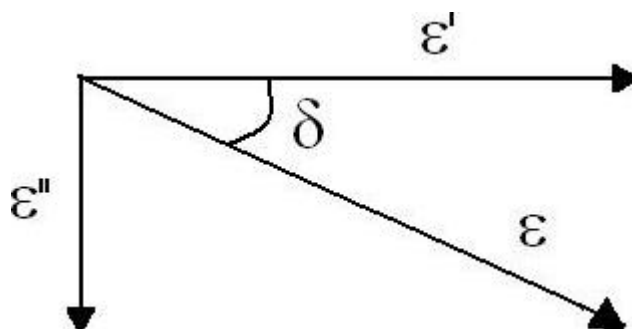
Eristeen dielektristä vastetta voidaan tutkia aika- ja taajuustasossa. Aikatasossa tutkitaan polarisaatio- ja käänteispolarisaatiovirtaa sekä palautuvaa jännitettä ajan funktiona, taajuustasossa tutkitaan häviökerrointa ja kapasitanssia taajuuden funktiona (Hyv 2001).

Eristeet eivät ole ideaalisia, vaan niiden voidaan ajatella vaihtojännitteellä vastaavan kuvassa 3.1 esitettyä kondensaattorin ja vastuksen rinnankytkentää, jossa kapasitanssi C määräytyy polarisaatiosta ja resistanssi R johtavuudesta. Johtuen kapasitanssista ja johtavuudesta, eriste päästää aina hieman virtaa lävitseen, tämän vuotovirran mittaaminen on mahdollista.



Kuva 3.1 Eristeen sijaiskytkentä.

Häviökerroin $\tan\delta$ kertoo kuinka paljon eriste eroaa ideaalisesta. Eristeen permittiviteetti ε on kompleksinen ja se koostuu kuvan 3.2 mukaan polarisaatiosta ε' (jota vastaan sijaiskytkennän kapasitanssi) ja johtavuudesta ε'' (jota vastaa sijaiskytkennän resistanssi). Käytännössä eristeiden johtavuus on todella pieni, joten häviökulma δ määräytyy lähes kokonaan eristeiden polarisaatiosta.

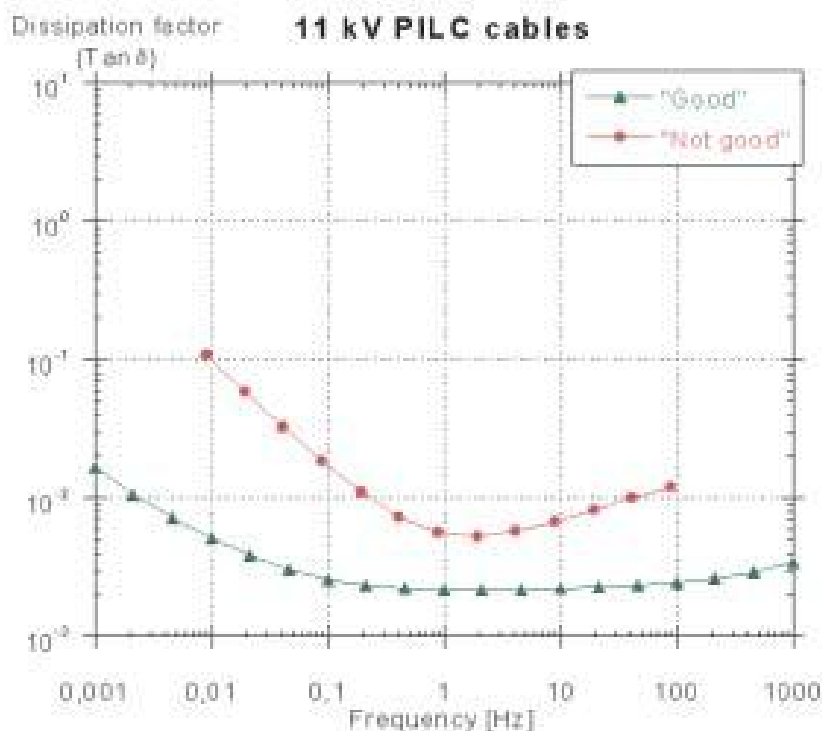


Kuva 3.2 Eristeen kompleksinen permittiviteetti ja häviökulma δ .

Häviökerroin voidaan mitata joko vakiotaaajuudella ja vaihtuvalla jännitetasolla tai vakiojännitteellä ja vaihtuvalla taajuudella. Mitattaessa vakiotaaajuudella on käytettävä hyvin matalaa taajuutta (VLF) 0,1 Hz tai alle jos kaapeli on pitkä, koska suurilla jännitteillä kaapelin kapasitanssi vaatii 50 Hz taajuudella merkittävästi loistehoa. Jos käytettäisiin 50 Hz taajuutta testauslaitteistosta tulisi erittäin iso ja kallis, eikä sen tarvitsemaa suurta tehonsyöttöä ole edes saatavilla kovinkaan monessa mittauspaiikassa. On kuitenkin havaittu

että VLF-menetelmällä saatavat tulokset vastaavat kohtuullisen hyvin normaalilla käyttötaajuudella saatavia tuloksia.

Kun häviökerroin mitataan kiinteällä taajuudella, johtavuutta ja polarisaatiota ei voida erottaa toisistaan, mutta muuttamalla taajuutta ne voidaan erottaa. Käytettäessä vaihtuvaa taajuutta tarvittava testausjännite on vain noin 200 V, joten mittauslaitteiston tehontarve on pieni. Pienillä taajuuksilla johtavuudesta aiheutuvat häviöt dominoivat ja taajuuden kasvaessa polarisaatiosta aiheutuvat häviöt kasvavat, joten mittaamalla häviökerroin laajalla taajuusalueella voidaan johtavuus ja polarisaatio erottaa toisistaan (Hyv 2001). Kuvassa 3.3 on IDA 200 mittausjärjestelmällä mitattu kahden öljypaperieristeisen kaapelin häviökerroin taajuuden funktiona. Kuvasta näkyy selvästi kuinka vanhan kaapelin vaste eroaa uuden vasteesta. Yleisesti häviökertoimen minimiarvon sanotaan kertovan öljypaperieristeen kosteuspuhtaus, tämä ei kuitenkaan pidä paikkaansa kaikilla vanhoilla kaapeleilla, koska vanhentumisen yhteydessä muodostuneiden yhdisteiden vaikutus voi kasvaa selvästi suuremmaksi kuin kosteuden (Hyv 2008).

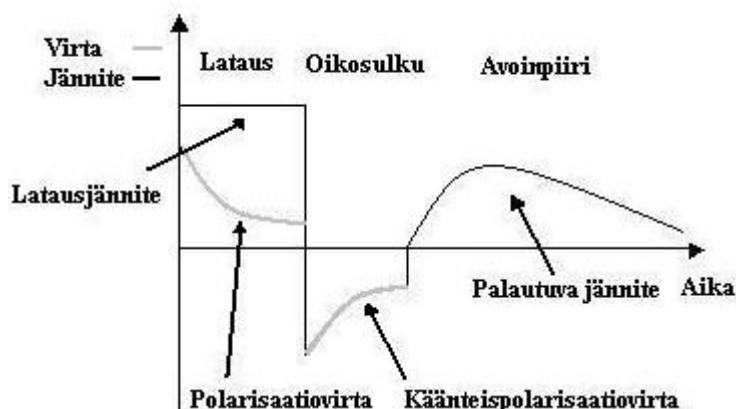


Kuva 3.3 IDA 200 mittausjärjestelmällä mitattuna kahden kaapelin häviökerroin taajuuden funktiona. (Pro 2005)

Häviökertoimen mittaaminen on tehokas tapa tutkia kaapelin eristyksen kuntoa, se kuitenkin kertoo vain eristyksen keskimääräisen kunnon, eikä erittele heikompia kohtia. Esimerkiksi uudehko kaapeli, joka on mekaanisen vaurion vuoksi yhdestä kohtaa vakavasti vesipuiden heikentämänä näyttää yhä hyväkuntoiselta, koska suurin osa eristyksestä

on yhä uutta vastaavassa kunnossa. Myöskään heikentyneiden kohtien paikantaminen ei ole mahdollista ja varsinkin öljypaperieristeisillä kaapeleilla tulos on voimakkaasti riippuvainen lämpötilasta (Oye2 2001).

Mitattaessa polarisaatio- ja käänteispolarisaatiovirtaa sekä palautuvaa jännitettä, kiinnitetään johtimet suojavaippaan ja johtimeen. Tämän jälkeen kaapelia ladataan tasajännitteellä ennalta määrätty aika, tänä aikana mitataan polarisaatiovirta. Latauksen jälkeen johtimet oikosuljetaan ja oikosulun aikana mitataan käänteispolarisaatiovirta, jonka jälkeen virtapiiri avataan ja mitataan palautuva jännite.



Kuva 3.4 Polarisaatiovirta, käänteispolarisaatiovirta ja palautuva jännite.

Vanhentumisesta aiheutuneet rakenteen muutokset, öljyn kostuminen öljypaperieristeisissä kaapeleissa ja vesipuut PEX-eristeisissä kaapeleissa muuttavat dielektristä vastetta. Kun tiedetään suurin piirtein millainen on uuden ja terveen kaapelin vaste, voidaan huonokuntoiset kaapelit tunnistaa. Mittaustulokset ovat riippuvaisia kaapelityypistä ja olosuhteista, joten paras tapa on suorittaa dielektrisen vasteen mittausta käyttöönoton yhteydessä ja verrata myöhemmin uusien mittausten tuloksia käyttöönotossa saatuihin.

Dielektrisen vasteen mittaaminen vaatii yleensä käyttökeskeytyksen, mutta Japanissa on kehityksen alla ja jo käytössä menetelmiä, joilla voidaan havaita vesipuut ja eristyksen yleiskunto käytönaikaisilla mittauksilla (Oye2 2001). Nämä menetelmät ovat kuitenkin vasta suurimmaksi osaksi kehitysasteella, eikä niitä ole paljoakaan asennettuna.

3.3 Osittaispurkausten mittaaminen

Osittaispurkauksella tarkoitetaan sähköpurkausta, joka ei oikosulje elektrodiväliä vaan esiintyy rajoitetulla alueella ja sammuu nopeasti. Erilaisia osittaispurkaustyypppejä ovat eristeen sisäiset purkaukset eli ontelopurkaukset, pintapurkaukset eristeiden pinnalla ja koronapurkaukset johtimien pinnalla. Näistä eristeiden sisäiset purkaukset ovat tärkein tutkittava ilmiö maakaapeleissa.

Eristeen sisäinen osittaispurkaus syttyy kun sähkökentän voimakkuus ylittää paikallisesti eristeen sähkölujuuden. Tällainen alue on esimerkiksi ontelo eristeessä tai eristeen ja puolijohtavan kerroksen rajapinnassa, vesipuu, epäpuhtaus tai jo alkunsa saanut sähköpuu. Osittaispurkaus syttyy ylitettäessä kriittinen kentänvoimakkuus jolloin tapahtuu nopea ionisaatio, joka muodostaa alueeseen vapaita varauksenkuljettajia. Näin alueeseen muodostuu johtava kanava, jonka läpi tapahtuu läpilyönti. Heti kun alue on siirtynyt johtavaan tilaan, kentänvoimakkuus romahtaa lähelle nolaa, tämä johtuu purkauksen aikana siirtyvistä varauksista. Siirtyneet varaukset muodostavat paikallisen avaruusvarauksen, jonka sähkökentän suunta on vastakkainen ulkoiselle kentälle. Kentänvoimakkuuden romahdettua ionisaatio loppuu ja samalla purkaus sammuu. Purkauksessa tapahtuva nopea sähkökentän muutos aiheuttaa mitattavissa olevan pulssin jännitteeseen. Uusi purkaus voi syttyä, vasta kun sähkökenttä alueessa kasvaa ja saavuttaa uudelleen kriittisen rajan. (Hyv 2003)

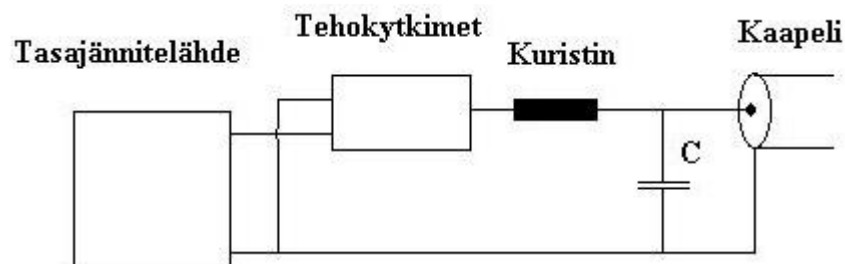
Öljypaperieristeisissä kaapeleissa osittaispurkaukset heikentävät öljyn sähköisiä ominaisuuksia, koska sähköpurkaukset pilkkovat orgaanisia öljymolekyyleja ja jolloin syntyy johtavia hiilihiukkasia sekä muita haitallisia reaktiotuotteita, kuten kaasuja jotka voivat synnyttää uusia onkaloita öljyyn. Liikkuessaan öljy kuitenkin täyttää onkalot, joten osittaispurkaukset eivät ole kovinkaan suuri uhka öljypaperieristykselle pieninä määrinä. PEX-eristeisissä kaapeleissa osittaispurkaukset aiheuttavat sähköpuita, jotka eivät korjaannu ja aikanaan lävistävät koko eristekerroksen, joten käyttöjännitteillä tai pienillä yli-jännitteillä syttyvät osittaispurkaukset rikkovat eristyksen nopeasti.

Osittaispurkauksia mitattaessa pyritään löytämään jännitetaso, jolla osittaispurkaukset syttyvät ja samalla mittaamaan niiden voimakkuus. Mittauksen oikeellisuuden kannalta olisi normaali käyttötaajuus 50 Hz paras mahdollinen, mutta käytännössä mittaukset on suoritettava muilla taajuuksilla, koska maakaapelit vaativat paljon kapasitiivista loistehoa. Käytettäessä 50 Hz taajuutta tulee mittalaitteista suuria, kalliita ja hankalasti siirrettäviä sekä ison tehonsyötön vaativia. Tämän takia on kehitetty useita erilaisia vaihtoehtoisia jännitelähteitä, joiden antamalla jännitteen käyrämuodoilla osittaispurkaukset käyttäytyvät lähes vastaavasti kuin käyttötaajuudella. (Oye 2001)

3.3.1 Erittäin matala taajuus

Erittäin matalan taajuuden (0,1 Hz tai alle) VLF-menetelmä kehitettiin alkujaan sähkökoneiden kunnonvalvontaan, sen jälkeen menetelmää on tutkittu ja käyttöaluetta laajennettu. VLF-menetelmässä käytetään tasajännitelähdettä ja ohjausjärjestelmää, joka muuttaa jännitteen polariteetin, ensimmäisissä versioissa käytettiin mekaanista kommutaattoria

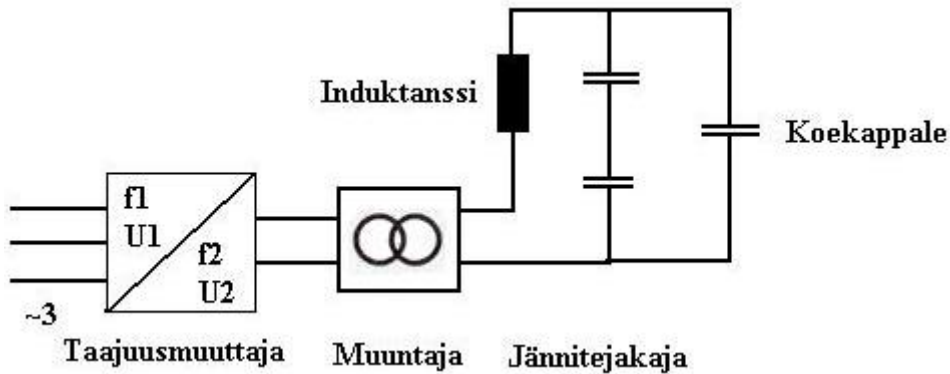
ja uudemmissa käytetään puolijohteilla tehtyjä tehokytkimiä. Kuvassa 3.5 on VLF-laitteiston periaatekuva, jossa näkyvät myös suodatus- ja suojauskondensaattori sekä kuristin. Menetelmän suurimpana etuna on pieni tehontarve testattaessa suuria kapasitiivisia kuormituksia kuten kaapeleita. 0,1 Hz taajuudella suoritettavan mittauksen tehontarve on vain noin viidesosa 50 Hz taajuudella suoritettavasta (Hyv 2003). Kaapeliin ei myöskään kohdistu PEX-kaapeleille haitallista tasajänniterasitusta, koska toteutuakseen tasajänniterasitus vaatii huomattavasti pidemmän ajan samalla polariteetilla kuin mitä VLF-menetelmässä käytettävä 5 s per polariteetti.



Kuva 3.5 VLF-laitteiston periaatekuva.

3.3.2 Sarjaresonanssilaitteet

Sarjaresonanssilaitteissa kaapelin kapasitiivinen osuus kumotaan testauspiirin induktiivisella komponentilla, piiri voidaan toteuttaa rinnan- ja sarjaankytkennällä. Kaapeleita testattaessa käytetään yleensä sarjaankytkentää ja järjestelmät toimivat joko muunnettavalla induktanssilla tai muunnettavalla taajuudella. Ensimmäiset muunnettavalla induktanssia toimivat sarjaresonanssilaitteet otettiin käyttöön 1970-luvun lopulla kaasueristeisten kytkinlaitosten testaamiseen, jonka jälkeen käyttöaluetta laajennettiin kaapeleiden testaamiseen (Hyv 2003). Nykyisin testaamiseen käytetään muunnettavaa taajuutta, koska taajuusmuuttajat ovat kehittyneet merkittävästi ja vakioinduktanssi painaa vain noin kymmenesosan säädettävästä induktanssista. Kuvassa 3.6 on taajuusmuuttajalla varustetun vakioinduktanssilla toimivan sarjaresonanssilaitteiston periaatekuva. Sarjaresonanssi järjestelmä koostuu taajuusmuuttajasta, muuntajasta, vakioinduktanssista ja jännitejakajasta. Taajuusmuuttajalla muutetaan taajuutta, niin että järjestelmään saadaan resonanssitaajuus f yhtälön (3.1) mukaan. Järjestelmä on pyritty suunnittelemaan niin, että resonanssitaajuus vaihtelee välillä 25 – 500 Hz, mukaan voidaan tarpeen mukaan liittää lisää induktansseja. Jännitejakaja toimii myös tarvittavana minikuormana, jota ilman järjestelmä ei toimisi.

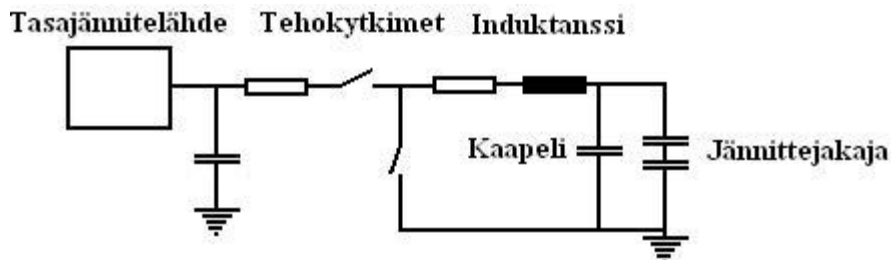


Kuva 3.6 Sarjaresonanssilaitteiston periaatekuva.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.1)$$

3.3.3 Vaimeneva vaihtojännite

Vaimeneva vaihtojännite (DAC) perustuu resonanssiin, joka luodaan kaapelin kapasitanssista ja rinnalle kytkettävästi induktanssista. Testin alussa kaapelia ladetaan noin 5 s tasajännitteellä, jonka jälkeen tasajännitelähde kytketään irti ja induktanssi kytketään kaapelin rinnalle. Näin syntyy värähtelypiiri, jonka taajuus on tyypillisesti luokkaa 50 – 1000 Hz. Vanhoissa järjestelmissä vaihtokytkimenä käytettiin kipinäväliä, uusissa käytetään tehovuolihoiteilla tehtyjä kytkimiä. Testauspiirin häviöt määrittelevät, kuinka nopeasti syntynyt värähtelypiiri vaimenee. Kaapelin ei kohdistu tasajänniterasitusta, koska tasajännitettä ei pidetä yllä ja latauksen tasajänniterasitus on suurin piirtein samaa luokkaa kuin käytettäessä VLF-menetelmää. Kuvassa 3.7 on vaimenevaa vaihtojännitettä käyttävän mittausjärjestelmän periaatekuva.



Kuva 3.7 DAC periaatekuva.

3.3.4 Purkausten paikantaminen

Osittaispurkausten paikan määrittäminen on mahdollista, paikantamiseen voidaan käyttää sähköisiä menetelmiä tai akustista paikantamista. Sähköiset menetelmät perustuvat osittaispurkausten aiheuttamien jännitepulssien väliseen aikaeroon. Osittaispurkauksesta syntynyt pulssi etenee purkauksesta kohti kaapelin molempia päitä. Mittausten aikana

kaapelin toinen pää on avoin, jolloin pulssi heijastuu siitä takaisin, joten mittaamalla aika-ero mittapähän saapuneiden pulssien välillä voidaan laskea purkausten syntykohdan etäisyys mittapäästä. Jotta paikka voidaan määrittää, tarvitsee tietää pulssien etenemisnopeus kaapelissa ja kaapelin pituus. Etenemisnopeus selvitetään mittauksen kalibrointivaiheessa testipulssilla ja kaapelin pituus asennustiedoista tai jos niitä ei ole saatavilla niin täytyy tyytyä parhaaseen arvaukseen. Ongelmia tulee jos kaapelia on jatkettu toisen tyyppisellä kaapelilla (esimerkiksi öljypaperieristeistä kaapelia PEX-eristeisellä), koska eri tyyppisissä kaapeleissa pulssien etenemisnopeudet ovat toisistaan poikkeavia, tällöin täytyy tietää suhteellisen tarkasti kuinka paljon kumpaakin kaapelia on. Muita paikannukseen liittyviä ongelmia ovat mittausjärjestelmän kaistanleveys, näytteistystaajuus, resonanssin aiheuttamat värähtelyt ja pulssien vaimeneminen (Hyv 2003).

Osittaispurkauksen akustisessa paikantamisessa käytetään herkkiä ääntentunnistus antureita. Mittauksissa sensoria viedään kaapelin lähelle ja katsotaan tapahtuuko osittaispurkauksia. Mittaukset voidaan suorittaa järjestelmän ollessa normaalissa käyttötilassa, tällöin erityisesti kaapelipäätteiden viat ovat helposti tunnistettavissa. Maanalaisia kaapeliosuuksia ei tietenkään voi tutkia akustisilla menetelmillä.

Sähköisiä ja akustisia sensoreita voidaan liittää kaapeleihin niiden vetovaiheessa, tällöin on mahdollista tutkia kaapelin tilaa jatkuvatoimisesti ilman käyttökeskeytystä. Sensorit ovat kuitenkin kalliita, joten jatkuvatoimisia mittauksia on asennettuna vain suurjännitteisiin ja toiminnaltaan kriittisiin kaapeleihin (Hyv 2003).

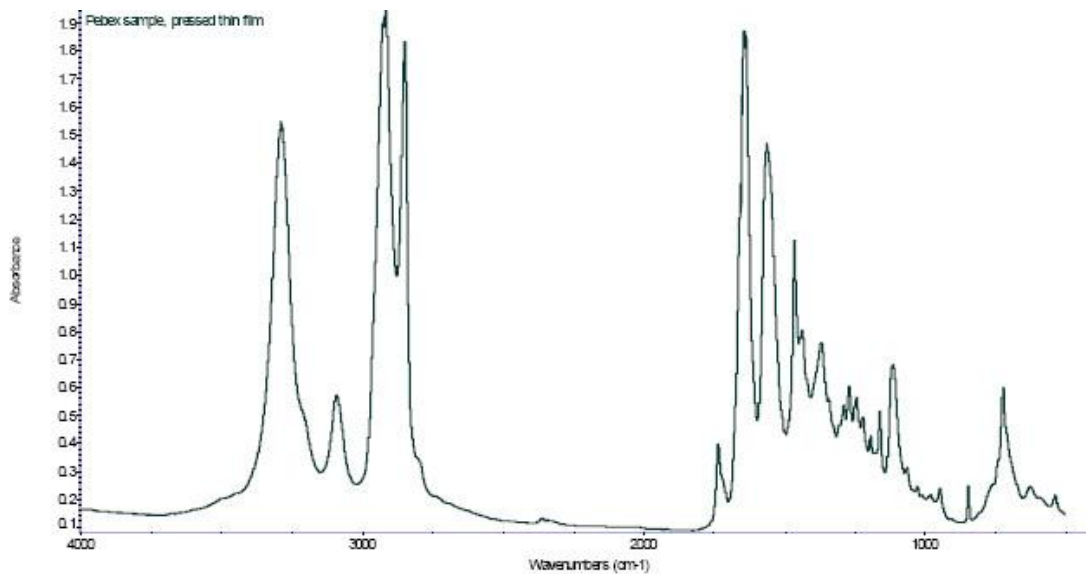
3.4 FTIR-analyysi

Fourier transformed infrared (FTIR) analyysi on tapa selvittää näytteestä aineen rakennetta ja koostumusta, se soveltuu hyvin orgaanisten aineiden ja polymeerien tutkimiseen. Menetelmä perustuu aineen infrapuna-säteilyn absorptiospektrin mittaamiseen, erilaiset molekyyliden sidokset ja eri aineet absorboivat infrapuna-säteilyä eri energioilla. Menetelmä vastaa kemiallista analyysiä, mutta sen suorittamiseen ei tarvita perinteisiä laboratoriovälineitä ja se on nopeaa. Käytettäessä FTIR-analyysiä tarvitaan kaapelista näytepala, joka voidaan ottaa esimerkiksi vikakorjauksen yhteydessä.

Tavallisessa infrapuna-spektroskopiassa käytetään monokromaattoria, jonka avulla käydään läpi koko taajuusalue ja tutkitaan absorption määrä jokaisella taajuudella erikseen. Tämä menetelmä on hidas ja monokromaattori on kallis. FTIR-menetelmässä näytettä valaistaan infrapuna-säteilyllä ja näytteen läpäissyt säteily ohjataan interferometriin ja kerätylle signaalille suoritetaan Fourier-muunnos, näin saadaan yhdellä mittauksella samat tiedot kuin normaalilla infrapuna-spektroskopiolla. Menetelmä on nopeampi ja halvempi,

koska interferometri on huomattavasti halvempi komponentti kuin monokromaattori, nykyään käytännössä kaikki infrapuna-spektroskopia-laitteet käyttävät FTIR-menetelmää.

FTIR-analyysin tuloksena saadaan kuvan 3.8 mukainen kuvaaja, jossa on aaltoluvun funktiona absorboitunut energiamäärä. Näytteen koostumuksen selvittämiseksi kuvaajan huippujen paikkoja ja muotoa verrataan ennalta tunnettuihin aineiden ja sidosten absorptiospektreihin, jos tutkittava näyte on koostumukseltaan monimutkainen täytyy spektrin tulkitsijan omata laajat tiedot kemiasta.



Kuva 3.8 FTIR-analyysin tulokuvaaja, jossa on absorptio määrä aaltoluvun funktiona. (Ide 2009)

FTIR-analyysillä voidaan havaita PEX-eristeen kemiallisia muutoksia kuten polymeeriketjujen rakennetta, vapaiden radikaalien esiintymistä, kosteuspitoisuutta ja muita mahdollisia epäpuhtauksia. Eristeen jännitekestoisuuden ja joidenkin karbonyyliryhmien esiintymisen välillä on selvä korrelaatio, joten niiden esiintymistä tutkimalla voidaan arvioida PEX-eristeen kuntoa (Hyv 2008). Öljypaperieristeestä analyysi kertoo öljyn kosteus- pitoisuuden ja muiden epäpuhtauksien määrän.

4 Mittalaitteita

Tässä osiossa esitellään muutamia yleisimpiä mittalaitteita ja niiden antamia mittaustuloksia.

4.1 Megger MIT1020

Megger Group Limited on 1800-luvulla perustettu mittalaitteita valmistava yritys, jonka tuotteet ovat de facto standardi erityisesti eristysresistanssimittauksissa. Maailman ensimmäisen kannettava eristysresistanssimittari oli yrityksen ensimmäinen tuote.

Megger MIT1020 on tuoreimman eristysresistanssimittarimalliston lippulaiva, se on ensisijaisesti tarkoitettu eristysresistanssin mittaamiseen mutta siihen on liitetty myös monia muita hyödyllisiä mittauksia. Eristysresistanssi voidaan mitata jännitealueella 50 V – 10 kV ja suurin mitattava arvo on 35 TΩ, lisäksi laitteella voidaan mitata polarisaatioindeksi, vuotovirta, kapasitanssi, polarisaatio- ja käänteispolarisaatiovirta sekä palautuva jännite. Eristysresistanssin mittaamisessa käytettävä tasajännite ei ole erityisen hyvin soveltuva PEX-eristeisille kaapeleille, niiden huonon tasajännitekestoisuuden vuoksi. Millään laitteen mittauksilla ei voi myöskään havaita osittaispurkauksia. Mittaustulokset voidaan tallentaa ja siirtää tietokoneella joko RS232 tai USB portin kautta.

Laitteella ei voi mitata häviökerrointa, joka on parhaiten kaapelin eristyksen kuntoa kuvaava dielektrinen testi, mutta erillisen häviökerrointa mittaavan laitteen hankkimista ei pidetä tarpeellisenä. Ennen kaikkea Megger MIT1020 on luotettava, helppokäyttöinen ja sen kanssa saadaan jokaisessa asennuksessa tehtävän eristysresistanssin mittauksen kanssa samalla tehtyä muitakin eristyksen kunnosta kertovia testejä. (Meg 2010)



Kuva 4.1 Megger MIT1020 mittalaite. (Meg 2010)

4.2 Megger IDAX 300

Megger IDAX 300 on tarkoitettu ensisijaisesti muuntajien koestamiseen, mutta se soveltuu hyvin myös kaapeleille. IDAX 300 suorittaa häviökertoimen mittaamisen taajuuden funktiona laajalla taajuusalueella ja laitteen mukana tulevalla ohjelmistolla voidaan tehdä saadulle kuvaajalle lämpötilakorjaus ja muuntajien tapauksessa saada suoraan arvio öljyn

kosteuspitoisuudesta ja johtavuudesta. Lämpötilakorjaus on hyödyllinen koska häviökerroin on voimakkaasti lämpötilasta riippuvainen ja näin voidaan helposti verrata toisiinsa eri lämpötiloissa saatuja arvoja, vaikei korjausta tehtäisikään niin kuvaajan muodosta voidaan arvioida eristyksen kuntoa. (Meg 2010)



Kuva 4.2 Megger IDEX 300 mittalaite. (Meg 2010)

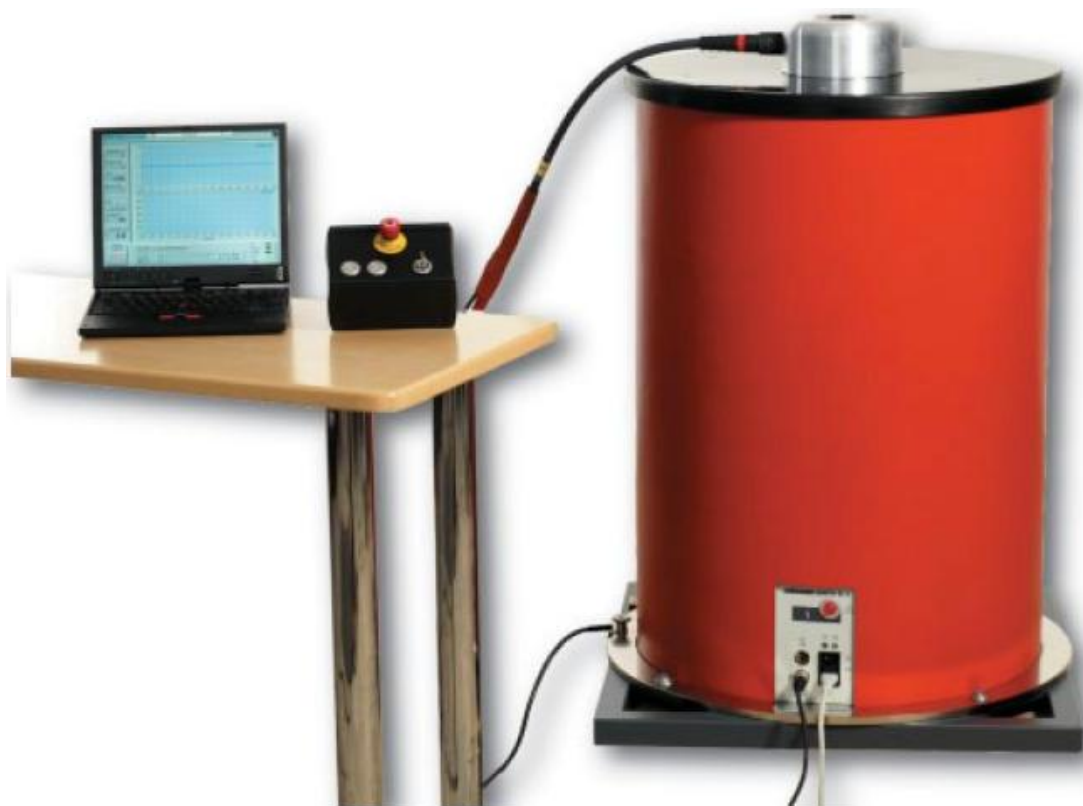
4.3 HDW Electronics OWTS M60

HDW Electronics on vuonna 1987 USA:han perustettu saksalaisen HDW AG:n tytäryhtiö. 80-luvulla HDW keksi ja patentoi vikapaikkaan syytettävän valokaareen perustuvan menetelmän kaapelivikojen paikantamiseen ja nykyään sillä on laaja valikoima kaapelivikojen paikantamiseen käytettäviä laitteistoja.

OWTS M60 (Oscillating Wave Test System) on mittausjärjestelmä osittaispurkausten mittaamiseen ja paikantamiseen. Se perustuu vaimenevan vaihtojännitteen (DAC) käyttöön, laitteisto koostuu kannettavasta tietokoneesta ja korkeajänniteyksiköstä, johon on integroitu jännitelähde, tehokytkimet, kela ja mittausanturit. Kannettava tietokone toimii mittausten tallennus- ja analysointiasemana sekä WLAN asemana. Mittaustiedot siirtyvät langattomasti korkeajänniteyksiköstä kannettavalle tietokoneelle, vanhemmissa versioissa kannettavan tietokoneen paikalla on tietokoneen ja tasajännitelähteen yhdistelmä joka liitetään korkeajänniteyksikköön kaapeleilla. Korkeajänniteyksikkö painaa noin 80 kg ja on riittävän pieni kuljetettavaksi normaalilla henkilöautolla. Suurin koestusjännite on 42 kV, mutta sähkönsyötöksi riittää normaali pistorasia.

Mittaustuloksina saadaan osittaispurkausten voimakkuus ja niiden syytyminen suhteessa oskilloivan jännitteen vaiheeseen, siitä syytykö osittaispurkaus nousevalla vai laskevalla aallon reunalla vai molemmilla voidaan koittaa päätellä osittaispurkauksen aiheuttajaa (Hyv 2003). Ohjelmisto osaa myös paikantaa automaattisesti purkausten paikan, kunhan mittalaitteisto on kalibroitu ja kaapelin pituus tiedossa, paikantaminen onnistuu oikeiden lähdetietojen kanssa useimmiten muutaman metrin tarkkuudella. OWTS eri versioineen

onkin tällä hetkellä Suomessa yleisin maakaapeleiden osittaispurkausten mittausjärjestelmä. (HDW 2010)



Kuva 4.3 OWTS M60 mittalaitteisto. (HDW 2010)

5 Mittausten hyödyntäminen Helsingin Energialla

Helsingin Energialla kunnonvalvontamittaukset on ulkoistettu Polartest Oy:lle, käyttöön ottoon liittyvät mittaukset suorittaa pääasiassa verkostourakasta vastaavan yhtiön henkilökunta (tällä hetkellä SEU ja Empower), lisäksi oma henkilökunta tekee joitakin käyttöönottoon liittyviä mittauksia.

Uuden kaapelivälin käyttöönotossa tarkastetaan oikea vaihejärjestys ja mitataan eristysresistanssi, osittaispurkausmittauksen ottaminen osaksi käyttöönottomittauksia on harkinnassa. Uusimman sähköaseman käyttöönotossa mitattiin kokeiluluonteisesti kaikki lähtevät kaapeliyhteydet ensimmäiseen muuntamoon asti. Kaapelivaurion korjauksen yhteydessä kaapelille suoritetaan samat mittaukset kuin uuden kaapelivälin käyttöönotossa ja osittaispurkausmittauksen ottaminen osaksi mittauksia on harkinnassa.

Kaapeleille ei tehdä säännöllisiä kunnonvalvontamittauksia, mutta noin 15 % keskijänniteverkosta on mitattu projektimaisena toimintana. Kahdessa tapauksessa on jatkos lähetetty tutkittavaksi mittaustulosten perusteella, joissain tapauksissa mittauksia on toistettu

ja erityisesti öljypaperieristeisillä kaapeleilla mittaustulokset ovat vaihdelleet huomattavasti. Kaikki tähän mennessä havaitut heikot kohdat ovat kohdistuneet jatkoihin ja päätteisiin, itse kaapeleissa ei ole havaittu selvää heikkenemistä. Yleensäkin kaapelivauriot ilman ulkoista syytä ovat suorassa kaapelissa äärimmäisen harvinaisia, vaurion sattuessa on jatkoja ja päätteitä lähetetty jatkotutkimuksiin. (Haastattelu 2009)

6 Johtopäätökset

Kunnonvalvontamenetelmät ovat kehittyneet merkittävästi viimeisen vuosikymmenen aikana, mutta uusien menetelmien käyttö ei ole ainakaan Suomessa yleistynyt kovinkaan nopeasti. Eristysresistanssin mittaaminen on usein ainoa käytetty menetelmä, vaikka se antaa huomattavasti suppeamman kuvan kaapelijärjestelmän kunnosta kuin uudemmat menetelmät. Osittaispurkausmittaus yhdistettynä dielektrisen vasteen mittaamiseen kertovat kohtuullisen tarkasti kaapelin ja sen varusteiden kunnan. Ne paljastavat myös kaapelien piilevät vauriot kuten vesi- ja sähköpuut, asennusvirheet sekä kostumisen, jotka jäävät huomaamatta eristysresistanssimittauksella. Osittaispurkausmittaus on tulossa osaksi uuden kaapelin asennuksen ja vikakorjausten jälkeen tehtäviä koestuksia, mutta säännöllisiä kunnonvalvontamittauksia ei ole toistaiseksi suunnitteilla.

Toisaalta ei ole tutkittua tietoa säännöllisen kunnonvalvonnan kuluista suhteessa saatuun hyötyyn. Mittaukset vaativat käyttökeskeytyksen ja ovat kohtuullisen aikaa vieviä sekä mittalaitteet ja henkilökunnan koulutus maksavat. Saatua hyötyä on vaikea mitata, koska todella kriittisiä kaapeliosuuksia on vähän ja muista kuin ulkoisista syistä johtuvia kaapelivaurioita on toistaiseksi tapahtunut todella vähän. Myöskään mittaustulosten ja kaapelin jäljellä olevan eliniän yhteydestä ei ole olemassa tarkkaa tilastoitua tietoa, tilanne kuitenkin paranee ajan myötä mittausten yleistyessä.

Tulevaisuudessa olisi suotavaa suorittaa tarkastelu missä laajuudessa kunnonvalvonnan suorittaminen on taloudellista, esimerkiksi saavutetaanko säännöllisesti tietyn vuosimäärän välein suoritettavalla tarkastuksella todellista säästöä verrattuna satunnaisesti tilanteen salliessa tehtäviin tarkastuksiin.

LÄHDELUETTELO

- (Hyv 2003) Petri Hyvönen. Keski­jännitteisten maakaapelijärjestelmien osittaispurkausmittaukset käyttö­paikalla. Lisensiaatintyö, TKK 2003. ISBN 951-22-6547-8
- (Aro 1996) Aro, Elovaara, Karttunen, Nousiainen, Palva. Suurjännitetekniikka, Otatiето, Espoo 1996, ISBN 951-672-226-1
- (Hyv 2001) Petri Hyvönen. Dielektrisen vasteen mitta­usmenetelmien teoreettinen perusta. Raportti TKK-SJT-46, TKK 2001, ISBN 951-22-5395-1
- (Hyv 2008) Petri Hyvönen. Prediction of insulation degradation of distribution power cables based on chemical analysis and electrical measurements. Väitöskirja. TKK 2008. ISBN 978-951-22-9402-1
- (Oye 2001) Bolarin Oyegoke, Petri Hyvönen, Martti Aro. Partial Discharge Measurement as Diagnostic Tool for Power Cable Systems. Raportti. TKK-SJT-45. TKK 2001. ISBN 951-22-5394-1
- (Oye2 2001) Bolarin Oyegoke, Petri Hyvönen, Martti Aro. Dielectric response measurements as diagnostic tool of power cable systems. Raportti. TKK-SJT-47. TKK 2001. ISBN 951-22-5396-8
- (Pro 2005) Programma Electric AB. IDA 200 tuote-esite. [Viitattu 15.11.2009]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.gpower.com/prod_serv/products/electrical_test/en/downloads_new/down_en/ins_diag/ida200_en.pdf](http://www.muodossa:www.gpower.com/prod_serv/products/electrical_test/en/downloads_new/down_en/ins_diag/ida200_en.pdf)
- (Tyc 2009) Tyco Electronics Raychem. Tuoteluettelo. [Viitattu 20.11.2009]. Saatavilla [www-muodossa: http://energy.tycoelectronics.com/countries/finland/tuoteluett_05.pdf](http://energy.tycoelectronics.com/countries/finland/tuoteluett_05.pdf)
- (Rek 2009) Reka Kaapeli Oy. Tuote-esite. [Viitattu 2.11.2009]. Saatavilla [www-muodossa: http://www.reka.fi/products/dryrex/AHXCMK-WTC%252FPE_6_Alumiinivoimakaapeli](http://www.muodossa:www.reka.fi/products/dryrex/AHXCMK-WTC%252FPE_6_Alumiinivoimakaapeli)

- (Ele 2009) Electrical India, syyskuu 2009. Lehti. [Viitattu 7.11.2009]. Saatavilla www-muodossa:
http://www.dow.com/PublishedLiterature/dh_0314/0901b80380314d05.pdf?filepath=wire/pdfs/noreg/310-12101.pdf&fromPage=GetDoc
- (Hvi 2008) Sverre Hvidsten, Stine Kvande, Karl-Michael Jäger. Severe Degradation of the Conductor Screen of Service and Laboratory Aged Medium Voltage XLPE Insulated Cables and Cable Models. Esitelmä. [Viitattu 10.11.2009]. Saatavilla www-muodossa:
http://ewh.ieee.org/soc/pes/icc/subcommittees/subcom_a/Presentations/Spring08/A5.Hvdisten.pdf
- (Lor 2005) Trevor Lord. A Discussion Paper with Particular Reference to MV XLPE Power Cable Assets, marraskuu 2005. WWW-sivu. [Viitattu 12.11.2009]. Saatavilla www-muodossa:
<http://www.lordconsulting.com/techpapers/feb06/cable-management.php>
- (Ide 2009) IDES. WWW-sivu. [Viitattu 28.11.2009]. Saatavilla www-muodossa:
http://www.ides.com/articles/testing/2008/FTIR_Analysis.asp
- (Meg 2010) Megger Group Limited, laitevalmistajan kotisivut. WWW-sivusto. [Viitattu 12.1.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<http://www.megger.com/eu/index.php>
- (HDW 2010) HDW Electronics, Inc, laitevalmistajan kotisivut. WWW-sivusto. [Viitattu 18.1.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<http://www.hdwelectronics.com>

HAASTATTELUT

- (Haastattelu 2009) Sähköpostihaastattelu 21.12.2009. Hankesuunnittelupäällikkö Kati Kettunen. Helen Sähköverkko Oy, Helsingin Energia.