



Open your mind. LUT.

Lappeenranta University of Technology

**MAAKAAPELEIDEN ELINKAARI JA KUNNONVAL-
VONTA HAJA-ASUTUSALUEELLA**
**Life cycle and condition monitoring of underground
cables at sparsely populated areas**
Samuel Heino

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikka

Samuel Heino

Maakaapeleiden elinkaari ja kunnonvalvonta haja-asutusalueella

2019

Kandidaatintyö.

30 s.

Tarkastaja: Tutkijaopettaja, TkT Jukka Lassila

Sähköverkon maakaapelointi on lisääntynyt reilusti haja-asutusalueella vuoden 2013 sähkömarkkinalain laatuvaatimusten johdosta. Asemakaava-alueiden ulkopuoliset sähköverkot on perinteisesti toteutettu ilmajohdoin, joiden heikkoutena on vikaantumisherkyys vaikeissa sääolosuhteissa lumikuormien ja myrskyjen aikana. Koska maakaapeleita asennetaan huomattavan paljon lyhyen aikajakson sisällä, on sähköverkkoyhtiölle mielekäästä saada luotettavaa informaatiota kaapelin kunnosta, jotta verkon saneeraamisen ajoitus onnistuu mahdollisimman hyvin.

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on selvittää erilaisia kaapelijärjestelmien vikaantumiseen ja käyttöikään vaikuttavia tekijöitä, sekä kuinka kaapelin kuntoa voitaisiin analysoida eri kunnonvalvontamenetelmillä. Kunnonvalvontaa tarkastellaan sekä virrattomana että käytön aikana tapahtuvan valvonnan kannalta. Tarkasteltaviksi kunnonvalvontamenetelmiksi päättyivät eristysresistanssin, ulkovaipan eheyden, osittaispurkauksien ja häviökertoimen mittaaminen sekä FTIR-analyysi.

Asiasanat: kunnonvalvonta, sähköjakeluverkko, osittaispurkaus, häviökerroin, laatu

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Electrical Engineering

Samuel Heino

Life cycle and condition monitoring of underground cables at sparsely populated areas

2019

Bachelor's Thesis.

30 p.

Examiner: Associate Professor, D.Sc (Tech) Jukka Lassila

The alteration to the Electricity Market Act in year 2013 has caused underground cabling to increase in an abundant manner. Electricity grids outside urban areas would traditionally be made with overhead lines, which tend to be vulnerable to weather conditions such as snow loads and storms. Because significant amounts of underground cables are installed during a short period of time, it is in the electrical grid company's interest to gain reliable information about the true condition of the cables to time the redevelopment of the grid correctly.

The purpose of this bachelor's thesis is to examine different factors that have an effect on the lifetime of underground cables and how faults can arise in these cable systems. Condition monitoring with different methods is also examined, both online and offline. The condition monitoring methods chosen for examination are insulation resistance, serving integrity, partial discharge and dissipation factor measurements, as well as FTIR analysis.

Keywords: condition monitoring, electricity distribution, partial discharge, dissipation factor, quality

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1.	Johdanto.....	6
1.1	Työn tavoitteet ja rakenne	6
2.	Toimintaympäristö	8
2.1	Sähkömarkkinalaki	8
2.2	Verkon ikääntyminen	8
2.3	Maakaapelointi haja-asutusalueella.....	10
3.	Verkon toimintavarmuus	13
3.1	Suunnittelun vaikutus rakentamisen laatuun	13
3.2	Kaivuu, auraus ja kaapelinveto.....	14
3.3	Jatkot ja päätteet	18
3.4	Kaapelin ikääntyminen	19
3.5	Verkonrakennuksen laadunvalvonta.....	19
3.5.1	Laadunhallinta rakennuskohteissa.....	20
3.5.2	Verkkoyhtiön harjoittama laadun- ja kunnonvalvonta	21
4.	Kunnonvalvonta	22
4.1	Eristysresistanssin mittaus	23
4.2	Ulkovaipan eheyden mittaus	23
4.3	Osittaispurkauksien mittaaminen	23
4.4	FTIR-analyysi.....	24
4.5	Häviökerroinmittaus	25
5.	Yhteenveto.....	27
	Lähteet	29

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

DAC	Damped Alternating Current, vaimeneva vaihtojännite
FTIR	Fourier Transformed Infrared, infrapunasäteilyn absorptiospektrin mittaus
on-line	jännitteinen mittaus
off-line	jännitteetön mittaus
PEX	ristisilloitettu polyeteeni
SRE	kaapelinsuojaputki vaikeisiin olosuhteisiin
TDR	Time Domain Reflectometry, kulkuajamittaus
VLF	Very Low Frequency, pienitaajuinen jännite

1. JOHDANTO

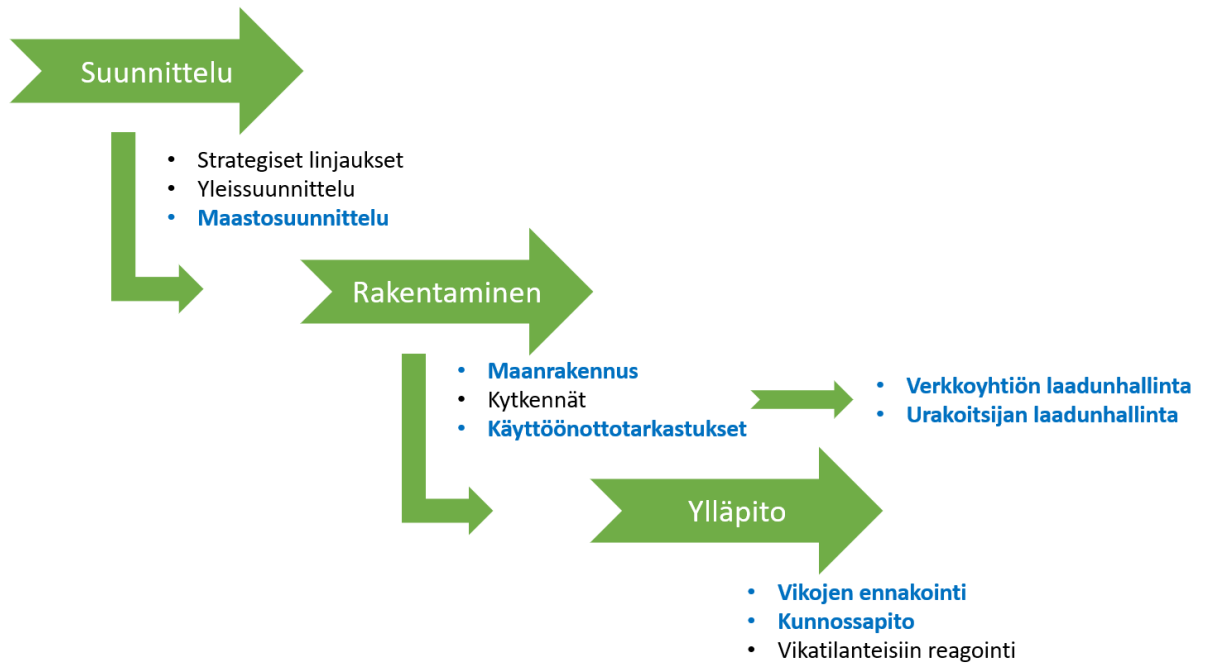
Sähköä käytetään arkipäiväisiin ja välttämättömiin toimiin kuten talon lämmitykseen tai käyttöveden lämmitykseen. Sähkön välttämättömyysluonteesta johtuen sähkönjakelun liiketoimintaa säädelään viranomaisten toimesta. Vuonna 2013 säädetyn sähkömarkkinalain vaatimusten mukaan jakeluverkon suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa on otettava huomioon, että yksittäinen sähkökatkon kesto ei asemakaava-alueella saa olla yli 6 tuntia. Tämän ulkopuolisilla alueilla, haja-asutusalueilla, vastaavan keskeytyksen aikaraja on 36 tuntia. Valvonnan on tarkoitus varmistaa, että sähkön hinta pysyy kohtuullisena ja jakeluverkon kunto pysyy tasavertaisena asuinpaikasta riippumatta.

Maakaapeleita on perinteisesti käytetty vain kaupungeissa ja muilla tiheästi asutetuilla alueilla, kun taas haja-asutusalueella on käytetty pääsääntöisesti ilmajohtoa. Ilmajohdot ovat kuitenkin vikaherkkiä luonnonilmiöiden kuten lumikuormien ja myrskyjen sattuessa, ja vanha verkko alkaa ennen pitkää lähestymään käyttöikänsä loppupäätä. Viime aikoina maakaapeli onkin ollut kasvava investointikohde myös haja-asutusalueella. Maakaapelin asennuskustannukset ovat viime vuosina olleet laskussa kaivuutekniikan sekä kaapelirakenteiden kehittyessä, joten monissa kohteissa maakaapelin toimintavarmuus saattaa pitkällä aikavälillä kompensoida kalliita investointikustannuksia.

Maakaapelien asennuksen yleistyessä haja-asutusalueilla, on verkkoyhtiön mieluista pysyä kartalla kaapelien todellisesta kunnosta, jotka haja-asutusalueen vaihtelevista asennusolosuhteista johtuen saattavat erota suurestikin.

1.1 Työn tavoitteet ja rakenne

Työssä on tarkoitus esittää haja-asutusalueella olevan maakaapelin elinkaareen vaikuttavia tekijöitä sekä kunnonvalvontamenetelmiä, joilla kaapelin kuntoa voitaisiin tarkastella. Työssä esitellään maakaapelin kaivuuseen ja asentamiseen sisältyviä riskitekijöitä, jotka on hyvä tiedostaa kaapeliverkkoa suunnitellessa ja rakentaessa, sekä peruseriaatteiltaan erilaisia kunnonvalvontamenetelmiä, joiden avulla kaapelin kuntoa voitaisiin arvioida sekä mahdollisia vikakohtia tunnistaa ennalta. Kandidaatintyö on toteutettu kirjallisuuskatsauksen avulla, ja työssä tuodaan myös esille verkkoyhtiön ja urakoitsijan näkemyksiä kirjallisuudesta ja haastattelun avulla. Kuvassa 1.1 esitetään verkonrakennuksen vaiheet, kuvaan on merkitty sinisellä korostettuna aiheet, johon tämä työ keskittyy:



Kuva 1.1. Työn keskeiset aiheet korostettuna sinisellä.

Työssä keskitytään verkonrakennuksen laatuun vaikuttaviin tekijöihin sekä kunnonvalvontaan, joten strategisten linjausten käsittely ja yleissuunnittelun tarkasteleminen rajattiin pois työstä. Lisäksi pois rajattiin myös kytkentöjen tarkempi tarkastelu sekä verkonhaltijan ja urakoitsijan tapa reagoida vikatilanteisiin.

2. TOIMINTAYMPÄRISTÖ

Sähköverkko koostuu kanta- ja jakeluverkosta ja voidaan jakaa suur-, keski- ja pienjänniteverkkoon käytettävän jännitteen mukaan. Suurjännite käsittää 400, 220 ja 110 kV jännitteet ja keskijännite 1-70 kV jännitteet. Pienjänniteverkko kattaa puolestaan yli 0.4 kV, mutta alle 1 kV jännitteet. Suomen kantaverkkoa, eli pitkien etäisyyksien siirtoa tuotantolaitoksilta, hallinnoi Fingrid Oyj, kun taas jakeluverkkojen sähkönsiirrosta vastaavat verkkoyhtiöt. Tässä työssä keskitytään verkkoyhtiöiden keskijännitteisiin jakeluverkkoihin erityisesti haja-asutusalueella. (Heikkilä, 2014)

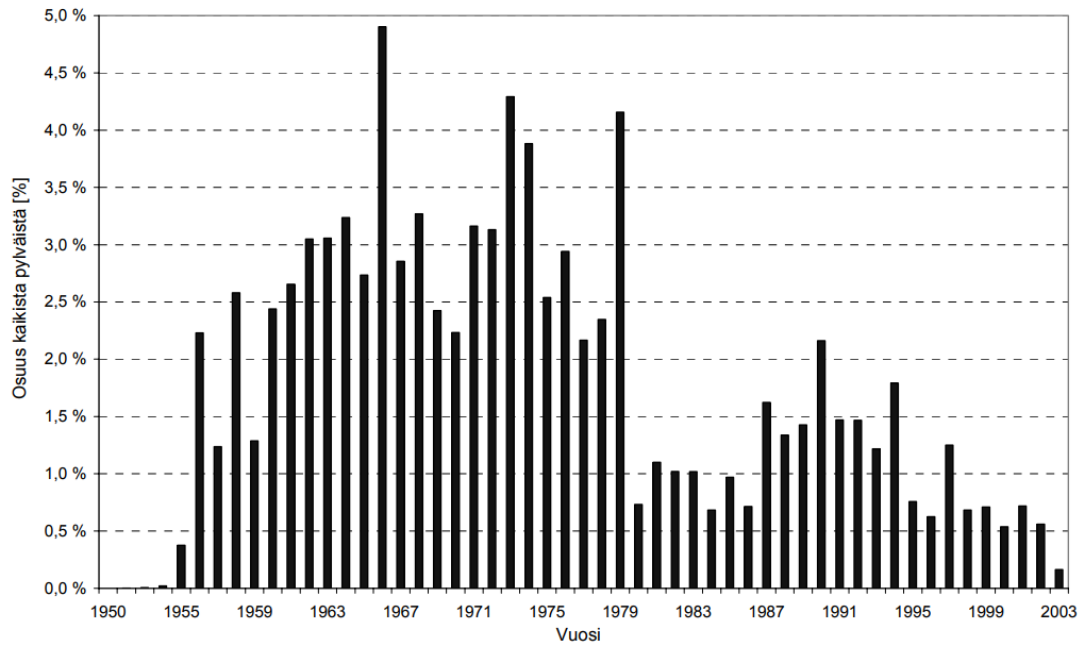
Haja-asutusalueen verkko koostuu tyypillisesti pitkien etäisyyksien siirrosta pienillä kuormilla. Koska sähköverkon toimintavarmuuden ylläpito on kalleinta haja-asutusalueella vaihtelevan maaston ja pitkien etäisyyksien vuoksi, on verkkoyhtiölle erityisen tärkeää löytää kustannustehokas ja toimiva ratkaisu sähköverkon toteuttamiseen. Tässä kappaleessa tarkastellaan haja-asutusalueen verkon kehitystä. Lisäksi esitellään vuonna 2013 voimaan tullutta sähkömarkkinalakia ja sen vaikutuksia sähköverkon toteuttamistapaan.

2.1 Sähkömarkkinalaki

Sähkönjakelu on liiketoimintana monopoliasemassa ja viranomaisten valvomaa. Vuonna 2013 voimaan tulleen sähkömarkkinalain mukaan jakeluverkon käyttökatkoksen kesto saa olla korkeimmillaan 6 tuntia asemakaava-alueella, ja 36 tuntia haja-asutusalueella. Sähkön käyttäjä on oikeutettu lain määräämään vakiokorvaukseen sähköntoimituksen keskeytyessä yhtäjaksoisesti, jos sähkön toimittaja ei voi osoittaa keskeytyksen johtuneen vaikutusmahdollisuuksiensa ulkopuolella olevasta tekijästä. Korvaus on prosentuaalinen osuus vuotuisesta siirtopalvelumaksusta, jonka määrä riippuu katkon kestosta. (Finlex, 2013)

2.2 Verkon ikääntyminen

Verkon ikääntyminen tuo osaltaan painetta verkon saneeraamiselle. Ongelmia muodostavat erityisesti ilmajohtoja kannattelevat puupylväät, jotka ovat monin paikoin lahoamassa tai muuten käyttökänsä loppupäässä. Kuvassa 2.1 on esitetty erään sähköverkkoyhtiön puupylväiden rakennusvuodet.



Kuva 2.1 Puupylväiden rakennusvuodet eräässä sähköyhtiössä. (Lohjala, 2005).

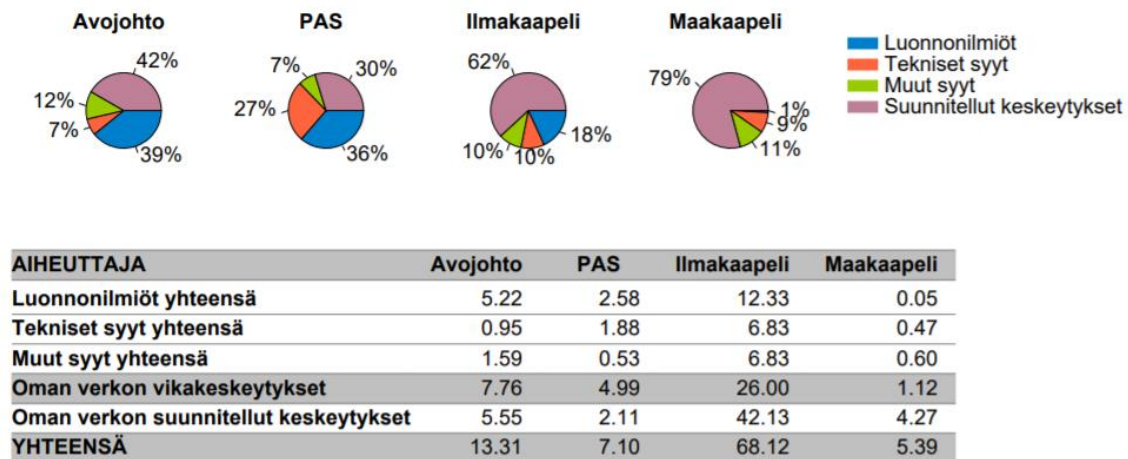
Kuvasta voidaan huomata, että suurin osa pylväistä on rakennettu 60- ja 70-luvuilla, jolloin 40-50 vuoden pitoajalla nykyinen verkko alkaa olemaan käyttöikänsä päässä. (Lohjala, 2005)

Jatkuvasti lisääntyvä saneeraustarve tuottaa hankaluuksia työn aikatauluttamiselle, sillä esimerkiksi ilmajohtoverkon puupylväiden lahoamisen vuoksi saneerausta ei tietyillä alueilla voida siirtää myöhemmäksi. Uuden verkon suunnittelu ja rakentaminen on syytä aloittaa ajoissa, jotta työhön vaadittavat resurssit ovat varmasti saatavilla. Suomessa esiintyvät kylmät vuodenaajat luovat haastetta saneeraushankkeiden suunnittelulle, sillä talvella maan ollessa roudassa on kaivaminen paikoittain mahdotonta tai vähintäänkin hidasta.

Verkon saneerauksen ajoittaminen on merkittävä tekijä kustannusten minimoimisessa, sillä liian aikaisin tehtynä verkkoyhtiö aiheuttaa itselleen taloudellisia menetyksiä poistaessaan vielä hyväkuntoista verkkoa käytöstä. Saneeraamisen viivästyttäminen voi taas johtaa tilanteeseen, missä yhtiö ei pysty vastaamaan nopeasti yleistyvien vikojen korjaustarpeeseen. Tällöin yhtiön keskeytyskustannukset ja myös mahdollisesti vakiokorvaukset voivat kasvaa.

2.3 Maakaapelointi haja-asutusalueella

Haja-asutusalueen sähköverkossa on perinteisesti suosittu ilmajohtoa sen edullisemmän hinnan vuoksi. Kuitenkin kaapelitekniikan ja kaivuutekniikan kehittymisen johdosta myös maakaapelin käyttö on vähitellen yleistynyt sen luotettavuuden ja hinnankehityksen johdosta. Kuvassa 2.2 on esitetty eri keskeytysten aiheuttajien osuus johdintyypeittäin.



Kuva 2.2 Vuonna 2017 tapahtuneiden keskeytysten aiheuttajat tyyppin mukaan, vikatiheys kpl/100 km.

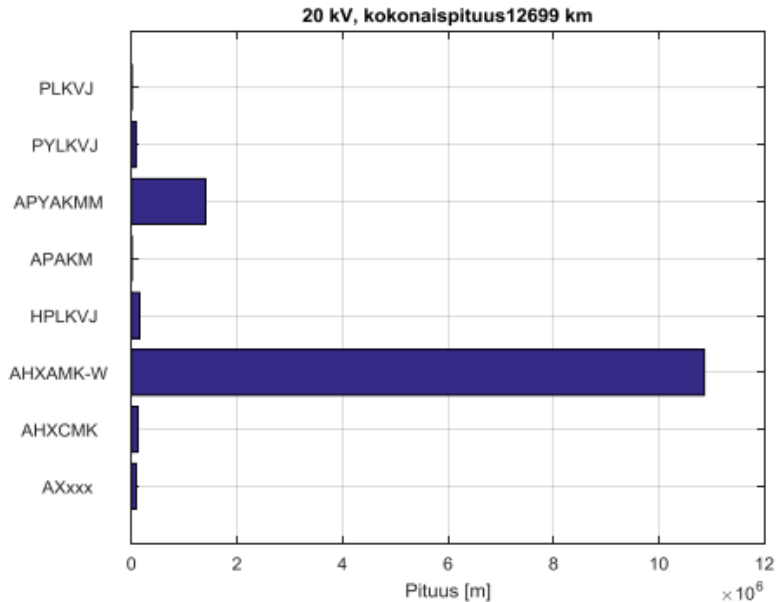
(Energiateollisuus, 2018)

Kuvasta voidaan nähdä keskeytysten määrät ja syntyperät erilaisissa rakenneratkaisuissa, ja siten näiden valintojen vaikutus toimitusvarmuuteen. Avojohtoon kohdalla luonnonilmiöt aiheuttavat 42 % keskeytyksistä, kun taas maakaapelilla luonnonilmiöistä johtuvien vikojen suhteellinen määrä on supistunut 1 %:iin.

Maakaapelin kaivuu ja asennus haja-asutusalueella eroaa kaupunkien verkosta pitkien etäisyyksien vuoksi. Haja-asutusalueen maasto on pitkien etäisyyksien vuoksi vaihtelevaa, ja samalle alueelle voi osua kalliota, peltoa ja vesistöä. Taajama-alueilla käytettävää täyte- maata ei ole haja-asutusalueella aina kustannussyistä johtuen järkevää tai mahdollista käyttää, sillä maa-aineksia tulisi kuljettaa suuria määriä matkojen ollessa pitkiä sekä mahdollisesti myös hankalilla kulkuyhteyksillä.

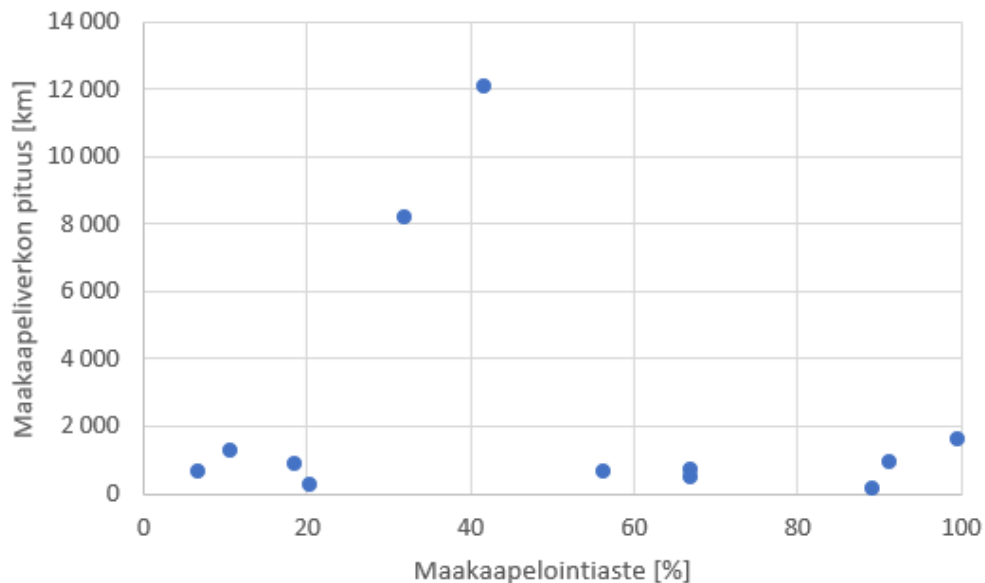
Kuvassa 2.3 nähdään yhdentoista verkkoyhtiön 20 kV kaapelityyppien pituudet toisiinsa nähden. Kuvasta voidaan havaita, että muovieristeiset AHXAMK-W/WP-kaapelit ovat selvästi yleisempiä, ja ovat pääsääntöisesti syrjäyttäneet muut kaapelityypit uusissa maakaape-

lontikohteissa. Tästä syystä tässä työssä tarkastellaan keskijännitekaapelien osalta erityisesti muovieristeisiä kaapeleita, vaikkakin monilla kaapelityypeillä on yhteneviä tekijöitä sekä vikojen synnyn että kunnonvalvonnan puolesta.



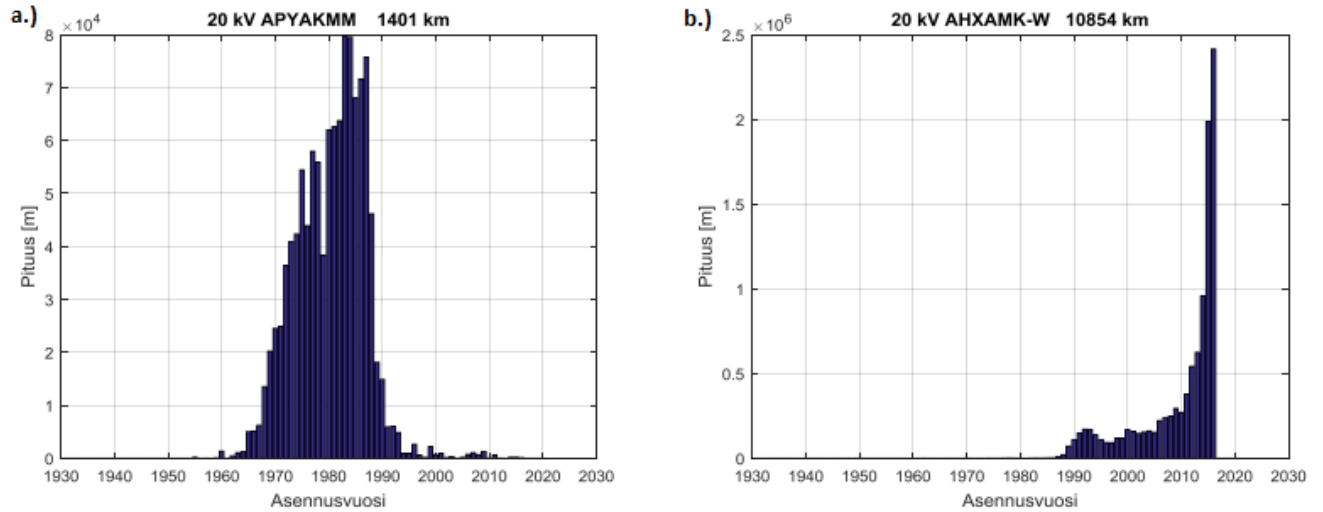
Kuva 2.3 Eri 20 kV kaapelityyppien pituudet yhdessätoista verkkoyhtiössä. (Verho ym., 2018)

Yllä olevan kuvan 2.3 tutkimukseen osallistuneiden verkkoyhtiöiden maakaapelointiasteet sekä maakaapeliverkon pituudet on esitetty kuvassa 2.4.



Kuva 2.4 Tutkimukseen osallistuneiden verkkoyhtiöiden maakaapeliverkkojen pituudet ja maakaapelointiasteet. (Energiavirasto, 2018)

Käytetyimpien kaapelityyppien asennusvuodet samoissa verkkoyhtiöissä on havainnollistettu kuvassa 2.5. Sekä kuvien 2.3 että 2.5 tilastoissa kaapelityyppi AHXAMK-W sisältää myös kaapelityypin AHXAMK-WP.



Kuva 2.5 20 kV APYAKMM (a) sekä AHXAMK-W/WP (b) kaapeleiden asennusvuodet yhdessätoista verkkoyhtiössä. (Verho ym., 2018)

Kuvista 2.3 ja 2.5 voidaan havaita, että muovieristeiset kaapelit ovat pääsääntöisesti syrjäyttäneet vanhat kaapelityypit. Lisäksi kuvasta 2.5b nähdään lisääntynyt maaseutuverkkojen kaapelointi, joka on kasvanut huomattavasti vuoden 2010 jälkeen.

3. VERKON TOIMINTAVARMUUS

Toimitusvarmuuden parantamiselle on entistä suuremmat paineet uuden sähkömarkkinalain sekä sähköautojen lisääntymisen ja digitalisaation myötä. Huolellinen ja hyvin toteutettu verkonrakentaminen on tärkeää, jotta verkko täyttää sille asetetut pitoajan ja toimintavarmuuden tavoitteet. Tässä kappaleessa on tarkoitus käsitellä erilaisia vikojen syntyyn johtavia riskitekijöitä ja kuinka nämä riskit voitaisiin minimoida.

3.1 Suunnittelun vaikutus rakentamisen laatuun

Verkonrakentamisen laatu ei synny pelkästään rakentamisen aikana, vaan myös suunnittelulla on vaikutuksensa rakennusvaiheessa kohdattaviin haasteisiin ja työn sujuvuuteen. Hyvin tehty suunnittelu on selkeä, toteutuskelpoinen ja ottaa huomioon ympäristön erityispiirteet. Asennusreitit ja -menetelmien tulisi olla mahdollisimman tehokkaita, jotta kustannukset pysyisivät mahdollisimman alhaisina. Tämän lisäksi suunnittelussa täytyy ottaa huomioon maanomistajien toivomukset ja sähköisten mitoitusien täytyminen.

Mahdolliset maaperän vaikutukset kaivuumenetelmään ja -nopeuteen on otettava huomioon, ja kaivuureitti on valittava sen mukaan. Aurasmenetelmä on useissa paikoissa nopein ja halvin kaivuumenetelmä, mutta mikäli maaperä on kivistä tai kallioista, on kaivuumenetelmä monesti parempi ratkaisu. (Savolainen 2013) Auraskaluston käyttö on monesti myös maisemallisesti parempi vaihtoehto, ja saattaa esimerkiksi Museoviraston alueilla säästää urakoitsijan aikaa vieviltä ennako- ja jälkikatselmuksilta. Isojen työkoneiden käyttöä täytyy harkita kohdekohtaisesti, sillä ne aiheuttavat suuren painonsa takia helposti vaurioita asfalttiin. Asfaltin korjaamiseen menevät kulut ja aika saattavat nopeasti hävittää halvemman kaivuumenetelmän tuoman edun. Monesti hankkeessa käytettävien menetelmien valinta perustuu kuitenkin niissä käytettävien työkoneiden saatavuuteen, sillä esimerkiksi auraskalustoa ei välttämättä ole saatavilla jokaiseen kohteeseen, jossa sitä tarvittaisiin.

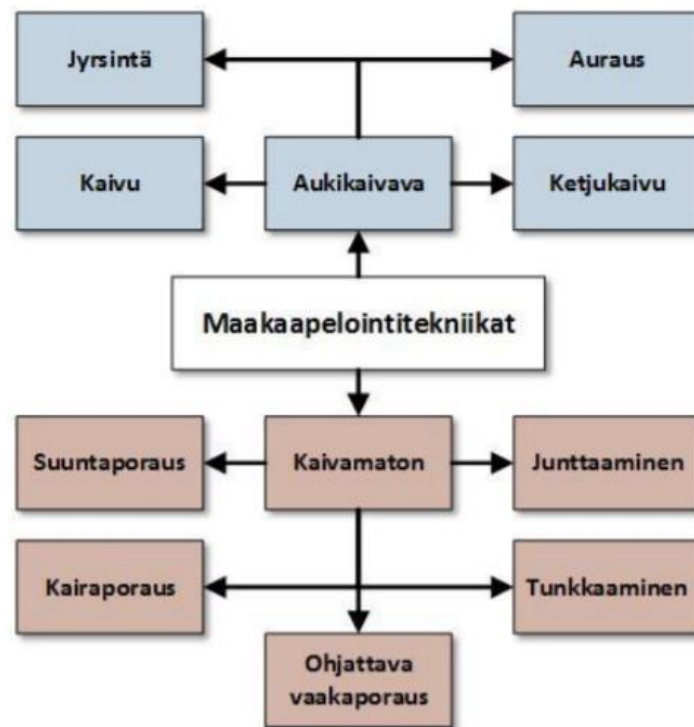
Mikäli maakaapelin valinta ei ole perusteltavissa, voidaan osa verkosta rakentaa ilmajohtolla kustannuksien säästämiseksi. Tällöin tulee kuitenkin ottaa huomioon mahdolliset lumikuormien tai kaatuvien puiden aiheuttamat vikatilanteet. Mikäli mahdollista, voidaan johdotkadun lähetyksillä olevia kaatumisvaarassa olevia puita poistaa riskien minimoimiseksi.

Kaivuureittia suunnitellessa olennaista olisi mahdollisimman hyvin välttää vaikeata maastoa, kuten tiheää metsää, kalliota ja vesistöjä mahdollisuuksien mukaan. Kartat eivät aina anna todellista kuvaa tilanteesta, joten viimeistään maastosuunnitteluvaiheessa on suositeltavaa käydä tutustumassa suunnittelualueeseen, jotta rakentamisvaiheessa vältytään yllätyksiltä.

Yksi sijoitusvaihtoehto yleisesti sekä etenkin vaikeilla ja metsäisillä osuuksilla on siirtää maakaapeli tienvarsiin. Siirto tienvarteen helpottaa ja nopeuttaa viankorjausta, sillä kaapeli on helpommin saatavilla ja kulkuyhteyksien varrella. Tienvarressa oleva maasto on helpokulkuisempaa ja maa-aines monesti myös jo kertaalleen käsiteltyä, jolloin yhteyden siirto saattaa mahdollistaa kustannustehokkaampien tekniikoiden käytön. Aikaisemmin käsitelty maa-aines on myös todennäköisemmin vapaa terävistä kivistä ja muista painaumi aiheuttavilta tekijöistä parantaen toimintavarmuutta. (Haakana, 2008) Tiealueet ovat myös monesti valtion tai kunnan omistamia, joten tiealueelle sijoitettavan kaapelin sijoituslupa saattaa pitkältikin matkalta onnistua yhdellä hakemuksella ja olla siten luvitusprosessiltaan nopeampi.

3.2 Kaivuu, auraus ja kaapelinveto

Maakaapelointitekniikoita on useita, mutta näiden toteutustapoihin ei tässä työssä perehdytä tarkemmin. Eri menetelmiä on havainnollistettu kuvassa 3.1.



Kuva 3.1 Maakaapeloinnin kaivuutekniikat. (Konttinen, 2017)

Maakaapelin kaivuussa on omat riskinsä maakaapelin vaurioitumisen kannalta, jotka täytyy ottaa huomioon rakentamisen aikana. Kaivuussa ja kaapelinvedossa tapahtuneet virheet eivät välttämättä esiinny välittömästi rakentamisen jälkeen, vaan voivat jäädä huomaamatta useiksi vuosiksi, jolloin korvausvelvollisen osapuolen hakeminen on hankalampaa. Ongelmia aiheuttavat erityisesti kaapeliin kohdistuva liiallinen taivutus tai kaapelivaippaan syntyneet vauriot.

Kaapelinvedossa riskinä on kaapelin vaurioituminen terävien reunojen tai kivien johdosta. Kaivuun aikana tulisi varmistaa, ettei kaivuujoaan jää teräviä kiviä jotka voisivat painaa kaapelia aiheuttaen vaurioita. Lisäksi kaapelinvedossa ja sen jälkeen tulee samalla tavalla varmistaa, että kaapeliojaan ei ole tippunut kiviä kaapelin asennuksen aikana. Mikäli maa on poikkeuksellisen kivistä, täytyy kaapeli suojata täytemaalla, kuten esimerkiksi hiekalla. Kaivumenetelmä on esitelty kuvassa 3.2.



Kuva 3.2 Maakaapelin kaivuujoa kaapelinvedon jälkeen. (ELY-keskus, 2018)

Kaapelia auratessa tulee esiaurauksella varmistaa, että maaperä on menetelmälle soveltuvaa. Asennuksen aikana ei myöskään ole suositeltavaa tehdä tiukkoja käännöksiä, sillä ne saattavat vaurioittaa kaapelia (Konttinen, 2017). Maakaapelin auraukskalustoa ja menetelmän käyttöä on havainnollistettu kuvassa 3.3.



Kuva 3.3 Pienjännitemaakaapelin aeraus käytännössä.

Mikäli kaapeloitavalla alueella on runsaasti kalliota, eikä sen kiertäminen ole teknisesti tai taloudellisesti mahdollista, voidaan kaapeli asentaa kallion päälle, jonka jälkeen se suojataan valamalla betonia kaapelin ja sen kourun päälle. Menetelmää on havainnollistettu kuvassa 3.4.



Kuva 3.4 Maakaapelin suojaaminen päälle valetulla betonilla. (Hämäläinen ja Teriö, 2011)

Menetelmän pitkän aikavälin käyttöiästä ei ole varmuutta, sillä Suomen talvi sekä erilaiset alueella liikkuvat työkoneet ja eläimet muodostavat riskin betonin murtumiselle. Betonivalu voidaan myös raudoittaa vetolujuuden parantamiseksi. Muita vaihtoehtoja ovat kaapelin suojaaminen betonielementillä, railoporausmenetelmä, kalliosahaus tai liukuvalun käyttäminen. (Hämäläinen ja Teriö, 2011)

Vaihtoehtona on myös PE-muovista valmistettujen SRE-putkien käyttäminen, joita voidaan käyttää betonin korvaajana, jos normaali asennussyvyys ei ole mahdollinen. Menetelmän etuna betonointiin nähden on reitin tasoittamiselta ja hiekoittamiselta välttyminen. SRE-putki on rengasjäykkyydeltään vahvempi kuin A-luokan kaapelinsuojaputki. SRE-putki saattaa paikoin tarjota ratkaisun betonin kuljetusongelmiin, ja se suojaa kaapelia poikittaisissa kaivuissa mahdollistaen kaapelin pitämisen jännitteisenä töiden aikana, toisin kuin betonointikohteissa. Haittapuolina ovat tosin jatkot ja putkien käsittelyn vaikeus, sillä putket toimitetaan isoissa nipuissa. SRE-putken asennustapaa on havainnollistettu kuvassa 3.5. (Elenia Oy ja HSK-Sähkö Oy, 2015, Onninen, 2017)



Kuva 3.5 Maakaapelin suojaus SRE-putkella. (Onninen, 2017)

Mikäli saneerattava ilmajohto ja sen rakenteet ovat tyydyttävässä kunnossa, on yhtenä vaihtoehtona myös jättää olemassa oleva yhteys ilmaan, jolloin vältetään kalliilta maakaapeloinnilta hankalassa maastossa.

Alituksissa käytettävien putkien kohdalla täytyy muistaa pitää putken sisäpinta puhtaana irtokivistä ja muista ylimääräistä hankausta aiheuttavista materiaaleista. Putken pää on myös

syytä suojata tai pyöristää, jotta terävä reuna ei leikkaa kaapelin vaipasta palaa. Kaapelinsuojaputkia on saatavilla eri lujuusluokissa. Muovisten putkien lujuusluokat on jaettu A-, B- ja C-luokkaan, ja käytettävä lujuusluokka valitaan määräyksien ja kohdeympäristön perusteella. Katujen ja teiden alituksissa käytetään lujuusluokan A kaapelinsuojaputkea, joka on vaihtoehtoista kestävin. Lujuusluokan C putki on heikompi A- ja B-luokkaan verrattuna, ja yleisenä käyttökohteena on usein liikennöimätön alue. B-luokan on kestävyydeltään kompromissi lujuusluokkien A ja C välillä, ja sitä käytetään kevyen liikenteen alueilla. (Pipelife, 2012)

Putkia laittaessa on monesti kustannustehokasta asentaa tarvittavaa useampi putki maahan, jolloin maata ei tarvitse kaivaa uudestaan auki, mikäli alueelle joskus lisätään verkkoyhteys. Putkien asentaminen tulevaisuutta ajatellen on erityisen kätevää tiheästi liikennöidyillä alueilla, jolloin esimerkiksi ruuhkaista risteystä ei tarvitse pysäyttää ja asfaltointia rikkoa. Maahan jätettävät käyttämättömät putket tulee aina tulpata asianmukaisesti, jotta putkiin ei pääse kosteutta tai maa-ainesta.

Maakaapelien suojana käytetään tarvittaessa kaapelikourua, jolloin kaapelikourun asennuksen aikana täytyy varmistaa, että kaapelikouru ei jää mutkalle tai kannatukselle kaapelista, vaan tukeutuu tukevasti kaapelin alla olevaan alustaan. Kouru ei saa jäädä painamaan kaapelia vahingoittaen sitä, ja kaapeliojaa täytettäessä tulee seurata, että kouru pysyy paikoillaan. Kaapelinsuojakourut asennetaan osittain limittäin, jotta ne pysyisivät mahdollisimman hyvin paikallaan ja suojaisivat koko kaapelia kiviltä ja muilta kovilta tai teräviltä kappaleilta.

Maassa olevasta sähkökaapelista varoittamiseen käytetään tarvittaessa keltaista varoitusnauhaa, jonka tarkoituksena on varoittaa kaivauksia suorittavaa tahoa maassa olevasta jännitteisesti kaapelista. Varoitusnauha levitetään kaapeliojaan noin 0.3 metrin syvyydelle maanpinnasta, tai noin kaapeliojan puoliväliin.

3.3 Jatkot ja päätteet

Kaapelit saapuvat valmistajalta määrämittäisenä, jolloin kaapelit yhdistetään kaapelinvedon jälkeen jatkoilla. Jatkoja käytetään myös vikakohtien korjaamiseen, jolloin vikakohtaan paikalle lisätään ehjä, lyhyt kaapelinpätkä, jonka molempiin päihin tehdään jatko. Muihin ver-

konosiin, kuten muuntajiin, kaapeli kytketään päätteillä. Verkon päätteen tai jatkon käy pääsääntöisesti tekemässä urakoitsijan sähköasentaja. Kaapeliyhteyden heikkona kohtina ovatkin usein jatkot ja päätteet. Vaikka jatkot ja päätteet ovatkin oikeintehtynä suhteellisen varmoja, on niiden asentamisessa aina mahdollisuus virheisiin, jotka voivat johtaa vikatilanteeseen. Jatkoja ei suositella tehtävän mutkiin ja ne täytyy muistaa tukea hyvin, jotta ylimääräisiltä mekaanisilta kuormituksilta vältytään. Lisäksi on tärkeää huolehtia kaapelin pintojen puhtaudesta sekä kosteudelta suojaamiselta asennuksen aikana.

3.4 Kaapelin ikääntyminen

PEX-eristeiset kaapelit saavuttavat lopullisen rakenteensa vasta useiden vuosien kuluessa valmistumisesta, joten eristeen rakenne voi ajan kuluessa muovautua epäsäännöllisemmäksi kuin mitä se oli tehtaalta tullessaan. Eristeen muotoutumiseen vaikuttaa esimerkiksi kaapeliin kohdistuvat mekaaniset rasitukset, joita voi syntyä esimerkiksi asennuksen aikana. Polymeerieriste heikkenee myös kemiallisesti sen altistuessa otsonille tai UV-säteilylle, jotka kiihdyttävät aktiivien radikaalien muodostumista. Kaapelit on lähtökohtaisesti suojattu hyvin tältä kemialliselta kulumiselta, mutta mekaaniset vauriot saattavat heikentää suojaa. Merkittävimmän uhan kaapelin kestokyvyille muodostavat kuitenkin sähköiset tekijät, eli sähkö- ja vesipuut. (Estola, 2010)

Kaapelissa tapahtuva liiallinen lämpeneminen voi myös aiheuttaa kaapelin rakenteiden enenaikaista vanhenemista. Kaapelin liiallinen lämpeneminen voi johtua esimerkiksi ylikuormituksesta tai mahdollisesta oikosulusta vikatilanteessa. Lämpeneminen voi johtaa kaapelin rakenteiden muuttumiseen lämpölaajenemisen kautta, jolloin kaapeliin voi syntyä pieniä piileviä vaurioita tai mahdollisesti jopa vikoja.

3.5 Verkonrakennuksen laadunvalvonta

Kaapelin oikeaoppisen käsittelyn ja asentamisen varmistamiseksi on työntekijöitä opastettava työtehtäviinsä ja valvottava, että asennusten laatu pysyy verkkoyhtiön edellyttämällä tasolla. Valvonnan toteuttamisen keinoja selvitettiin haastattelemalla verkkoyhtiön edustajaa sekä tutkimalla verkosta löytyvää materiaalia aikaisemmin tehdyistä opinnäytetöistä. Lisäksi pyrittiin selvittämään missä määrin kunnonvalvontaa harjoitetaan käytännössä.

3.5.1 Laadunhallinta rakennuskohteissa

Verkon rakentamisen laatu voi usein kärsiä perehdytyksen, tiedonvälityksen, ohjeistuksien selkeyden tai kiireen johdosta. Onkin tärkeää huomata, että laatuun ja lopputulokseen voidaan vaikuttaa jo suunnitteluvaiheessa ennen rakentamisen aloitusta, eikä vain rakentamisen aikana kuten monesti saatetaan ajatella. Lopputuloksen laadun kannalta olennaisia ovat etenkin maastosuunnittelu ja hankinta, jolloin hinnan lisäksi on tärkeätä ottaa huomioon myös laatusitoumus, jonka urakoitsija lupaa, sisältäen sanktiot, mikäli asetettuun tavoitteeseen ei päästä. Ohjeistuksissa tulee pyrkiä yksiselitteisyyteen, jotta erilaisilta tulkinnoilta ja niiden aiheuttamilta virheiltiltä vältytään. Maastosuunnittelussa voidaan vaikuttaa verkonrakentamisen sujuvuuteen huolellisella reitinsuunnittelulla, jolloin myös sähköasentajien työ helpottuu huomattavasti hyvin tehdyn maanrakentamisen johdosta. Eniten virheitä rakentamisen aikana ja jälkeen vaikuttaa syntyvän puutteellisesta tiedonkulusta urakoitsijaketjussa, sillä muutokset eivät päivitty työkuviin. Ratkaisuna voisikin olla erilaisten mobiilisovellusten käyttö, jolloin muutokset päivittyisivät reaaliajassa. (Kenttämaa, 2018)

Hankkeen laadun varmistamiseksi on tärkeää toteuttaa säännöllistä valvontaa, jota asiakkaan näkökulmasta tehdään rakentamisen aikana sekä käyttöönoton jälkeen. Monesti verkkoyhtiöt tekevät tarkastuksia myös työturvallisuuteen ja ympäristöön liityen. Virheet ja havaitut puutteet korjataan tietenkin viimeistään työn valmistuttua, mutta etupainotteisessa valvonnassa hyötynä on toistuvien virheiden eliminoiminen aikaisessa vaiheessa. Kahdessa vaiheessa tapahtuvat tarkastukset ovat kuitenkin suositeltavia laadun pitämiseksi sovitulla tasolla. Tarkastuksien vuoksi onkin tärkeää, että ohjeistus on riittävän kattavalla tasolla, jotta molemmilla osapuolilla on sama käsitys laadusta ja toteutustavoista. (Kenttämaa, 2018)

Verkkoyhtiöt voivat halutessaan seurata urakoitsijan rakentamisen laatua tarkastuksia tekeväällä. Tarkastuksissa voidaan puuttua esimerkiksi kytkentöihin, asennuksien merkintöihin sekä kiinnityksiin. Jälkitarkastuksissa voidaan esimerkiksi kaapelitutkien avulla tarkistaa maakaapelin asennussyvyys sekä sijainti, jolloin epäkohtiin voidaan puuttua jälkeinpäin. Mikäli asennus ei ole sovittujen vaatimusten mukainen, joutuu urakoitsija tyypillisesti korjaamaan virheensä omalla kustannuksellaan.

Yksi hyvä vaihtoehto välttää lopputarkastuksessa esille tulevia virheitä on tarkastaa asennuskohde toisen asennusryhmän toimesta. Tällöin myös esille tulevien virheiden korjaus onnistuu, jos tarkastavalla ryhmällä on tarvittavat työvälineet mukanaan. (Kenttämaa, 2018)

3.5.2 Verkkoyhtiön harjoittama laadun- ja kunnonvalvonta

Verkkoyhtiön näkökulman laadunvalvontaan saamiseksi haastateltiin Lappeenrannan Energian Antti Lintusta. Haastattelussa pyrittiin selvittämään, kuinka verkkoyhtiö valvoo verkonsa rakentamista ja minkälaisia tarkastuksia eri kohteissa tehdään.

Lappeenrannan Energia ei itse suorita säännöllisiä tarkastuksia rakennuskohteissaan, mutta kohteen urakoitsija tekee omasta puolestaan pistotarkastuksia, pitäen myös päiväkirjaa tehdyistä tarkastuksista. Kunnonvalvontaa maakaapeleille ei tehdä, mutta maadoitusmittauksia tehdään säännöllisesti. Osittaispurkausmenetelmien käyttö on ollut harkinnassa, mutta ne on koettu työläiksi ja kalliiksi toteuttaa. Yhtiön verkko koostuu haja-asutusalueella pääosin ilmajohtoverkosta, ja keskijännitteisiä ilmalinjoja raivataankin säännöllisesti, jotta kasvusto ei pääse aiheuttamaan häiriöitä sähkönjakeluun. (Lintunen, 2019)

4. KUNNONVALVONTA

Haja-asutusalueelle asennettavan maakaapelin määrän lisääntyessä, on verkkoyhtiöiden hyvä pitää itsensä ajan tasalla verkon kunnosta. Mikäli verkon kunnan seuraamisessa epäonnistutaan, on mahdollista, että vikoja alkaa syntyään hallitsemattomasti, jolloin vikojen korjaamiseen ei välttämättä ole tarvittavia resursseja saatavissa. Kaapelin ikä ei välttämättä suoraan korreloi kaapelin kunnan kanssa, joten kunnonvalvonta on varteenotettava vaihtoehto kaapelijärjestelmien kunnan arvioimiseen (Verho ym., 2018). Mittausten tuottamien tulosten avulla korvausinvestointien ajoittamisessa voitaisiin onnistua paremmin. Tässä luvussa on tarkoitus käsitellä saatavilla olevia kunnonvalvontamenetelmiä ja niiden soveltuvuutta haja-asutusalueen verkon maakaapeleiden kunnonvalvontaan.

Verkkoyhtiöt haluavat pitää juoksevat kulunsa mahdollisimman pieninä samalla ylläpitäen toimintavarmuutta, joten kunnonvalvonnan kustannuksien pitäisi pysyä mahdollisimman pieninä, jotta valvontaan panostamalla päästäisiin elinkaaren minimikustannuksiin. Ideaalisesti menetelmien pitäisi olla mahdollisimman helppokäyttöisiä sekä mahdollisimman pieniä ja kevyitä, jotta niiden kuljettaminen maastossa olisi mahdollisimman vaivatonta. Kunnonvalvontamenetelmiä voidaan suorittaa menetelmästä riippuen kaapelin ollessa jännitteisenä (on-line) tai virrattomana (off-line). On-line-mittaukset ovat monikäyttöisempiä kuin off-line-mittaukset ja ovat erityisen käyttökelpoisia, mikäli on syytä epäillä, että käytössä olevassa kaapelissa on jokin vaurio. Kaapelin ottaminen jännitteettömäksi ei usein ole taloudellisesti kannattavaa mittauksen tekemiseksi, joten off-line-menetelmät soveltuvat paremmin kaapelin käyttöönottovaiheessa tehtäviksi. Off-line-kunnonvalvontamenetelmiä voidaanakin käyttää luontevasti muiden käyttöönottomittauksien yhteydessä.

Kunnonvalvontamenetelmät ovat hiljalleen alkaneet yleistyä teollisuudessa, sähkönsiirtoverkoissa sekä tuulipuistoissa (Prysmian Group, 2018). Materiaaleja tai lähteitä kunnonvalvonnan käytöstä käyttöönottotarkastusten lisäksi jakeluverkkojen puolella ei tämän työn tekoheikällä löydetty. Verkonhaltijan on syytä tapauskohtaisesti miettiä, onko kunnonvalvonnan tekeminen taloudellisesti kannattavaa, vai ovatko sähkönjakelun keskeytymisestä aiheutuvat kustannukset todellisuudessa pienemmät kuin jatkuvan valvonnan aiheuttamat kustannukset.

4.1 Eristysresistanssin mittaus

Eristysresistanssin mittaus on suosittu ja suhteellisen halpa mittausmenetelmä kaapelin kunnon määrittämiseen. Mittausmenetelmä on ollut pitkään käytössä ja nopea suorittaa, mutta ei kerro eristeen tarkasta kunnosta. Menetelmä ei sovellu polymeerieristeisille (PEX) kaapeleille, sillä tasajännitteellä suoritettava mittaus polarisoi kaapelin eristeen, jolloin syntyvät varaukset voivat aiheuttaa vaurioita jopa ennalta ehjään eristeeseen. PEX-kaapelit ovat myös erittäin herkkiä osittaispurkauksille, joita ei eristysresistanssin mittauksella pystytä havaitsemaan. (Estola, 2010)

Koska suurin osa uusista rakennetaan muovieristeisillä kaapeleilla, ei eristysresistanssin mittaus ole näiden kaapelien yhteydessä mahdollinen. Mittaus on kuitenkin käyttökelpoinen muilla kaapelityypeillä esimerkiksi käyttöönoton yhteydessä.

4.2 Ulkovaipan eheyden mittaus

Koska kaapelin asennuksen aikana syntyneet vauriot ovat usein kaapelin ulkovaipassa, on kaapelin ulkovaipan eheyden mittaus vartenotettava vaihtoehto hankalassa ja kivisessä maastossa tai kaapeliaurauksen jälkeen. Mittaus kuuluu suorittaa ennen jatkoksen tai päätteen tekoa, mutta vasta kaapeliojan peittämisen jälkeen. Mittaus tehdään tasajännitteellä ja se perustuu vuotovirran suuruuden mittaamiseen. Koska mittaus on eristysvastusmittauksen tapaan tasajännitteinen, ei testi sovellu PEX-eristeisille kaapeleille, joita tyypillisemmin käytetään keskijännitteisissä kaapeleissa. Ulkovaipan eheyden mittauksella voidaan huomata asennuksessa syntyneitä vaurioita kaapelissa, jolloin ne voidaan paikallistaa jo ennen kytkemistä. (Saartoala, 2018)

4.3 Osittaispurkauksien mittaaminen

Osittaispurkausmittaukset sopivat moneen eri käyttötarkoitukseen, mukaan lukien kaapelijärjestelmien kunnon tutkimiseen. Osittaispurkausmittauksilla on mahdollista paikallistaa osittaispurkauksen sijainti kaapelissa kulkuajamittauksen (TDR) avulla. (Verho ym., 2018)

Maakaapelin eristeessä voi tapahtua osittaispurkauksia sähkökentän voimakkuuden ollessa suurempi kuin eristeen paikallinen sähkölujuus. Eristeen paikallinen lujuus on tyypillisesti heikoin onteloiden, epäpuhtauksien, vesipuiden sekä sähköpuiden kohdalla, jolloin näitä

heikkoja kohtia voidaan löytää mittaamalla osittaispurkauksia. Osittaispurkausten mittaamiseen on olemassa monia eri menetelmiä, joihin ei tässä kandidaatintyössä perehdytä syvällisemmin. Osittaispurkauksia voidaan mitata sekä kaapelin ollessa virrattomana että kaapelin ollessa käytössä. Käytön aikana voidaan osittaispurkauksia mitata akustisesti, jolloin laite havaitsee osittaispurkaukset erittäin herkällä anturilla. Peitetyn maakaapelin mittaaminen ei onnistu akustisilla menetelmillä, joten akustisilla menetelmillä helpoiten tunnistettavissa ovat viat ja asennusvirheet etenkin päätteissä. (Estola 2010)

Osittaispurkauksien mittauslaitteita, sekä sähköisiä että akustisia, voi myös asentaa kiinteästi osaksi verkkoa, jolloin purkauksien valvontaa voidaan tehdä jatkuvasti etänä ilman käyttökeskeytystä. Laitteiden hinnan takia tämä ei jakeluverkoissa ole realistinen vaihtoehto, joten jatkuvatoimisia mittauksia on lähinnä toiminnaltaan kriittisissä kaapeleissa sekä suurjänniteverkossa. (Estola 2010)

Off-line-menetelmällä voidaan on-line-menetelmää paremmin tunnistaa pienet virheet suuremman koejännitteen ja pienemmän häiriötason ansiosta, mutta on-line-menetelmän etuina on helppokäyttöisyys ja nopeampi mittaustapa. Näin ollen off-line-menetelmä soveltuisi paremmin tärkeämpien yhteyksien perusteltuun mittaamiseen ja on-line-menetelmä voisi helppokäyttöisyytensä ansiosta olla kätevämpi vaihtoehto muihin rutiininomaisempiin maakaapelointikohteisiin. (Verho ym., 2018)

4.4 FTIR-analyysi

FTIR (Fourier Transformed Infrared) -analyysiä varten kaapelista otetaan koepala, jota voidaan analysoida kemiallisesti eristeen muutoksien havaitsemiseksi. Analyysin tuottamaa kuvaajaa verrataan aikaisempiin näytteisiin vastaavanlaisesta materiaalista, jolloin saadaan selville eristeen kunto. Menetelmässä mitataan infrapunasäteilyn absorptiospektriä, ja tuloksien tulkitseminen saattaa monimutkaisemmissa tapauksissa vaatia syvällisempää kemian tuntemusta. Menetelmä voi antaa tietoa PEX-kaapelista otetun näytepalan kosteudesta, epäpuhtauksien määrästä sekä eristeen kemiallisesta rakenteesta. Mittauksesta saadaan selville vain näytepalan kunto, joka antaa jonkinlaista osviittaa kaapelin yleisestä kunnosta, mutta ei anna minkäänlaista informaatiota yksittäisistä eri puolilla kaapelia sijaitsevista heikoista kohdista. (Estola, 2010)

Jakeluverkon kunnonvalvontaan FTIR-analyysi ei sovellu edeltävien menetelmien mukaisesti vaadittavan koepalan ja monimutkaisempien tutkimusten vuoksi. Analyysimenetelmällä voidaan kuitenkin mahdollisesti saada informaatiota eri olosuhteiden ja tekijöiden vaikutuksesta eristeen kuntoon. Menetelmällä voitaisiin verrata eri olosuhteissa, kuten esimerkiksi asemakaava- ja haja-asutusalueella, sijainneiden kaapeleiden eristeiden kuntoa toisiinsa kaapeleiden käytöstä poiston yhteydessä. Tutkittavia koepaloja tarvittaisiin kuitenkin suuri määrä luotettavien tuloksien saamiseksi.

4.5 Häviökerroinmittaus

Laboratorio-olosuhteissa tehtävät häviökerroinmittaukset suoritetaan usein 50 Hz taajuudella, mutta kentällä suoritettavat mittaukset tehdään yleensä VLF- ja DAC-mittauksilla jotta testilaitteiston koko pysyisi kohtuullisena. VLF (very low frequency) -menetelmässä koejännite on sinimuotoinen, jonka taajuus on tyypillisesti 0.1 Hz, kun taas DAC (damped alternating current) -menetelmässä sinimuotoinen jännite on vaimeneva, ja taajuus määräytyy mitattavan kaapelin pituuden mukaan. Yleisesti VLF-menetelmää pidetään luotettavampana ja paremmin toistettavana. (Verho ym., 2018)

Mittausmenetelmässä verrataan mitattavan kaapelin vastetta tunnetun hyväkuntoisen kaapelin vasteeseen, jonka avulla voidaan huomata mahdolliset muutokset kaapelin eristeessä. Olosuhteet sekä kaapelityyppi vaikuttavat mittaustuloksiin, joten täysin vertailukelpoisten tulosten saamiseksi kaapeli olisi hyvä mitata käyttöönoton yhteydessä, jotta vasteelle saadaan esimerkkitulo. (Estola, 2010)

Häviökerroinmittauksessa selvitetään pääeristyksen resistiivisen virran suhde kapasitiiviseen virtaan. Mittauksia tehdään yleisesti useampaan kertaan useammalla eri jännitetasolla. Mittaukset kertovat kaapelin, jatkojen ja päätteiden kunnosta kokonaisuutena, joten vian paikallistaminen ei menetelmällä ole mahdollista. Lisäksi on syytä huomioida, että ilman suhteellisella kosteudella on vaikutusta mittaustuloksiin, joten mittaukset tulisi ideaalisesti suorittaa keväällä ja alkukesästä. Häviökerroinmittauksella voidaan saada tietoja, joita ei osittaispurkausmenetelmällä olisi saatavissa, kuten muovikaapeleiden vesipuut. Mittaus vaikuttaa soveltuvan paremmin öljypaperikaapeleiden mittaukseen, mutta sopii hyvin mittausmenetelmäksi esimerkiksi osittaispurkausmenetelmän rinnalle. (Verho ym., 2018)

PEX-eristeisissä kaapeleissa virran resistiivisen komponentin suhde kapasitiiviseen komponenttiin verrattuna on pieni, joten laitteen erottelukyvyllä on merkitystä tuloksiin. VLF-menetelmässä huonona puolena on koejännitteen poikkeaminen normaalista verkon taajuudesta, jolloin tulokset eivät aina ole vertailukelpoisia 50 Hz:n taajuudella. DAC-mittauksen huonona puolena on vastaavasti koejännitteen poikkeaminen verkon normaalista 50 Hz taajuudesta, ja käytettävän taajuuden riippuminen testattavan kaapelin pituudesta. Häviökerroinmittaus ei sovellu käyttöönottomittauksiin, sillä eristeessä tapahtuvat osittaispurkaukset eivät mahdollisesti esiinny häviökerroinmittauksissa ollenkaan. (Verho ym., 2018)

5. YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä tarkasteltiin kaapelin vikaantumiseen johtavia tekijöitä, sekä kuinka kaapelin kuntoa voitaisiin tarkastella kunnonvalvonnan keinoin haja-asutusalueella. Lisäksi tarkasteltiin laadunvalvonnan keinoja vähentää virheiden määrää sekä ennen että jälkeen rakentamisen. Sähkömarkkinalain toimitusvarmuusvaatimusten johdosta myös haja-asutusalueiden kaapelointi on lisääntynyt huomattavasti. Aikaisemmista kaupunkiolosuhteista poiketen kaapeleita asennetaan suuria määriä vaihtelevassa maastossa, joten verkkoyhtiölle on mieluista saada luotettavaa tietoa asennettujen kaapeleiden kunnosta, sekä puuttua laatuvirheisiin heti niiden esiintyessä. Kaapelin ikä ja sen todellinen kunto eivät aina ole suoraan verrannollisia, jolloin mittausten tekeminen mahdollistaisi investointien paremman ajoituksen todellisen tarpeen mukaan.

Tarkasteltaviksi kunnonvalvontamenetelmiksi valittiin osittaispurkaus- ja häviökerroinmittaus, ulkovaipan eheyden ja eristysresistanssin mittaus sekä FTIR-analyysi. Eristysresistanssin ja ulkovaipan eheyden mittaus ei sovellu PEX-kaapeleille, joita pääsääntöisesti käytetään uusissa haja-asutusalueen verkoissa, ja FTIR-analyysi on puolestaan melko monimutkainen suorittaa eikä näin sovellu jatkuvaksi ja rutiininomaiseksi kunnonvalvontamenetelmäksi. Hyödyllisimmiltä vaikuttivat osittaispurkaus- ja häviökerroinmittaus, joista tutkimustietoa vaikuttaa tulevan kasvavissa määrin. Kunnonvalvonnan käyttö jakeluverkon sovelluskohteissa, etenkin haja-asutusalueen kaltaisissa ympäristöissä on vasta alussa, ja tutkimustietoa kaivataankin varmasti tukemaan kasvavaa kiinnostusta menetelmien käyttöönottoon.

Osittaispurkauksien mittausmenetelmät voidaan jakaa on-line- ja off-line-mittauksiin. On-line-mittaus on nopeampi ja helpompi suorittaa, kun taas off-line-mittaus soveltuu herkkyytensä ja vaativuutensa vuoksi tärkeämpien kaapeliyhteyksien tutkimiseen. Off-line-mittaus voitaisiin suorittaa heti asennuksen jälkeen ennen verkonosan käyttöönottoa, jolloin rakennusvaiheessa tapahtuneet vähäiset vauriot voitaisiin mahdollisesti havaita jopa ennen kaapeliojan täyttöö. Osittaispurkausmittaukset soveltuvat erityisesti käyttöönottomittauksiin, ja menetelmä mahdollistaa myös vian paikallistamisen.

Häviökerroinmittaus ei osittaispurkausmittauksien tapaan sovellu käyttöönottomittauksiin, eikä mahdollista vian paikallistamista. Mittaus voidaan jakaa VLF- ja DAC- tekniikkaan, joista VLF-menetelmä on luotettavampi ja paremmin toistettava kuin DAC. Heikkoutena on

taajuuden poikkeaminen verkon todellisesta käyttötaajuudesta. Mittaus soveltuu PEX-kaapeleita paremmin vanhojen taajamissa sijaitsevien öljykaapeleiden kunnon tutkimiseen, mutta antaa myös tietoa, jota osittaispurkausmittauksella ei ole saatavissa. Näin häviökerroinmittaus vaikuttaa soveltuvan käytettäväksi osittaispurkausmenetelmän rinnalla.

Kunnonvalvontamenetelmistä, erityisesti osittaispurkaus- ja häviökerroinmittausmenetelmistä, saatavilla oleva tutkimustieto tuntuu lisääntyvän jatkuvasti, joka tuo käytännön ymmärrystä eri vikojen havaittavuudesta eri menetelmillä. Tulevaisuudessa olisi myös mielekästä tarkastella kunnonvalvonnan taloudellisuutta, jolloin saataisiin tietoa, missä laajuudessa ja minkälaisissa olosuhteissa kunnonvalvonnan suorittaminen olisi taloudellisesti perusteltua.

LÄHTEET

- Elenia Oy, HSK-Sähkö Oy. 2015. Betonoinnin korvaaminen SRE-P putkella kaapelin suojaamisessa. [verkkomateriaali]. [viitattu 15.4.2019]. Saatavissa <https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Raportti%20SRE-P%20putkesta.pdf>
- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2018. Kaapelit, johdot ja putket tiealueella. [verkkomateriaali]. [viitattu 20.3.2019]. Saatavissa <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/kaapelit-johdot-ja-putket-tiealueella>
- Energiateollisuus. 2018. Keskeytystilasto 2017. [verkkomateriaali]. [viitattu 20.3.2019]. Saatavissa https://energia.fi/files/2785/Sahkon_keskeytystilasto_2017.pdf
- Energiavirasto. 2018. Sähköverkkotoiminnan tunnusluvut 2017. [verkkomateriaali]. [viitattu 20.3.2019]. Saatavissa <https://www.energiavirasto.fi/sahkoverkkotoiminnan-tunnusluvut-2017>
- Estola, J. 2010. Maakaapelien kuntomittaukset. [Kandidaatintyö]. Lappeenranta: Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. 29 s.
- Finlex 2013. Sähkömarkkinalaki. [Verkkomateriaali]. [Viitattu 3.12.2017]. Saatavissa <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>
- Haakana, J. 2008. Haja-asutusalueen keskijänniteverkon kaapeloinnin ja automaation suunnittelumetodiikka. [Diplomityö]. Lappeenranta: Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. 82 s.
- Heikkilä, T. 2014. Sähköverkon toimitusvarmuuteen liittyvien valvontamenetelmien kehittäminen. [Diplomityö]. Tampere: Tampereen Teknillinen Yliopisto. 63 s.
- Kenttämaa, V. 2018. Sähköjakeluverkon rakentamisen laatu ja havaittujen virheiden kustannusvaikutukset verkkoyhtiöille ja urakoitsijoille. [Diplomityö]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 120 s.
- Konttinen, M. 2017. Maakaapeloinnin asennustekniikat. [Kandidaatintyö]. Lappeenranta: Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. 40 s.
- Lintunen A., käyttöpäällikkö, Lappeenrannan Energiaverkot Oy. 4.7.2019, Samuel Heino. [Sähköpostihaastattelu].
- Lohjala, J. 2005. Haja-asutusalueiden sähköjakelujärjestelmien kehittäminen – erityisesti 1000 V jakelujännitteen käyttömahdollisuudet. [Väitöskirja]. Lappeenranta: Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. 201 s.
- Onninen 2017. SRE- ja SRS-putket kaapelinsuojaukseen. [verkkomateriaali]. [viitattu 30.4.2019]. Saatavissa http://kesko-onninen-pim-resources-production.s3-website-eu-west-1.amazonaws.com/pimdocuments/SRE%20ja%20SRS_Onninen_Brochure_11-2016.pdf

Pipelife 2012. Sähköasennusputket ja kaapelinsuojajärjestelmät. [verkkomateriaali]. [viitattu 16.12.2018]. Saatavissa

https://www.lvi-dahl.fi/uploads/tx_mscproducts/9412304_prod1156.pdf

Prysmian Group, 2018. Uusi mittaustekniikka jatkuvaan kunnon ja lämpötilan seurantaan. [verkkomateriaali]. [viitattu 17.12.2018]. Saatavissa

<https://fi.prysmiangroup.com/node/10506>

Saartoala, T. 2018. Pien- ja keskijännitekaapelien käyttöönotto- ja vianpaikannusmittaukset. [Opinnäytetyö]. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu. 30 s.

Savolainen, S. 2013. Sähköjakeluverkon rakennusurakointitoiminnan aloittaminen. [Opinnäytetyö]. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. 45 s.

Verho, P., Pakonen, P., Keränen, J. ja Muranen, S. 2018. Keskijännitekaapeleiden kunnon arviointi häviökerroin- ja osittaispurkausmittauksilla. [verkkomateriaali]. [Viitattu 18.12.2018]. Saatavissa

https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Keskij%C3%A4nnitekaapeleiden%20kunnan%20arviointi%20h%C3%A4vi%C3%B6kerroin-%20ja%20osittaispurkausmittauksilla_Loppuraportti.pdf