

Tomi Saartoala

Pien- ja keskijännitekaapeliin käyttöön- ja vianpaikannusmittaukset

Pien- ja keskijännitekaapeliin käyttöönotto- ja vianpaikannusmittaukset

Tomi Saartoala
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Tomi Saartoala

Opinnäytetyön nimi: Pien- ja keskijännitekaapelien käyttöönotto- ja vianpaikannusmittaukset

Työn ohjaajat: Heikki Kurki (OAMK) ja Erkki Latola (Infratek Finland Oy)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 24 + 6

Maakaapelointi työllistää merkittävästi kaikkia jakeluverkkoyhtiöitä ja ne käyttävät paljon urakoitsijoita. Aikataulut ovat tiukkoja, mikä saattaa johtaa siihen, että työn laadusta joustetaan ja kaapeleita asennetaan maahan huonosti. Toimeksiantajana tässä opinnäytetyössä on Infratek Finland Oy, joka on laadukas verkonrakentaja. Vianpaikannusmittarit ja tekniikat kehittyvät jatkuvasti ja yritys haluaa pysyä kehityksessä mukana. Tämä työ keskittyy keski- ja pienjännitemaakaapeleihin ja erityisesti niiden käyttöönotto- ja vianpaikannusmittauksiin.

Työn tavoitteena on saada yritykselle tietoa, millaisia laitteita ja menetelmiä on käyttöönotto- ja vianpaikannusmittauksiin. Työssä etsittiin tietoa pääasiassa laitetoimittajilta, verkostosuosituksista, yrityksen työntekijöiltä sekä verkkosivuilta, esimerkiksi Energiateollisuus ry:ltä. Laitetoimittajiin oltiin yhteydessä sähköpostitse ja puhelimitse. Verkostosuositukset ja standardit löytyivät koulun kirjastosta. Keskustelut Infratekin työntekijöiden ja opinnäytetyön ohjaajien kanssa ovat antaneet paljon apua työhön.

Käyttöönottomittauksilla varmistetaan kaapelin kunto. Kun mittaukset tehdään huolellisesti asianmukaisilla välineillä, voidaan varmistua kaapelin kunnosta ja verkko voidaan ottaa huoletta käyttöön. Eristysvastusmittausta käytetään paljon, mutta sillä menetelmällä ei pystytä saamaan kokonaiskuvaa kaapelin kunnosta. Esimerkiksi VLF - tekniikalla pystytään varmistumaan paremmin, ettei kaapelissa ole piilevää vikaa, mikä voi aiheuttaa kaapelin vioittumisen 5 – 10 vuoden käytön jälkeen.

Vianpaikannuksessa on tavoitteena, että vikakohta löydetään ja se päästään korjaamaan nopeasti. Kaapeleiden ollessa maan alla vikapaikkaa ei yleensä voi suoraan nähdä. Vianhakulaitteita on kehitetty jo monenlaisia. On vianilmaisilaitteita, jotka ilmoittavat vikapaikan suunnan, jolloin vika voidaan paikallistaa muuntamoiden väliin. Lisäksi on olemassa erilaisia tutkia, joilla vikapaikka esipaikannetaan tai laite ilmoittaa suoraan, millainen vika on kyseessä ja kuinka kaukana se on. Syöksyaaltogeneraattorit lähettävät pulsseja kaapeliin ja vika paikannetaan kuulokkeilla ja mittareilla vika paikasta, josta energia purkautuu. Liitteenä on ohje asentajille heillä nykyisin käytössä olevista mittareista ja mittauksien viitearvoista.

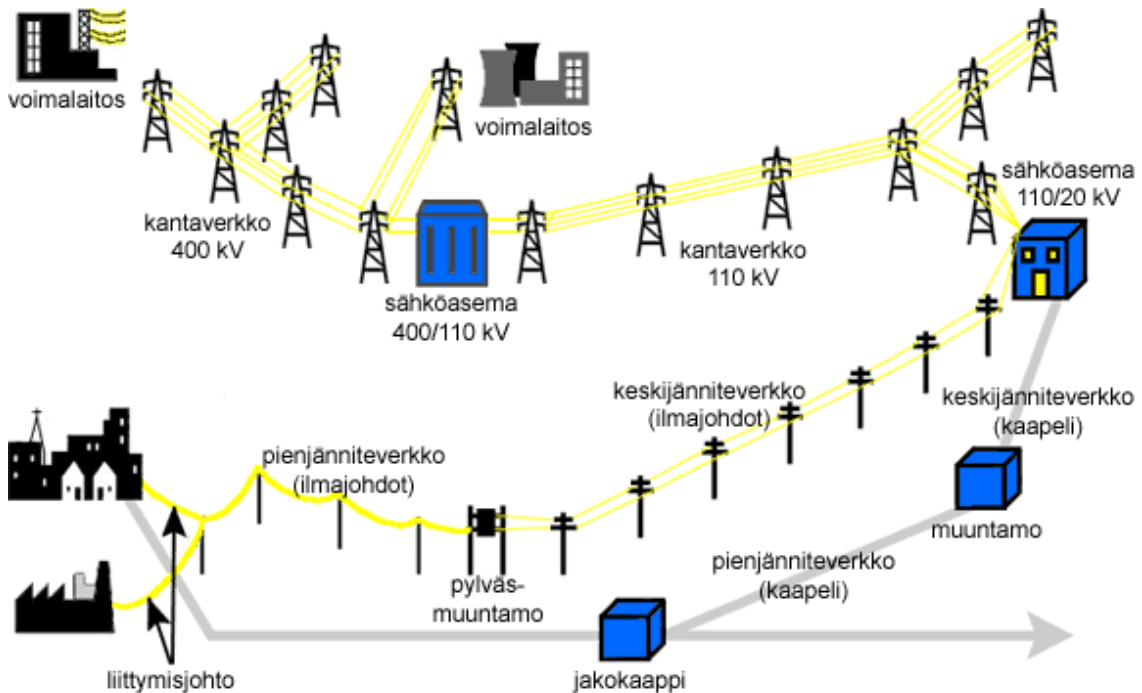
Asiasanat: maakaapeli, vianpaikannusmittaus, käyttöönotto

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	MAAKAAPELOINTI	7
2.1	Kaapeleiden asennustavat	7
2.2	Kaapeleiden päätteet ja jatkokset.....	9
3	KÄYTTÖÖNOTTO	10
3.1	Mittauksia ohjaavat lait ja määräykset	10
3.2	Tarkastaminen ja tarkastuspöytäkirja	11
3.3	Kaapelin aistinvarainen tarkastus	12
3.4	Kaapeliasennuksen testaus ja mittaukset.....	12
4	KUNNOSSAPITO KÄYTÖN AIKANA	14
4.1	Kaapeleiden vanhentuminen	14
4.2	Määräaikaistarkastukset.....	15
5	VIANPAIKANNUSMENETELMÄT	17
5.1	Vikojen aiheuttajat	17
5.2	Vianpaikannusmittaus	19
5.2.1	TDR -mittaus.....	19
5.2.2	ARTi -esipaikannus.....	20
5.2.3	TD- ja PD -mittaus	20
5.2.4	Syöksyaaltogeneraattori.....	21
5.3	Vian korjaus.....	21
6	YHTEENVETO	22
	LÄHDELUETTELO	23
	LIITTEET	
	Liite 1 Ohje asentajille	

1 JOHDANTO

Valtakunnallisen 110 – 400 kilovoltin (kV) kantaverkon omistaa Fingrid Oyj, joka huolehtii sen toiminnasta. Kantaverkko muodostaa rungon koko sähköverkolle. Lisäksi sähköverkko koostuu 110 kV:n alueverkoista ja alueellisista 0,4 – 70 kV:n jakeluverkosta, joita hallitsevat paikalliset sähköjakeluyhtiöt. Sähköverkko voidaan näin jakaa kantaverkkoon sekä alue- ja jakeluverkkoihin. Kuvassa 1 on havainnekuva sähköjakeluverkosta. Työssä keskityn jakeluverkkoon ja erityisesti maakaapeliverkkoon. (1; 2.)



KUVA 1. Sähköjakeluverkon periaatekuva (3).

Sähköjakeluyhtiöt haluavat tehdä jakeluverkostaan säävarempia, koska vuonna 2013 voimaantullut sähkömarkkinalaki ohjaa yhtiöiden toimintaa. Tämä on johtanut maakaapeloinnin yleistymiseen, sillä maahan asennetut sähköjohdot ovat paremmassa suojassa sääilmiöiltä ja muilta vianaiheuttajilta. Toisaalta vikojen paikannus ja korjaaminen on työlästä, koska kaapelit ovat piilossa maan alla.

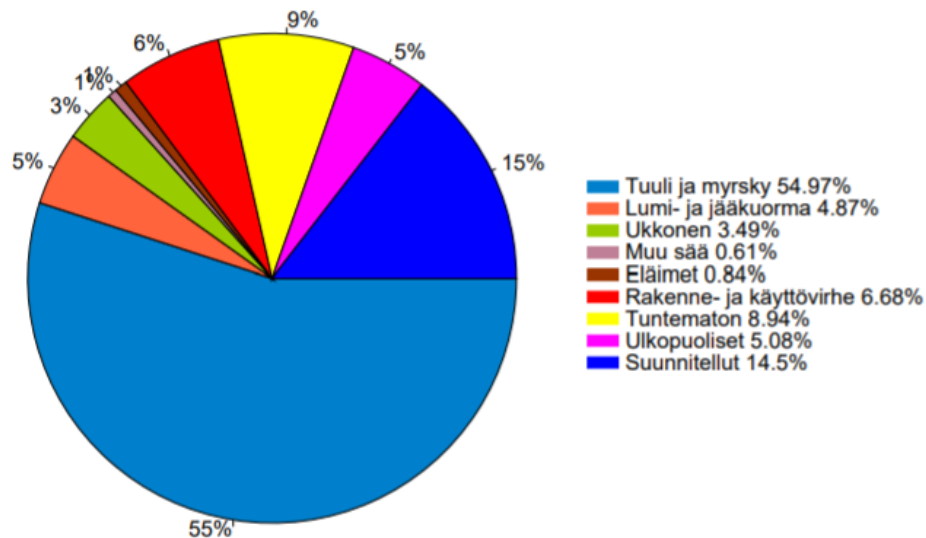
Tämä opinnäytetyö käsittelee kaapeleiden käyttöönotto- ja vianpaikannusmittauksia. Mittausten onnistuminen ja tulosten analysointi on tärkeää tehdä kunnolla, ettei viallisia kaapeleita asenneta maahan ja vikapaikka löytyisi mahdollisimman nopeasti. Asian tutkimiselle on tarvetta, sillä jakeluverkon luotettavuus ja vikapaikan nopea löytäminen on jakeluverkkoyhtiöiden ja asiakkaiden kannalta aina tärkeää. Verkkoyhtiölle pitkät katkot sähkönjakelussa ovat kalliita ja kuluttajat tarvitsevat nykyisin sähköä päivittäiseen toimintaan.

Tavoitteena työssä on selvittää, millaisia mittareita on järkevä käyttää vianpaikannukseen sekä käyttöönottomittauksiin. Lisäksi tutkin mitä työtapoja ja menetelmiä on järkevä käyttää mittauksissa, sekä millaisia reunaehtoja niiden soveltamisessa on.

Opinnäytetyön tilaajana on Infratek Finland Oy ja yrityksen puolesta ohjaajana on Erkki Latola. Infratekin pääkonttori sijaitsee Osllossa ja toimistoja on Suomessa, Norjassa ja Ruotsissa. Työntekijöitä on noin 1350 ja yhtiö on Pohjoismaiden johtava kriittisen infrastruktuurin rakentamis- ja ylläpitotyön kokonaistoimittaja. Kriittisen infrastruktuurin rakentamisen ja ylläpidon kasvu edellyttää entistä suurempia ja tehokkaampia toimittajia. Infratek toimittaa monia eri palveluita sähkönjakelun, rautatiejärjestelmien kuituverkon ja valaistuksen aloilla. Yhtiön arvot ovat tavoitettavuus, työtyytyväisyys ja muutosvalmius. (4.)

2 MAAKAPELOINTI

Sähkömarkkinalaissa todetaan jakeluverkon toiminnan laatuvaatimuksista, että myrskyn tai lumi-kuorman takia aiheutuneet sähkönjakelun keskeytykset eivät saa kestää yli kuusi tuntia asema-kaava-alueella. Muualla jakelun keskeytys ei saisi olla yli 36 tuntia. Nämä lait tulevat voimaan vuonna 2028. Jakeluverkonhaltijat ovat näin joutuneet miettimään paljon verkkonsa säävarmuutta. Tämä parantaa toimintavarmuutta. (5; 6.) Kuten alla olevasta kuvasta 2 voidaan huomata, ovat sääilmiöt suurin yksittäinen syy jakelukeskeytyksiin (7).



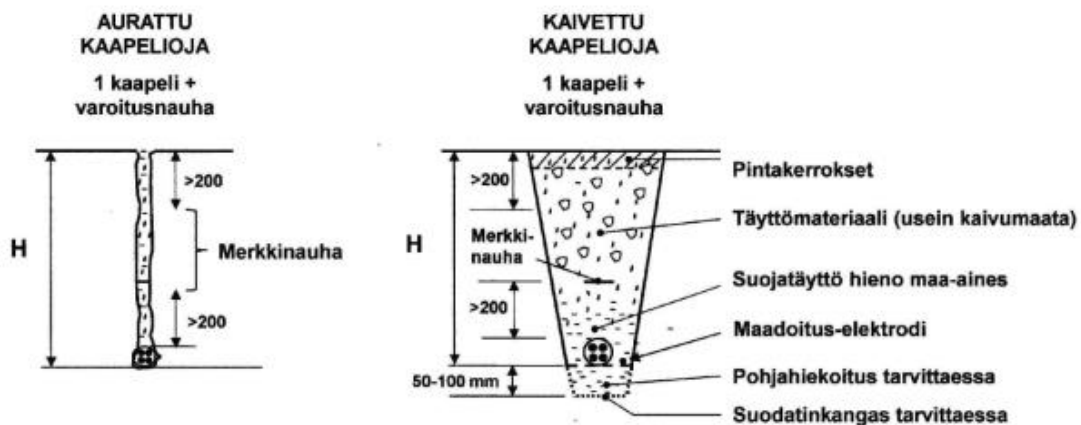
KUVA 2. Keskeytysajan aiheuttajat jakeluverkossa. Mukana ei ole jälleenkytkentöjä. (7.)

2.1 Kaapeleiden asennustavat

Maakaapelit asennetaan maahan kaivamalla tai auraamalla. Asennusmenetelmänä auraus on nopeampi kuin kaivaminen. Aurauksessa kaapeli asennetaan maahan työkoneen ja koneeseen kiinnitetyn kaapeliauran avulla. Tässä menetelmässä maa-ainesta ei tarvitse siirrellä edestakaisin, vaan kaapeli asennetaan suoraan maahan. Maaperän pitää olla auraukselle soveltuvaa. Reitillä ei

saa olla kalliota eikä runsaasti kiviä, jotta kaapeli saadaan asennettua onnistuneesti. Ennakkovalmistelut ovat tärkeitä, jotta yllätykset saadaan minimoitua. Kaapelin auruksessa on noudatettava asennusmääräyksiä sekä huolehdittava työturvallisuudesta. (8.)

Kaapelin asentaminen kaivamalla on yleisempi asennustapa. Kuvassa 3 oikeanpuoleinen poikkileikkaus havainnollistaa, miten kaapelioja ja sen täyttö tulisi toteuttaa. Kaapelit asennetaan kaapelikaivantoon, joka normaalitapauksessa on noin 0,8 m syvä ja 0,4 m leveä. Kaivannon syvyyteen ja leveyteen vaikuttavat asennettavien kaapeleiden määrä ja mekaaninen suojaustapa. Kaapelit lasketaan kelalta kaivantoon, jonka tulee olla tasainen. Alkutäyttö tehdään hienolla maa-aineksella, jonka jälkeen asennetaan suojanauha tai -verkko. Täytettäessä kaivantoa tulee huolehtia, ettei kaapelin päälle tule suuria kiviä, jotta kaapelit eivät vahingoitu. (9.)



KUVA 3. Periaatekuva kaapelikaivannon poikkileikkauksesta (10).

Jotta vikatilanteet saataisiin minimiin asennusten osalta, on otettava huomioon seuraavia asioita:

- kaapelien sijoittelu kaivantoon (sähkötekninen kuormitettavuus)
- kaapelien ohjeiden mukainen käsittely
- asennushetken ilmasto, esimerkiksi pakkanen tai vesisade
- suojaus, ettei kaapelin eristys vaurioidu asennustyön aikana
- käytetään oikeita materiaaleja ja otetaan huomioon kaapelin lämpötilavaihteluista johdettavaa liikettä
- mekaaniset rasitukset (maan routiminen tai -vajoaminen)
- kaapelien ja putkitusten sijaintikartoitus, dokumentointi ja merkinnät
- merkinnät kaapelin reitistä maastoon (10, s.13).

Tilaaaja eli verkonhaltija päättää, mitä mittauksia ja testauksia maakaapeli-asennuksen käyttöön ottamiseksi ja laadun varmistamiseksi tehdään. Kaapelin asennustyön laatuun vaikuttavia asioita ovat

- asentajien ammattitaito (noudattaa määräyksiä ja hyvää asennustapaa)
- koneet, työkalut ja laitteet (kalibroidut ennen mittauksia)
- oikea kaapelin käsittely ja -työmenetelmät
- työn tarkastus ja raportointi tilaajalle (10, s.28 - 29).

2.2 Kaapeleiden päätteet ja jatkokset

Jatkos ja päätte ovat tuotteita, jotka mahdollistavat kaapeleiden liittämisen ja jatkamisen ilman kaapelin suorituskyvyn tai turvallisuuden heikentymistä. Kaapelien jatkokset on tehtävä huolella, sillä ne peitetään maahan. Osittaispurkausmittauksen avulla voidaan varmistua kaapeli päätteiden ja jatkosten sekä niiden asennustyön laadusta. Päätteiden ja jatkosten tarkoitus on liittää kaapelit. Niiden rakenne on suunniteltu tiivistämään ja eristämään kaapeli luotettavasti, sekä suuntaamaan sähkökenttä siten, ettei vikoja pääse syntymään. (11.)

Jatkosten ja päätteiden rakenteesta sekä kentänjakaumasta ja -ohjauksesta enemmän Tuomas Lanton opinnäytetyössä: Keskijännitekaapeleiden osittaispurkauksien mittaaminen VLF -tekniikalla, luvuissa 4 ja 5.

3 KÄYTTÖÖNOTTO

Käyttöönottomittauksilla ja aistinvaraisilla tarkastuksilla pyritään varmistamaan sähkölaitteiston turvallisuus ja kaapeleiden määräystenmukainen asennus. Käyttöönottomittauksista löytyy tietoa standardista SFS 6000 sekä verkostosuosituksista. Standardeja ei ole pakko noudattaa, mutta niistä poikkeavia ratkaisuja tehdessä joutuu niiden tekijä osoittamaan erikseen ratkaisujen täyttävän turvallisuusvaatimukset. Tästä syystä standardien asema on vahva. Lisäksi sähköturvallisuuslaki antaa määräyksiä käyttöönottomittauksista. (12.)

Käyttöönottotarkastuksesta laaditaan pöytäkirja. Yhtiöt käyttävät yleensä valmiita pohjia, joihin mitaustulokset täydennetään. Esimerkiksi HeadPower Oy:n verkkosivuilta löytyy hyvät pohjat tähän. (12.)

3.1 Mittauksia ohjaavat lait ja määräykset

Ennen kun jakeluverkko tai sen osa otetaan käyttöön, täytyy käyttöönottotarkastuksessa selvittää riittävän laajasti. Sähköturvallisuuslain 1135/2016 pykälän 6§:n mukaan, käyttöönotto ei saa aiheuttaa ihmisille, eläimille, ympäristölle tai muille sähkölaitteille vaaraa ja häiriötä. Laajennus- ja muutostyöt on myös tarkastettava ennen käyttöönottoa. Tästä käyttöönottotarkastuksesta huolehtiminen on sähköverkon rakentajan vastuulla. Mikäli rakentaja ei sovitusta syistä huolehdi tarkastuksesta, jää se verkon omistajan huolehdittavaksi. Verkon haltijan tulee saada sen rakentajalta tarkastuspöytäkirja, josta käy ilmi muut kuin vähäisiksi katsottavat työt. Laitteiston hallussapitäjän on saatava tulokset testauksesta myös silloin, kun kyse on pienistä muutoksista. Valtioneuvoston asetukset säätävät tarkemmin, mitä tarkastuspöytäkirjan tulee sisältää ja mitkä työt ovat niitä, joista ei ole pakko tehdä pöytäkirjaa. (13.)

Sähköturvallisuuslain 1135/2016 pykälän 41 §:n mukaan sähkölaitteiden käyttöönotto sallitaan silloin, kun laite on lain vaatimusten mukainen. Laitteiston suunnittelua ja rakentamista koskevat tässä tapauksessa pykälien 31 § ja 39 §. 31 §:ssä säädetyt vaatimukset ovat turvallisuutta koskevia, ja 39 §:ssä määritellään vaatimukset, jotka liittyvät sähkömagneettiseen yhteensopivuuteen. (13.)

Tarkastuspöytäkirjasta on käytävä esille seuraavia asioita sähköturvallisuuslain 43§:n mukaan:

- sähkötöiden johtajan yhteystiedot
- sähkölaitteiston rakentajan yhteystiedot
- yksilöintitiedot kohteesta
- sähkölaitteiston määräysten ja säännösten mukaisuuden selvitys
- sovelletut standardit
- mahdolliset poikkeamat
- käytettyjen tarkastusmenetelmien yleiskuvaus
- tulokset tarkastuksista ja testauksista

Tarkastuksen tekijän tulee allekirjoittaa tarkastuspöytäkirja tai varmentaa se jollakin muulla yhtä luotettavalla tavalla. (14, s. 14.)

Sähköturvallisuuslain 42 § :ssä kerrotaan määritelmä, jonka mukaan sähkölaitteet katsotaan mukaan otetuksi käyttöön. Siinä sanotaan jännitteen kytkemisajankohdan olevan se hetki, jolloin laitteisto otetaan käyttöön. Kuitenkaan valvotut koekäyttötilanteet ja käyttöönottotarkastus eivät aloita laitteen käyttöä virallisesti vaan se alkaa silloin, kun laitteisto otetaan siihen käyttöön, mihin se on suunniteltu. (13.)

3.2 Tarkastaminen ja tarkastuspöytäkirja

Standardin SFS 6000 luku 6 sisältää pienjännitekaapelin käyttöönottotarkastuksen vaatimukset. Keskijännitekaapeleiden tarkastuksissa noudatetaan pienjännitekaapeleiden vaatimuksia, joista kerrotaan lisää seuraavissa kappaleissa. Lisäksi keskijännitekaapeleiden testausvaatimuksia esitetään luvussa 3.4. Maakaapeleiden tarkastuksia pitää suorittaa monessa vaiheessa, koska työn edetessä tarkastettavat kohteet jäävät piiloon. Tarkastusten tekijän pitää olla osaava sähköalan ammattitaitoinen henkilö. (10, s.27.)

Tarkastuspöytäkirjaan kirjataan tiedot urakoitsijasta, sähkötöiden johtajasta ja kohteen yksilöinnistä. Näin pystytään varmistamaan kohteesta ja tekijöistä. Pöytäkirjasta tulee myös ilmetä, kuka

on tarkastaja. Hän allekirjoittaa pöytäkirjan. Siitä voidaan lukea yleiskuvaus tarkastusmenetelmistä sekä kohteen tarkastuksien ja testauksien tulokset. (10, s. 27.)

3.3 Kaapelin aistinvarainen tarkastus

Aistinvaraisiin tarkastuksiin kuuluu kaapelin visuaalinen tarkastus. Siinä todetaan, että kaapelityyppi soveltuu asennustapaan. Tärkeää on myös tarkastaa asennuskourujen, suojaputkien ja kaapeliojien kunto. Kaapelikaivannossa on hyvä tarkkailla, että asennussyvyys, asennusetäisyys ja asennuksen alusta pysyvät sovituisissa mitoissa. Aistinvaraisten tarkastuksien piiriin kuuluu myös kaapeleiden taivutussäteiden tarkastaminen sekä kiinnityksien ja läpivientien varmistaminen. Kaivu jäljen ja pinnoitteen toteaminen hyväksi on myös tärkeää työn hyvin loppuun saattamiseksi. (10, s. 27.)

Kytkeänsä asennusten aistinvarainen tarkastus on myös tärkeä. Näihin kuuluvat kaapelipäätteet, kaapelijatkokset ja -liitokset sekä kosketussuojaus. Kaapelimerkinnot on hyvä tarkastaa, koska virheellisten merkintöjen jääminen maastoon hankaloittaa paljon käyttö-, korjaus- ja kunnossapitotöitä. Lisäksi merkinnöissä tulee helposti huolimattomuusvirheitä. Taivutussäteiden ja päätteiden tarkastaminen kuuluvat myös kytkentäasennusten aistinvaraisen tarkastuksen piiriin. (10, s. 27-28.)

3.4 Kaapeliasennuksen testaus ja mittaukset

Pienjännitekaapeliasennuksesta pitää mitata useita asioita, jotta pystytään varmistumaan kaapeloinnin onnistumisesta. Mittareista joilla näitä voidaan mitata, löytyy lisätietoa liitteestä Ohje asentajille. Mitattavia asioita ovat

- kaapelin eristysresistanssi
- suojajohtimien jatkuvuus
- kiertosuunta ja vaiheistus
- jännitteet
- oikosulkuvirrat (10, s. 28).

Keskijännitekaapeleista mitataan samat mittaukset kuin pienjännitekaapeleista. Lisäksi on hyvä tarkastaa vaihejärjestys ja niiden merkinnät sekä mitata jännitekestoisuus tai todeta 24 tunnin käyttöjännitetestillä kaapelin olevan kunnossa. Keskijännitekaapeleilla voidaan mitata myös kaapelin ulkovaipan eheys, maadoitusten jatkuvuus sekä kaapelirakenteen eristysvastus. Eristysvastusmittauksille ei anneta standardeissa raja-arvoja. Sitä ei myöskään vaadita, jos tilaaja ei pyydä sitä erikseen mitattavaksi. Yleensä eristysvastusmittaus kuitenkin tehdään. (10, s. 28.)

Ulkovaipan eheysmittaus on hyvä suorittaa ennen jatkosten tekoa, koska huonoimman arvon saanut kaapeli määrittää tuloksen arvon ja jos kaapelissa on vika, se löytyy helpommin. Mittausarvoissa ei pitäisi olla suuria poikkeamia toistensa välillä. Jos vaiheissa on suuria heittoja, kaapeli-asennus tulee tutkia. Mittauksesta enemmän liitteessä 1. (10, s. 29.)

Käyttöönottopöytäkirjoihin pitää merkitä kaikki mittauksissa käytetyt laitteet, niiden yksilöintitiedot, valmistusnumerot ja tyypit. Siihen merkitään myös esille tulleet puutteet sekä viat. Pöytäkirjaan liitetään mittaus- ja tarkastustulokset. Kaikki loppupiirustukset ja asiakirjat luovutetaan tilaajalle yleensä sähköisesti. Niihin on myös dokumentoitu mahdolliset poikkeamat suunnitelmista sekä niihin tehdyt muutokset. (10, s. 28.)

Kaapelien eristysvastusmittaus keskijänniteverkossa ei kerro koko totuutta kaapelien ja jatkosten kunnosta. Perinteisesti kaapelien testaukseen käytetään n. 5 kV:n testijännitettä, mutta käyttöjännite on keskijänniteverkossa tyypillisesti 20 kV eli vaihejännite on noin 12 kV. Eristysvastusmittauksesta on lisää tietoa liitteessä Ohje asentajille. Nykyään kaapeleita mitataan monesti VLF (very low frequency) -tekniikalla. Tällä tekniikalla testi tapahtuu niin, että kaapeliin syötetään kolminkertainen vaihejännite: 20 kV:n verkossa testijännite on 36 kV, koska vaihejännite on noin 12 kV ja taajuustestauksessa on 0,01 – 0,1 Hz. Jos kaapeli kestää puolen tunnin mittaisen testin, kaapeli voidaan ottaa turvallisesti käyttöön. Kaapelille voidaan suorittaa myös osittaispurkausmittaus eli PD -mittaus (partial discharge). Tässä mittauksessa VLF jännitegeneraattorilta syötetään jännite kaapeliin, ja PD-laitteistolta saadaan raportti kaapelin osittaispurkauksista ja asennuksen laadusta. Tämä on hyvä laite myös kunnonvalvonnassa, jossa sitä käytetään enemmän. (15.)

4 KUNNOSSAPITO KÄYTÖN AIKANA

Kaapeleita pyritään pitämään käyttökelpoisina niin kustannustehokkaasti ja tuottavasti kuin mahdollista. Tätä toimintakunnosta huolehtimista kutsutaan kunnossapitotoiminnaksi ja sitä voidaan toteuttaa erilaisilla toimenpiteillä. Toimenpiteiden luokittelu toteutetaan toimintaperiaatteiden ta-
solla seuraavalla tavalla:

- Käyttöseurantaan kuuluvat huolto, hoito ja tarkkailu eli esimerkiksi kuuluuko kaapelista ääniä. Nämä tarkastukset suorittaa tuotantohenkilöstö.
- Ehkäisevää kunnossapitoa kuten puhdistus, tehdään silloin, kun laitteita tarkastetaan, testataan ja huolletaan ilman, että tiedetään laitteessa olevan mitään vikaa.
- Kunnonvalvonnassa tarkkailu ja mittaus tehdään kohteeseen tietyin aikavälein tai koko ajan. Tällöin pyritään havaitsemaan esimerkiksi lämpökameralla tai PD –mittauksella, mahdollinen orastava vika ja korjaamaan se ennen kuin ongelma rajoittaa toivottua toimintaa. (16 s. 5.)

4.1 Kaapeleiden vanhentuminen

Eristysten kunnonvalvonta on hyvin tärkeää, koska laitteen kestoon vaikuttavien tekijöiden ja niiden aiheuttamien vaikutusten arviointi ja ennakointi ovat haastavia. Eristyksessä käytetyt materiaalit voivat rakenteeltaan olla erilaisia ja niissä voi olla vahingollisia aineita. Aina ei tiedetä erilaisten ympäristöolosuhteiden vaikutusta materiaalien käyttöikäen ja siihen, miten materiaalit käyttäytyvät niissä. (16, s. 8.)

Sähköiset rasitukset sekä ympäristön aiheuttama kuormitus vaikuttavat sähköverkon kaapelieristyksen kuntoon. Tämä puolestaan johtaa siihen, että eristyksen toiminta vaihtelee kaapelin ollessa käytössä. Kaapelin rakenne ja materiaalit vaikuttavat siihen sen käyttöikäen. Rakenteiden kestävyteen voidaan vaikuttaa kiinnittämällä huomiota sen oikeaan käyttötapaan. Lisäksi se, miten kaapeli on valmistettu ja testattu, ovat tekijöitä, joiden tarkastelun kautta odotettavaa elinikää voidaan arvioida. Myös ympäristöolosuhteilla on merkitystä eliniän kannalta. (16, s. 8.)

Eristykseltä vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia. Sen tulee kestää tilapäistä ja pitkäaikaista lämpötilojen muuttumista sekä pakkasta, kosteutta, likaantumista sekä erilaisia kemiallisia rasituksia. Lisäksi sillä pitää olla tietty mekaaninen lujuus ja sen pitää kestää erilaisia jänniterasituksia sekä lämpölaajenemisen ja sähködynaamisten voimien aiheuttamat mekaaniset rasitukset. Rakenteeseen voi kohdistua lisäksi värinää. (16, s. 8.)

Kaapeleiden vanhentumisessa on kyse eristyksessä tapahtuvista muutoksista, jotka eivät enää palaudu entiselleen. Näiden muutosten seurauksena eristyksen ominaispiirteet huononevat vähitellen. Mekaanisella rasituksella, ympäristöolosuhteilla (erityisesti kosteus), jännitysrasitusten aiheuttamilla osittaispurkauksilla, lämpötilalla ja sen muutoksilla, ionisoivalla säteilyllä sekä kemiallisesti vaikuttavilla aineilla on tällainen eristysten vanhentumista aiheuttava vaikutus. (16, s. 8.)

Eristysrakenteen vanhenemisen arviointi ei ole helppoa, koska vanheneminen ei näy heti. Lisäksi eri vanhenemistekijöiden ristikkäisvaikutusten tunnistaminen on haastavaa. (16, s. 8.)

Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi eristystä voivat huonontaa satunnaisesti esiintyvät rasitukset. Kestokykyä voi koetella eristeeseen kohdistuva ylijännite tai eristeen kastuminen. Eriste voi myös altistua mekaanisille iskuille ja muille mekaanisille rasituksille samoin kuin hetkellisille liian korkeille lämpötiloille. (16, s. 8.)

4.2 Määräaikaistarkastukset

Kaapeleiden ja niiden varusteiden kuntoa voidaan seurata määräaikaistarkastuksissa, jotka perustuvat sähköturvallisuuslain 1135/2016 49 §, 50 § sekä 51 §:n. Jakelu- ja siirtoverkko kuuluvat luokkaan kolme. Tarkastukset tulee suorittaa 3-luokan sähkölaitteille 5 vuoden välein. Määräaikaistarkastukset ovat verkon haltijan vastuulla ja he vastaavat siitä, että kunnossapito-ohjelma on ajantasainen. (13.)

Määräaikaistarkastuksissa tarkastetaan yleensä muuntamoiden ja jakokaappien kunto sekä päätteet silmämääräisesti. Kaapeleiden kunto voidaan erikseen mitata, jos verkonhaltija sen vaatii. Kaa-

peleiden kunnosta saadaan tieto erilaisilla mittauksilla. Tällaisia mittauksia ovat PD- tai TDR -mittaus, joista lisätietoa seuraavassa luvussa. Nämä mittaukset antavat tulokset kaapelin kunnosta sekä asennustyön laadusta. Mittausten tuloksista pystyy myös määrittelemään kaapelin mahdollisen käyttöiän, jos mittaavalla henkilöllä on pitkä kokemus laitteesta ja hän ymmärtää mittaustuloksen. Käyttöiän arvioimiseen kannattaa kuitenkin suhtautua varauksella, koska mittaustuloksiin vaikuttavat ympäristön aiheuttamat häiriöt. Mittauksilla pystytään ennakoimaan sähkönjakelun keskeytyksiä. (15.)

5 VIANPAIKANNUSMENETELMÄT

Kun sähkönjakeluverkkoon tulee vika, on selvittävä vian sijainti ja ominaisuudet sekä tutkittava, mistä vika todella johtuu. Lisäksi pitää selvittää vioittumistoiminta sekä suojalaitteiden mekanismi ja se, olisiko kyseessä oleva ongelma kyetty ennakoimaan jollakin kunnonvalvontamenetelmällä. (16, s. 7.)

5.1 Vikojen aiheuttajat

Vikojen aiheuttajia voidaan luokitella seuraavasti:

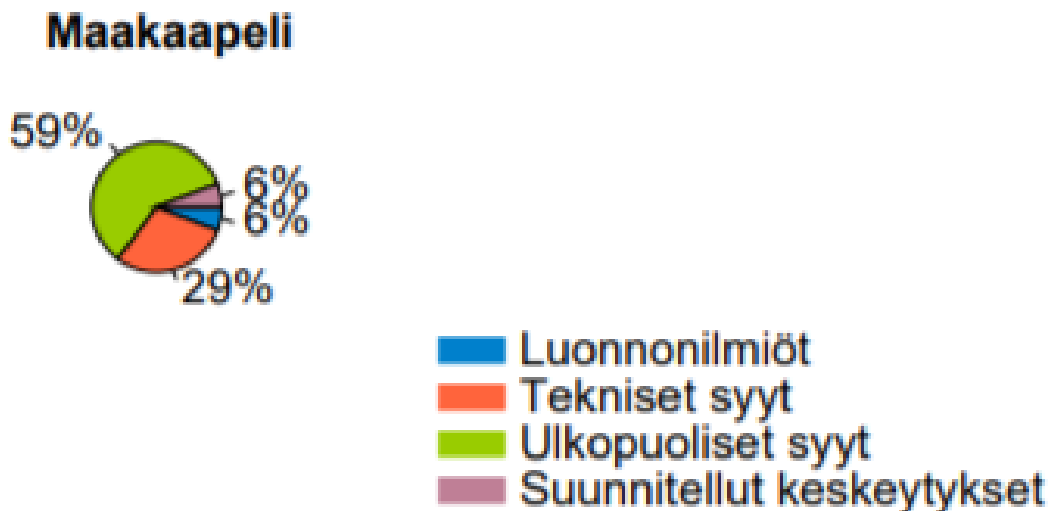
- Ylikuormitus
Kohde ylikuormittuu, kun sille määritellyt suoritusarvot ylittyvät. Tämä voi johtua esimerkiksi tehonsiirrosta, virrasta, mekaanisesta rasituksesta, kemiallisista pitoisuuksista, ulkoisesta ja sisäisestä lämpötilasta, virrasta, yliaalloista, pölystä, tärinästä tai suolasta.
- Ylijännite
Kaapectiin tulee oikosulku tai salaman iskun seurauksena liian suuri jännite.
- Onnettomuus
Onnettomuus voi aiheuttaa kohteelle heti esille tulevan vian tai vian syntymisen, joka ei kuitenkaan ole havaittavissa tapahtumahetkellä. Se voi olla peräisin esimerkiksi kastumisesta, kemikaaleille altistumisesta tai törmäyksestä eli jostain ulkoisesta syystä aiheutunut vikaantuminen.
- Väsyminen
Kuormitus tai lämpötilan vaihtuminen voivat väsyttää materiaalia aiheuttaen vian.
- Korroosio
Tulee esille usealla eri tavalla. Tämä tarkoittaa myös sähkölaitteita.
- Kuluminen
Syntyy, kun kaksi toisiaan koskettavaa pintaa hankaavat toinen toistaan.
- Abraasio
Suuremman kovuuden omaavan kappaleen aiheuttama pinnan naarmuuntuminen tai aineksen pois hioutuminen.

- Inhimillinen virhe
Tämä on seurausta välinpitämättömyydestä, taitamattomasta tai tietoisesta teosta.
- Eroosio
Juoksevassa aineessa nopeasti liikkuvat kovat ainesosat kuluttavat ulkokuorta.
- Rakenteiden ”vanheneminen”: kerrottu luvussa 4.1. (16, s. 7.)

Kaapeleiden häiriöiden jaottelu pystytään tekemään esimerkiksi seuraavasti niissä olevien toiminnallisten ja sähköisten ominaispiirteiden mukaan:

- katkos
- oikosulku
- hetkellinen tai jatkuva maasulku
- heikko kontakti
- liikakuormitus
- vika eristyksessä
- virhe suunnittelussa
- käyttöolosuhteet (16, s. 7).

Kuten kuvassa 4 voi nähdä, ovat ulkopuoliset syyt suurin tekijä keskeytyksissä, jotka näkyvät asiakkaalle. Niihin kuuluvat kaikki ne vikatilanteet, jotka eivät johdu suunnitelluista keskeytyksistä, teknisistä syistä tai luonnonilmiöistä eli kun esim. kaivurilla kaivetaan kaapeli poikki ojja ruopatessa. Tilasto perustuu 56 jakeluverkkoyhtiön tietoihin vuonna 2016 tulleista keskeytyksistä. Energiategolisuus ry julkaisee uuden tilaston vuosittain. (7.)



KUVA 4. Kaapeleiden sähkönsyötön keskeytyksien aiheuttajat keskeytysmäärän suhteen (7).

5.2 Vianpaikannusmittaus

Vianpaikannukseen järkevin hankinta on yhdistelmälaite. Suosituimpia laitteita ovat järjestelmät, joissa on vian esipaikannusmenetelmät, vaippavuotojen haku sekä syöksygeneraattori, jolla pystytään etsimään vaihevikoja. Usein valitaan järjestelmä, joka soveltuu sekä pien- että keskijänniteverkolle. Vianpaikannuslaitteessa on tärkeää olla seuraavat ominaisuudet, jotta kaikki viat löytyvät:

- TDR (time domain reflection) tutka tai TD-mittaus (tan delta)
- Arc Reflection Technology ARTi-esipaikannus tai PD-mittaus (partial discharge)
- Maavuodon paikannus
- Syöksyaaltogeneraattori KJ -puolelle minimissään 12 kV
- Paino 100 kg suurimmillaan (liikuteltavuuden takia) (15.)

5.2.1 TDR-mittaus

TDR-mittaus (time domain reflection) perustuu aika-alueflektoimetriaan. Mittareilla pystytään mittaamaan kaikkia kaapelityyppejä, sekä niiden vianmääritykseen liittyviä vikoja. Kaapeliin syötetään energiapulssi. Pulssi heijastuu takaisin kaapelin päästä tai vikapaikasta. Mittari laskee signaalin kulkeman ajan ja muuttaa sen matkaksi. (17.)

TDR-mittareita pystytään käyttämään kuljetusvaurioiden selvittämiseen kaapelikelojen sekä kaapelivajeiden ja käytön valvontaan. Mittauksella voidaan havaita seuraavat viat:

- kaapelien vaippaviat
- puristumat, litistymät ja leikkaumat kaapeleissa
- katkenneet tai irronnet johtimet
- oikosulut johtimissa
- järjestelmän komponentit, sekä useita muita vikatiloja (17.)

5.2.2 ARTi-esipaikannus

ARTi (arc reflection technology) on esipaikannusmenetelmä, jonka avulla vikapaikka pystytään löytämään. Esipaikannus tällä systeemillä tehdään niin, että kaapeliin syötetään lähes samaan aikaan korkeajännitteinen syöksyaalto ja TDR-tutkan signaali. Kun syöksyaaltogeneraattorin pulssin läpilyönti tapahtuu, TDR-tutka havaitsee vikapaikan. Laitteen näytöltä voidaan lukea etäisyys, kuinka kaukana läpilyönti tapahtui. Tämän jälkeen on huomattavasti helpompi lähteä etsimään vikaa tietyltä paikalta. Tässä tutkan laadulla on suuri merkitys. (15.)

ARTi tarkoittaa siis syöksyaallon ja TDR-tutkan yhteistoimintaa, jolla esipaikannetaan vikapaikka. Ilman esipaikannusta syöksyaallon läpilyöntipaikan paikannus on työlästä, koska tällöin joudutaan kävelemään koko kaapelin mitta maamikrofonilla kuunnellen. Pahimmassa tapauksessa kaapelin mitta joudutaan kävelemään monta kertaa. Tämä on tuttu tekniikka 1980 -luvulta, mutta ei enää juurikaan käytetä. (15.)

5.2.3 TD- ja PD -mittaus

TD-mittauksella (tan delta) eli häviökerroinmittausmenetelmällä pystytään varmistamaan kaapelin kunto ja ehkäisemään yllättäviä kustannuksia. Verkon käyttöikä pidentyy, koska mittaukset antavat mahdollisuuden ennakoivaan huoltoon. TD-mittausmenetelmällä pystytään havaitsemaan selkeästi kaapelin kunto, mutta vikapaikkaa se ei kerro. Jos tulos ei ole tarpeeksi hyvä, on syytä turvautua PD-mittaukseen. (18.)

PD-mittauksessa (partial discharge) eli osittaispurkausmittauksessa kaapelia syöttää VLF-lähde, joka antaa mitattavaan kaapeliin kaapelin nimellisjännitteisen 0,1 Hz siniaallon. Osittaispurkaukset kaapelin eristyksessä saavat aikaan lyhyen jännitesignaalin. Tämä havaitaan kytkentäkondensaattorissa. Vikapaikka pystytään paikantamaan metrin tarkkuudella. PD-mittauksella pystytään toteamaan asennuksen laatu kokonaisuudessaan kaapelin, jatkosten ja päätteiden osalta. (18.)

5.2.4 Syöksyaaltogeneraattori

Vikoja kaapeleista pystytään etsimään syöksyaaltogeneraattorilla, jolla syötetään kaapeliin jännitepulsseja. Pulssien suuruuteen vaikuttaa mitattavan kaapelin tyyppi. Tutkittavaan kaapeliin ei saa syöttää liian suurta tasajännitepulssia, joka voisi rikkoa kaapelin uudesta kohdasta. Pulssin jännite saa olla kolme kertaa kaapelin nimellijännitteen suuruinen. Syöksyaaltogeneraattori kytketään kahteen vaiheeseen tai vaiheeseen ja maahan. Vikapaikka löytyy maamikrofonilla, koska jännitepulssi purkautuu vikakohdasta synnyttäen äänen. Äänen lisäksi laitteessa olevalla mittarilla voidaan varmistua vikapaikasta. (19.)

5.3 Vian korjaus

Vian löytymisen jälkeen pitää vika korjata. Jos kaapelin vika voidaan korjata ilman, että kaapeli joudutaan uusimaan, pitää korjaukseen käyttää vain kaapelin valmistajan sallimia menetelmiä (20). Kun vika saadaan korjatuksi, pitää kaapelille tehdä vielä mittaukset, joilla varmistetaan kaapelin kunto. Mittaukset ovat samoja, joita tehdään käyttöönottoaiheessa.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aihe on todella ajankohtainen. Ilmajohtoverkon käyttöikä on 40 – 50 vuotta ja nykyinen ilmajohtoverkko on saavuttamassa käyttöikänsä pään (21). Maakaapeliverkon käyttöiän pitäisi olla vielä pidempi, jos uusi maakaapeliverkko tehdään asianmukaisesti.

Jos halutaan varmistua maakaapelien asennusten laadusta, ei pelkkä eristysvastusmittaus riitä, sillä silloin saattaa jäädä huomaamatta vikoja, jotka tulevat ilmi vasta parin vuoden jälkeen kaapelin käyttöönotosta. Esimerkiksi PD-mittauksella löydetään kaapeleiden viat sekä saadaan raportti kaapelin, jatkosten ja päätteiden alkavista vioista.

Vianpaikannuslaitteistot ovat kehittyneet paljon viime vuosina. Yksi kaapeli voi olla monta kilometriä pitkä, joten esipaikannus nousee tärkeään rooliin. Kun vianpaikannuslaitteisto on laadukas, voidaan vikapaikan löytymistä nopeuttaa todella paljon. Tästä hyvä esimerkki on Kontramin toimittama 16 kV:n Intrengin P16i -paketti, josta löytyy kaikki tarpeellinen. Vianpaikannuslaitteistojen hinnat vaihtelevat noin 7 000 € :n pienestä pienjänniteverkon syöksygeneraattorista aina vianpaikannusautoihin, jotka voivat maksaa noin 100 000 €. Vianpaikannuslaitteisto, jossa on kaikki tarpeellinen, maksaa 25 000 – 40 000 €.

Opinnäytetyö antoi minulle paljon. Työn aikana opin miten tärkeää yhteistyö laitevalmistajien ja –toimittajien kanssa on, jos haluaa tiedot uusimmista laitteista ja niiden käytöstä. Käyttöönottomittauksista meidän luokallemme oli OAMK: n järjestämä kurssi, mutta vianpaikannusmittauksista minulla ei valmiiksi ollut kovin paljon tietoa. Yllätyin, etteivät laitetoimittajat olleet jakaneet tietoa tarkemmin uusista mittauslaitteista ja niiden käytöstä, vaikka heiltä sitä kysyttäessä löytyikin paljon.

Käyttöönotto- ja vianpaikannusmittaukset kehittyvät jatkuvasti. Laitteet paranevat sekä käytännöt muuttuvat. Suomessa kaapelia asennetaan maahan joka puolella. Asentajia on monen tasoisia ja jakeluverkkoyhtiöillä on tarve saada maakaapeli aste korkeaksi. Tämä tuo varmasti tulevaisuudessa paljon tarvetta vianpaikannusmittauksille.

LÄHDELUETTELO

1. Energiavirasto 2018. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/sahkoverkon-haltijat>. Hakupäivä 20.2.2018.
2. Fingrid 2018. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suomen-sahkojarjestelma/>. Hakupäivä 20.2.2018.
3. Energiaverkko 2003. Saatavissa: http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/energia-verkko/energian_siirto/sahkonsiirto.htm. Hakupäivä 20.2.2018.
4. Infratek 2018. Saatavissa: http://infratek.fi/yhtiosta/tietoa_infratekista. Hakupäivä: 17.5.2018.
5. Sähkömarkkinalaki 2013. 3 luku Sähköverkon rakentaminen. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>. Hakupäivä 26.2.2018.
6. Sähkömarkkinalaki 2013. 6 luku Jakeluverkkoa ja jakeluverkonhaltijaa koskevat säännökset. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>. Hakupäivä 26.2.2018.
7. Energiateollisuus ry ET 2017, Helsinki. Saatavissa: https://energia.fi/fi-les/1670/Sahkon_keskeytystilasto_2016.pdf. Hakupäivä 14.5.2018.
8. REKA Kaapeli Oy 2017. Työskentelyohje auraukselle. Saatavissa: https://www.reka.fi/sites/default/files/reka_tyoskentelyohje_1-24_kv_auraus_2017-08-11_fi_text.pdf. Hakupäivä: 15.5.2018.
9. Elisa 2018. Saatavissa: https://www.janakkala.fi/wp-content/uploads/2018/01/Kaapeli-japutkikaivanto_Elisa.pdf. Hakupäivä: 5.4.2018.
10. Energiateollisuus ry 2014. Verkostosuositus RK 1:14 , Maakaapeliverkon rakentamisen vaatimukset 0,4 kV - 45 kV. Helsinki: Adato Energia Oy
11. REKA Kaapeli Oy 2018. Saatavissa: <https://www.reka.fi/kaapelitietoa/kaapelisanasto>. Hakupäivä 12.5.2018.
12. Sähköala.fi 2018. Saatavissa: http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/teknisetmaaraykset/fi_FI/standardit/. Hakupäivä: 15.5.2018.
13. Finlex 2016. Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. 3 luku Sähkölaitteistoa koskevat vaatimukset Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135#Lidp450489232> Hakupäivä: 15.5.2018.
14. SESKO ry 2017. SFS 6000-6. Pienjännitesähköasennukset. Osa 6: Tarkastukset
15. Pikkarainen, Juho Kontram. Haastattelu 27.3.2018.

16. Kunnossapitokoulu 1998. Prosessisähköistyksen kunnossapito, osa 1. Kunnossapito – lehden erikoisliite N: o 47
17. Pentair, 2013. Saatavissa: https://www.nventthermal.fi/Images/FI-DigiTraceDET3000-DS-DOC2210_tcm488-27247.pdf. Hakupäivä: 15.5.2018.
18. Eurolaite 2018. Osittaispurkausmittaukset maakaapeliverkossa
19. Nakari, Satu 2015. Palvelukeskus ja pj-verkon reaaliaikainen kytkentätila, Luku 3.2 Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/100209/Satu_Nakari.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Hakupäivä: 15.5.2018.
20. Hakala, Jarno 2018. Kaapelivaipan eheys mittaus. Elenia.
21. Elenia 2017. Saatavissa: http://www.elenia.fi/sahko/saavarma_tarina. Hakupäivä 19.5.2018.
22. SebaKTM 2011. MFM 10. Saatavissa: http://www.intelli-softlb.com/Docs/News/MFM%2010_eng_customer.pdf. Hakupäivä: 22.5.2018.
23. Megger 2018. Eristysvastusmittari. Saatavissa: <http://docplayer.fi/17024578-Megger-mit515-525-1025-eristysvastusmittari-kayttoohje.html>. Hakupäivä: 30.5.2018.
24. Megger 2018. Saatavissa: https://www.perel.fi/files/hierarchy/73141070/megger_mft1800_perel_k.pdf. Hakupäivä: 22.5.2018.
25. Sähkönumerot.fi 2018. Saatavissa: <http://www.sahkonumerot.fi/6770726/>. Hakupäivä: 22.5.2018.

OHJE ASENTAJILLE

- Kyoritsu KEW 3125A (5kV eristysvastusmittari)
- SebaKMT MFM 10 (vian paikantamiseen)
- MEGGER MFT1815 (asennustesteri)

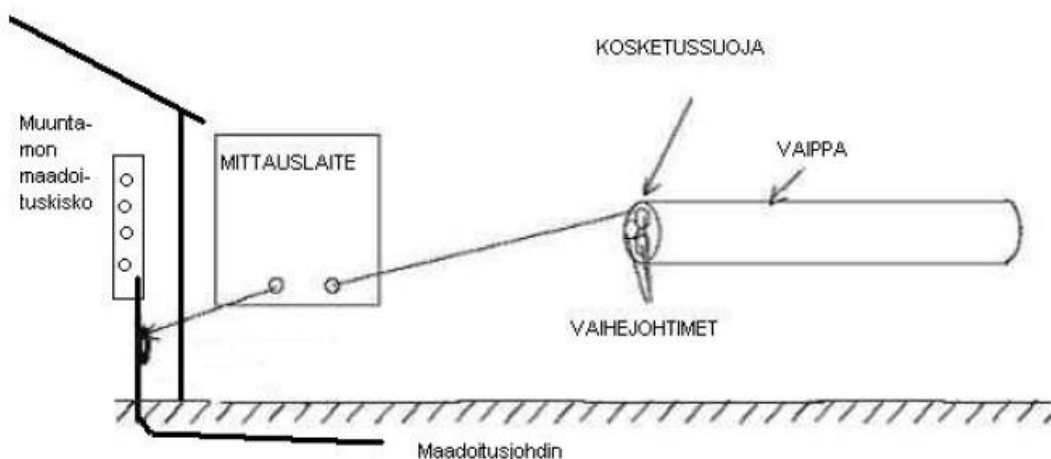
KYORITSU KEW 3125

Ulkovaipan eheysmittaus

Kaapeleille suoritetaan ennen käyttöönottoa ulkovaipan eheysmittaus. Se on vuotovirtamittaus, jossa testijännite syötetään kaapelin kosketussuojaan ja mitataan kosketussuojan ja maan välistä vuotovirtaa eli resistanssia. Yleisperiaate on sama kuin eristysvastusmittauksessa. KytKentäohje on kuvassa 1.

KUVA 1. Kaapelin vaipan eheysmittauksen mittauskytkentä

- Mittaus tulee suorittaa **5 kV DC-jännitteellä** (kosketus



suojan ja maan välillä) **1 minuutin** ajan.



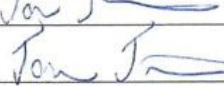

- Kaapelin resistanssin on oltava yli **300 M Ω /km** (Vuotovirta on tällöin alle 17 μ A/km).
- Mikäli resistanssi on alle 300 M Ω /km mutta yli 5 M Ω /km, on vaipan eheysmittaus suoritettava **uudelleen** aikaisintaan viikon, viimeistään kahden viikon päästä ensimmäisestä mittauksesta.
- Mikäli resistanssi on alle **5 M Ω /km** (vuotovirta on yli 1mA/km), on vikapaikka selvitettävä tarkemmin ja korjattava. Kaapelin korjaukseen käytetään vain kaapelinvalmistajan hyväksymiä menetelmiä.
- Hyvän mittaustavan mukaan mittaus suoritetaan **aikaisintaan viikko asennuksen jälkeen**, jotta maa kaapelin ympärillä on ehtinyt tiivistyä.

- Kaapelin vaipan eheysmittauksen ja kaapelin käyttöönoton välinen aika ei saa ylittää neljää viikkoa.
- Jokainen kaapeliväli on mitattava ja mittauksista on esitettävä mittauspöytäkirja työn tilaajalle.
- Jos kaapelivälillä on jatkoksia, jotka eivät sovellu vaipaneheysmittauksen suorittamiseen, on vaipaneheys mitattava jokaiselle jatkosvälille erikseen ennen jatkoksen tekoa. Jos on pitkiä vetoja, kannattaa mittauksella varmistaa, että kaapeli ennen jatkosta on kunnossa.

Ohjeet ovat Elenialta, joten monet jakeluverkkoyhtiöt poikkeavat näistä.

(22.)

Tilaaajan työnumero: _____	Testaaja: _____	Työohje: Kaapelin vaipan eheyden mittaus
Mittalaitteen tyyppi: <u>Kyoritsu KEW 3125A</u>	Mittalaitteen id _____	Testauspvm: <u>12.4.2018</u>
		Testijännite / Aika: _____ 5kV DC/1 min Hyväksyttävä arvo: _____ > 500 MΩ (< 10μA/km)

Mitattava kaapeli		Kaapelityyppi, poikkipinta jännite, valmistaja	Kaapeli pituus (km)	Kaapelin asennus pvm	Vaihe (L1/L2/L3)	Johdineristys Ω	Vaippa Ω	Tehdyt toimenpiteet/huomiot	Hyväksytty pvm	Allekirjoitus
Mistä	Mihin									
M69181J03 Kela Löyhingintie 450	M35871 jatko Löyhinginneva 57	AHXW95			L1 L2 L3	48G 41G 9G	5,1G 5,5G 3,5G		17.4.2018	
M69181J03 Kela Löyhingintie 450	M35732 jatko Letto-Ojantie 6	AHXW95			L1 L2 L3	168G 475G 144G	3,32G 2,91G 3,09G		17.4.2018	
M69179J03 Kela Löyhingintie 208	M35730 jatko Löyhingintie 130	AHXW95			L1 L2 L3	94G 87G 71G	42,9G 22,7G 146G		17.4.2018	
M69179J02 Löyhingintie 208	M35731 jatko Löyhingintie 257	AHXW95			L1 L2 L3	89,6G 92,3G 79,1G	13,5G 23,5G 7,5G		17.4.2018	
					L1 L2 L3					
					L1 L2 L3					
					L1 L2 L3					
					L1 L2 L3					

KUVA 2. Esimerkki mittauspöytäkirjasta.

Eristysvastusmittaus (KYORITSU KEW 3125)

Mittauksen tarkoitus on varmistaa, ettei asennuksen aikana ole syntynyt eristysvikaa, joka voisi aiheuttaa vaiheiden tai maan välisen oikosulun.

- Yleisperiaate on sama kuin ulkovaipan eheydenmittauksessa.
- Sähköinfor ja Elenian ohjeiston mukaan uusien 20 kV:n kaapeleiden eristysresistanssin tulisi olla yli 300 G Ω kilometriä kohden, jos mittalaite syöttää 5 kV:n testijännitteen.
- Standardissa ei määritetä raja-arvoa eristysvastusmittauksille. Mittauksissa kannattaa huomioida, että kaapelin eri vaiheissa ei tuloksissa olisi suuria poikkeamia.
- Hyvä nyrkkisääntö on, että kaapelin eristysvastuksen pitäisi olla vähintään 1000 x käyttöjännite eli se tarkoittaa 20 kV:n kaapelilla noin 20 M Ω

Työturvallisuus

- Mittauspiirin on oltava jännitteetön ennen eristysvastusmittauksia.
- Kytkentään ei saa koskea, kun mittaus on käynnissä.
- Varmista jännitteettömyys mittauksen jälkeen. (23, s.3.)

SebaKMT MFM 10

- Jos vaipan eheysmittaus ei anna ohjeen mukaisia arvoja, kaapelissa on reikiä. Tällöin kaapelin viat täytyy paikantaa.
- Mittarilla hoituu vaippavikojen testaus, esipaikannus ja paikallistaminen.
- Täysin automaattinen mittaus ja arviointi sekä Easy-Go –periaate helpottavat ja nopeuttavat kaapelivaipan testausta ja vikapaikkojen etsintää.
- Mittarin hyödyllinen lisäominaisuus on 750 mA, jatkuva virransyöttö, joka sopii myös vianpoltoon, kaksisuuntainen mittaus ja vain yksi irrotettava HV-liitäntäkaapeli.



KUVA 3. Seba-mittalaitteisto (24.)

MEGGER MFT1815

Mittaria käytetään pj-verkossa ja asennustesterillä voidaan mitata:


- eristysvastus testijännitteillä 250, 500 ja 1000 V
- jatkuvuus max. 200 mA/99,9 kΩ
- silmukkavastus- ja oikosulkuvirta –mittaus, myös vikavirralla varustettuihin piireihin
- vikavirrat: aika ja virta
- pyörimissuunta
- 3-piikkinen maavastusmittaus
- maavastus myös ART-tekniikalla

Ominaisuuksia:

- mittaustulosten tallennus
- Bluetooth-yhteys
- mittapää Test-kytkimellä, 3-johdin sarja, schuko-pistoke, verkkolaturi, ladattavat paristot, mittajohtosarja, kantolaukku ja kalibrointitodistus vakiona (25.)

Linkissä video laitteesta <https://www.youtube.com/watch?v=1PGhnFIDyN0>

tekstityksen voi laittaa videon oikeasta alareunasta  suomeksi sen saa klikkaamalla asetuk-

set  ja sieltä valitsemalla tekstitykset **Tekstitykset (2)** sitten valitaan **Automaattinen käänös**

G Mittaukset											
1	Virrat	X	L1		A	L2		A	L3		A
2	Vikavirtasuojat		In / IΔn		mA	Aika		ms	Painike testi		
2	Vikavirtasuojat		In / IΔn		mA	Aika		ms	Painike testi		
3	Suoja- ja PEN-johdinten jatkuvuus	X	0,03		Ω						
4	Laajan maadoitusverkon jatkuvuus				Ω						
5	Muuntajan T _{max} °C				°C						
6	Jännitteet / V	X	L1-L2		L1-L3		L2-L3		L1-PEN		V
7	Maadoitukset		Yhdis.		Ω	PEN		Ω	S		Ω
8	Eristysvastus (>= 1 MΩ)	X	106000		MΩ						
9	Kiertosuunta ja vaiheistus	X									
Mittalaitteen tyyppi									Mittalaitteen numero		
Huomautukset, lisäselvitykset, poikkeamat suunnitelmista yms.											
Eristysvastus mitattu kaikilta vaiheilta, huonoin arvo merkattu. Oikosulkuvirrat muuntamalla:											
Kauimmainen piste Perälänmäentie 16: lk L1:359A, L2:348A, L3:469A											
L1/L2/L3:238V, L1-L2:412V, L2-L3:412V, L3-L1:412V											
PJ-kaapelit mitattu, eristysvastus kaikissa kunnossa.											

KUVA 4. Esimerkki mittauspöytäkirjasta