



Keskijännitemaakaapeliverkon kunnonhallinta

Joakim Selkämaa

OPINNÄYTETYÖ
Lokakuu 2024

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähkövoimatekniikka

SELKÄMAA JOAKIM

Keskijännitemaakaapeliverkon kunnonhallinta

Opinnäytetyö 47 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Lokakuu 2024

Maakaapelointiasteen kasvaessa ja sähköverkon ikääntyessä nousee maakaapeliverkon kunnonhallinta suurempaan rooliin. Opinnäytetyö tehtiin sähköverkko-yhtiö Elenialle ja työn tavoitteena oli tehdä tutkimusta, jonka pohjalta luodaan kunnossapitostrategia Elenian keskijännitemaakaapeleille. Kunnossapitostrategia määrittelee komponentin mittausskierron, mittaustavan ja mittauskohteet ottaen huomioon budjetillisen näkökulman.

Keskijännitemaakaapelit ovat toimivan maakaapeliverkon yksi keskeisimmistä osista. Keskijännitemaakaapeleiden kuntoa voidaan mitata usealla eri tavalla. Yleisimpiä mittauksia ovat osittaispurkausmittaukset ja häviökerroinmittaukset. Mittauksien avulla saadaan tietoa maakaapeleiden ikääntymisestä, eristeiden kunnosta ja mahdollisista vikapaikoista. Mittauksien avulla voidaan myös suunnitella maakaapeliverkon investointeja paremmin.

Elenian sähköverkossa on yli 17 000 km keskijännitemaakaapeleita, ja kaikkien kaapeleiden mittaus ei olisi rahallisesti kannattavaa. Mittauksia varten määriteltiin Elenian sähköverkon toimintavarmuuden kannalta kriittisimmät keskijännitemaakaapelit. Sähköverkon kriittisimmät maakaapelit määriteltiin iän, pituuden, keskeytyskriittisyyden ja kehittämisvyöhykkeen perusteella.

Asiasanat: kunnossapitostrategia, osittaispurkausmittaus, häviökerroinmittaus, keskijännitemaakaapeli

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical and Automation Engineering
Electrical Power Engineering

SELKÄMAA JOAKIM:
Management of Medium-Voltage Cable Network Maintenance

Bachelor's thesis 47 pages, appendices 3 pages
October 2024

As the amount of underground cabling increases and the electrical grid gets older, does the management of the underground cable network become more important. This thesis was made for electricity network company Elenia, with the aim of doing research on which to base a maintenance strategy for medium-voltage underground cables. The maintenance strategy defines the measurement cycle, -targets and -methods by taking the budgetary perspective in account.

Medium-voltage underground cables are one of the most critical parts of a functional underground cable network. The condition of medium-voltage underground cables can be measured in many ways. The most common measurements are partial discharge measurements and loss factor measurements. These measurements provide information on the aging of underground cables, the condition of the insulation, and potential fault locations. Measurements also help in better planning of investments in underground cable network.

There are more than 17 000 km of medium-voltage underground cables owned by Elenia, and there are not resources to measure them all. The most critical medium-voltage underground cables for the operational reliability of Elenia's electrical network were defined for the measurements. The most critical underground cables were defined based on age, length, interruption criticality, and development zone.

Key words: maintenance strategy, partial discharge measurement, loss factor measurement, medium-voltage underground cable

SISÄLLYS

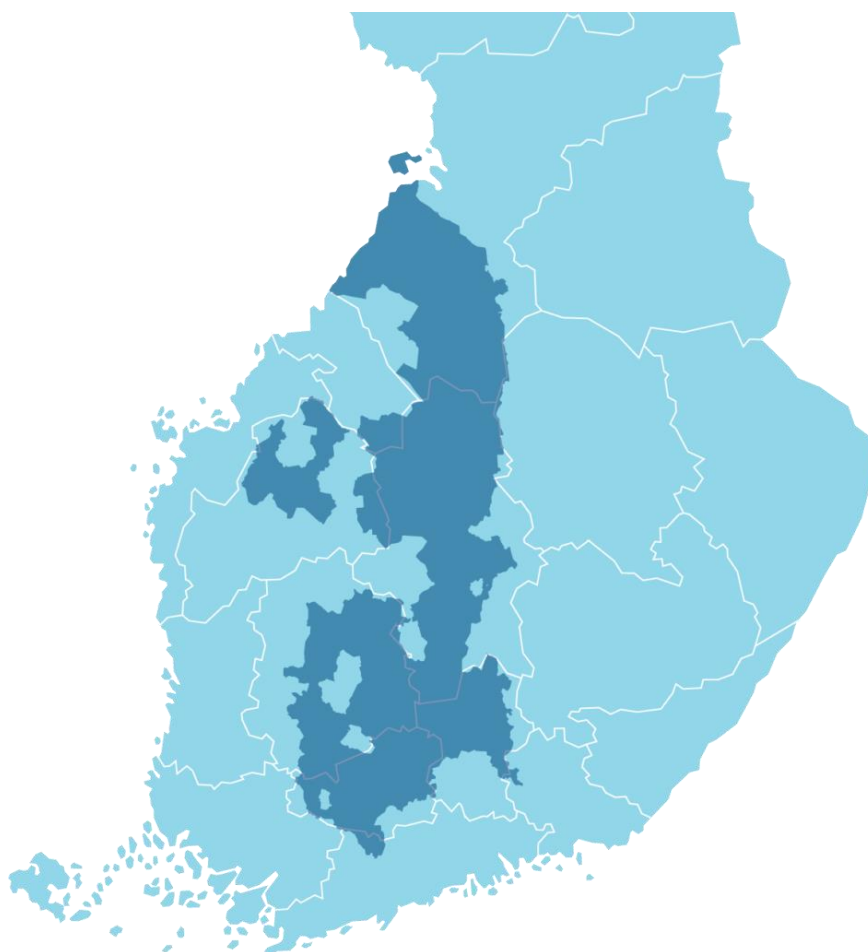
| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 7 |
| 2 | SÄHKÖNJAKELUJÄRJESTELMÄ | 9 |
| 2.1 | Sähköjakelujärjestelmän rakenne | 9 |
| 2.2 | Sähköverkkojen kunnossapitoprosessi | 12 |
| 3 | MAAKAAPELIVERKON KUNNOSSAPITO | 16 |
| 3.1 | Tarkastukset..... | 16 |
| 3.2 | Maakaapeliverkon komponentit..... | 17 |
| 3.2.1 | Muuntamoiden kunnossapito..... | 17 |
| 3.2.2 | Jakokaappien kunnossapito | 20 |
| 3.2.3 | Erytiskohteiden kunnossapito | 23 |
| 3.2.4 | Maadoitusmittaukset..... | 23 |
| 4 | MAAKAAPELEIDEN KUNNONVALVONTAMITTAUKSET | 25 |
| 4.1 | ON-line- ja OFF-line-mittaukset..... | 25 |
| 4.2 | Häviökerroinmittaukset..... | 26 |
| 4.3 | Osittaispurkausmittaukset | 27 |
| 4.4 | Eristysvastusmittaukset..... | 29 |
| 4.5 | Etäkunnonvalvontapalvelut | 30 |
| 4.6 | Maadoituseheysmittaus | 32 |
| 5 | MITATTAVIEN KOHTEIDEN MÄÄRITTÄMINEN | 33 |
| 5.1 | Kriittisyyden määrittäminen | 33 |
| 5.2 | Mitattavat kohteet..... | 34 |
| 6 | KUNNOSSAPITOSTRATEGIA | 39 |
| 6.1 | Taustatiedot kunnossapitostrategialle | 39 |
| 6.2 | Keskijännitemaakaapeleiden kunnossapitostrategia | 40 |
| 7 | YHTEENVETO | 42 |
| | LÄHTEET..... | 44 |
| | LIITTEET | 45 |

ERITYISSANASTO tai LYHENTEET

| | |
|------------------|---|
| CBM | <i>Condition Based Maintenance</i> , kuntoon perustuva kunnossapito |
| DMS | <i>Distribution Management System</i> , sähköverkko-yhtiöiden käytöntukijärjestelmä |
| HFCT | <i>High-Frequency Current Transformer</i> , korkean taajuuden virtamuuntaja |
| KJ | Keskijännitejärjestelmä, pääjännite 20 kV |
| NIS | <i>Network Information System</i> , sähköverkkoyhtiöiden verkkotietojärjestelmä |
| OFF-line-mittaus | Jännitteetön mittaus |
| ON-line-mittaus | Jännitteellinen mittaus |
| PJ | Pienjännitejärjestelmä, pääjännite 0,4 kV |
| SFS | Suomen Standardisoimisliitto SFS ry |
| SJ | Suurjännitejärjestelmä, pääjännite 110 kV |
| TBM | <i>Time Based Maintenance</i> , Aikaan perustuva kunnossapito |

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin sähköverkkoyhtiö Elenialle, joka on Suomen toiseksi suurin sähköverkkoyhtiö ja palvelee yli 438 000 asiakasta. Elenia on muodostunut useasta pienemmästä paikallisesta yhtiöstä yhdeksi isoksi toimijaksi, jonka verkkoalue ulottuu aina Karkkilasta Hailuotoon saakka. Elenian sähkönverkko sijoittuu pääosin pienempiin kuntiin ja haja-asutusalueelle, mutta myös suurempia kaupunkeja, kuten Hämeenlinna kuuluu Elenian verkkoalueeseen. Alla olevassa kuvassa 1 näkyy Elenian verkkoalue tumman sinisellä värillä.



KUVA 1. Elenian verkkoalue (Elenia. Sisäinen materiaali)

Opinnäytetyössä tutkittiin millaisilla verkkoratkaisuilla ja indikaattoreilla Elenian keskijännite maakaapeliverkon kuntoa hallitaan. Opinnäytetyössä tehdyn tutkimuksen pohjalta Elenialle luodaan kunnossapitostrategia. Taustana työlle on vuosien 2010 ja 2011 Suomessa olleet suuret myrskyt, jotka aiheuttivat pitkiä ja laajoja sähkökatkoja ympäri Suomea. Vuonna 2013 voimaan astui muutokset

Sähkömarkkinalakiin 588/2013 sähköjakelun toimintavarmuuden parantamiseksi ja sähkökatkojen vaikutuksen lieventämiseksi.

Sähkömarkkinalaissa edellytetään, että jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta asemakaava-alueella verkon käyttäjälle yli 6 tuntia kestävästä sähköjakelun keskeytystä ja muilla kuin asemakaava-alueilla keskeytyksen kesto ei ylitä 36 tuntia (Finlex. 2013). Tämä tarkoitti sitä, että sähköverkkoyhtiöt alkoivat investoida suuria summia rahaa sähköverkon maakaapelointiin.

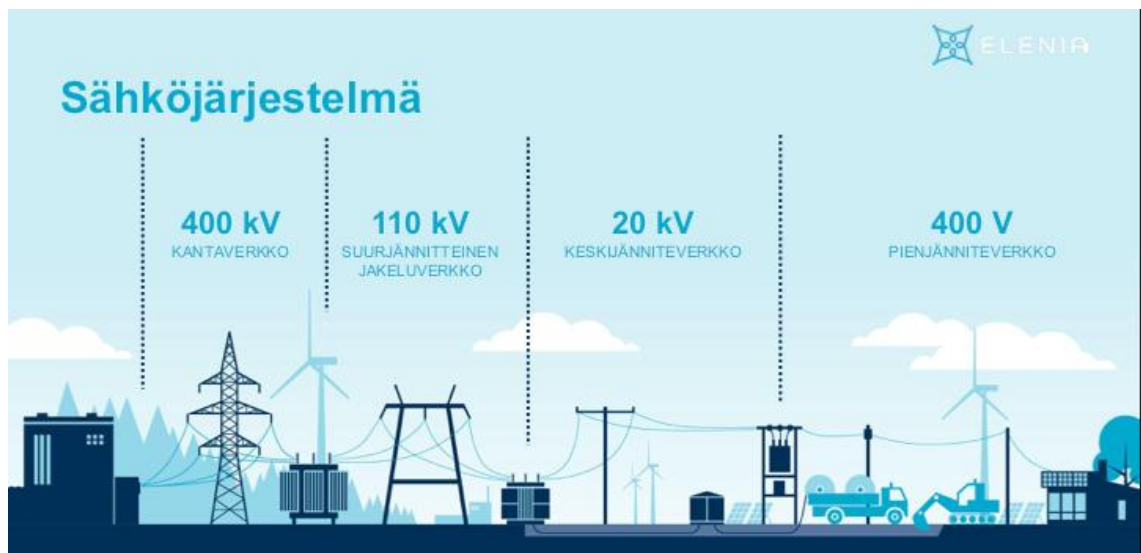
Elenian maakaapeliverkko on suurimmaksi osaksi hyvin nuorta maakaapeleiden elinkaareen nähden, joka on noin 40 vuotta. Vuosien 2012 ja 2023 välillä Elenian sähköverkkoon on rakentunut 30 000 km uutta maakaapeliverkkoa ja maakaapelointiaste on noussut alle 20 %:sta yli 62 %:iin. Kaikki uusi sähköverkko, jota rakennetaan, on maakaapeliverkkoa ja tämän lisäksi Elenia investoi olemassa olevan ilmaverkon maakaapelointiin Säävarma nimisen saneerausprojektin myötä. Maakaapeloinnin rajun kasvun myötä nousee myös maakaapeliverkon kunnossapidon merkitys. Maakaapeliverkon komponenteille, kuten jakokaapeille, muuntamoille ja maadoituksille on olemassa kunnossapitostrategiat, mutta itse keskijännitemaakaapelille kunnossapitostrategiaa ei vielä ole. Kunnossapitostrategiassa määritellään se, miten tiettyä komponenttia kunnossapidetään. Kunnossapitostrategiassa määräytyy myös kunnossapitokierron pituus ja kuinka paljon rahaa komponenttien kunnossapitoon käytetään vuositasolla.

2 SÄHKÖNJAKELUJÄRJESTELMÄ

Toimiva sähköjakelujärjestelmä on tärkeä osa toimivan yhteiskunnan infrastruktuuria. Sähköjakelujärjestelmä koostuu eri tasoista, joiden lopullinen päämäärä on toimittaa sähköä luotettavasti ja turvallisesti voimalaitoksilta loppukäyttäjille. Näissä sähköjakelujärjestelmän tasoissa on useita eri komponentteja, joiden kunnossapito ja ylläpito vaihtelee komponentin mukaan. Toimivan sähköjakelujärjestelmän voi toteuttaa useammalla tavalla, eikä tiettyjä määräyksiä lukuun ottamatta ole vain yhtä oikeaa tapaa tehdä sähköjakelujärjestelmää.

2.1 Sähköjakelujärjestelmän rakenne

Suomessa sähköjakelujärjestelmällä on tehtävänä siirtää sähkövoimansiirtojärjestelmän kautta tuleva tai jakeluverkkoon liitettyjen voimalaitosten tuottama sähkö kuluttajien käyttöön (Lakervi ja Partanen. 2009). Sähköjakelujärjestelmän rakenne on havainnollistettu kuvassa 2.



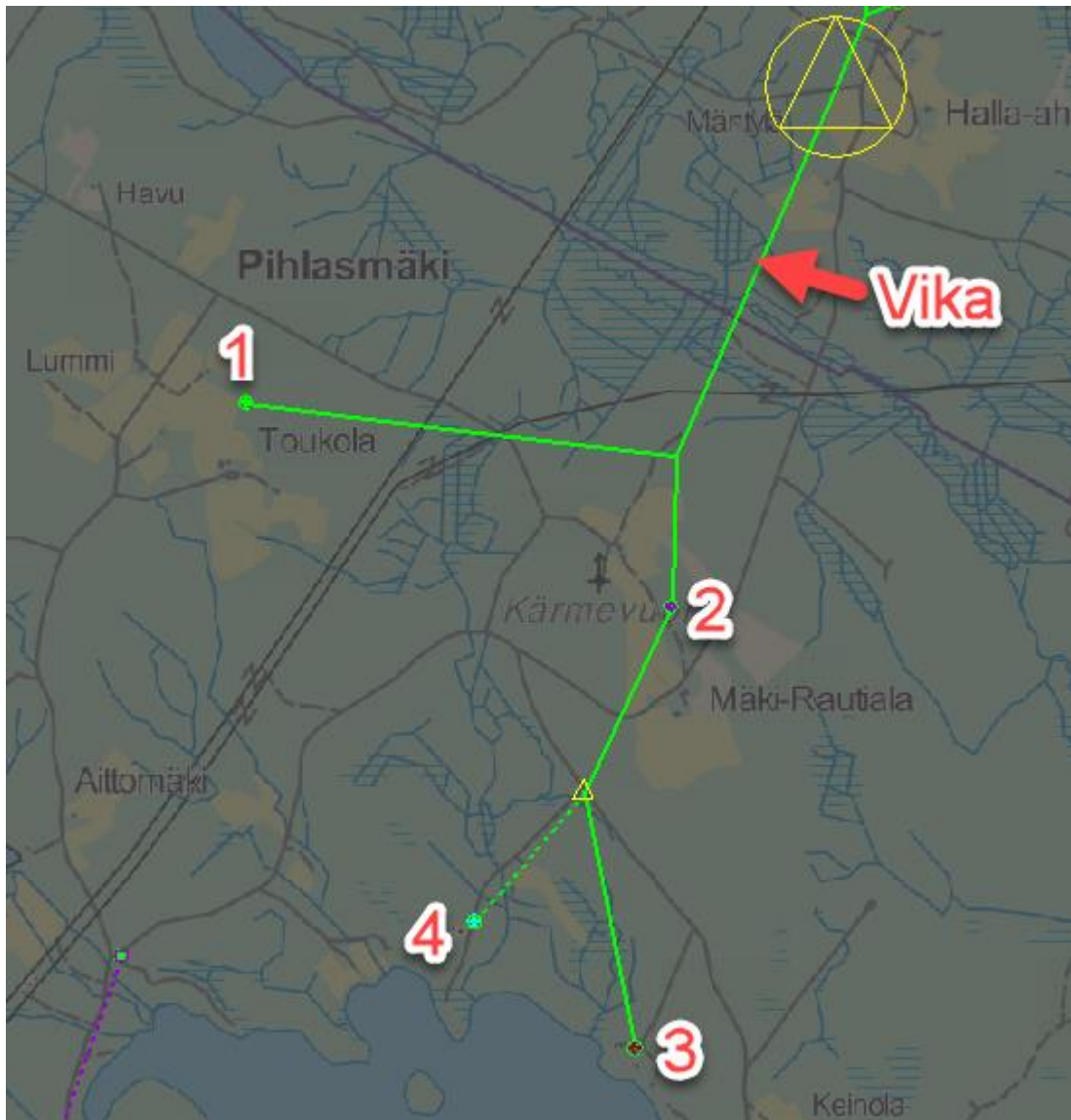
KUVA 2. Sähköjakelujärjestelmän rakenne. (Elenia. Sisäinen materiaali)

Sähkövoimansiirtojärjestelmän kautta tuleva sähkönsiirto ja voimalaitosten tuottaman sähkön sähkönsiirto tapahtuu pääosin 220–400 kV kantaverkossa. Kantaverkosta Suomessa vastaa Fingrid. Kantaverkosta sähkö siirretään suurjännitteeseen jakeluverkkoon eli alueverkkoon, jossa jännite on 110 kV. Suurjännitteinen jakeluverkko voi olla joko sähköverkkoyhtiön omaisuutta tai Fingridin omaisuutta.

Suurjännitteisestä jakeluverkosta sähkö siirretään, yleensä sähköaseman kautta, 20 kV keskijännitejakeluverkkoon. Keskijännitejakeluverkko on sähköverkkoyhtiöiden omaisuutta ja yhtiöt vastaavat oman verkkonsa ylläpidosta ja kehityksestä. Keskijännitejakeluverkosta sähkö siirretään vielä jakelumuuntajien kautta kuluttajille 400 V pienjänniteverkkoon.

Sähkönjakelujärjestelmässä käytetään eri jännitetasoja koska siirtokyky muuttuu olennaisesti jännitteen muuttuessa. 110 kV johdoilla voidaan siirtää kymmeniä megawatteja tehoa noin 100 km, kun puolestaan 20 kV johdoilla voidaan siirtää muutama megawatti tehoa maksimissaan 20–30 km. 400 V pienjännitejohtojen siirtokyky on taas muutamia kymmeniä tai satoja kilowatteja tehoa muutamalle sadalle metrille. (Lakervi ja Partanen. 2009)

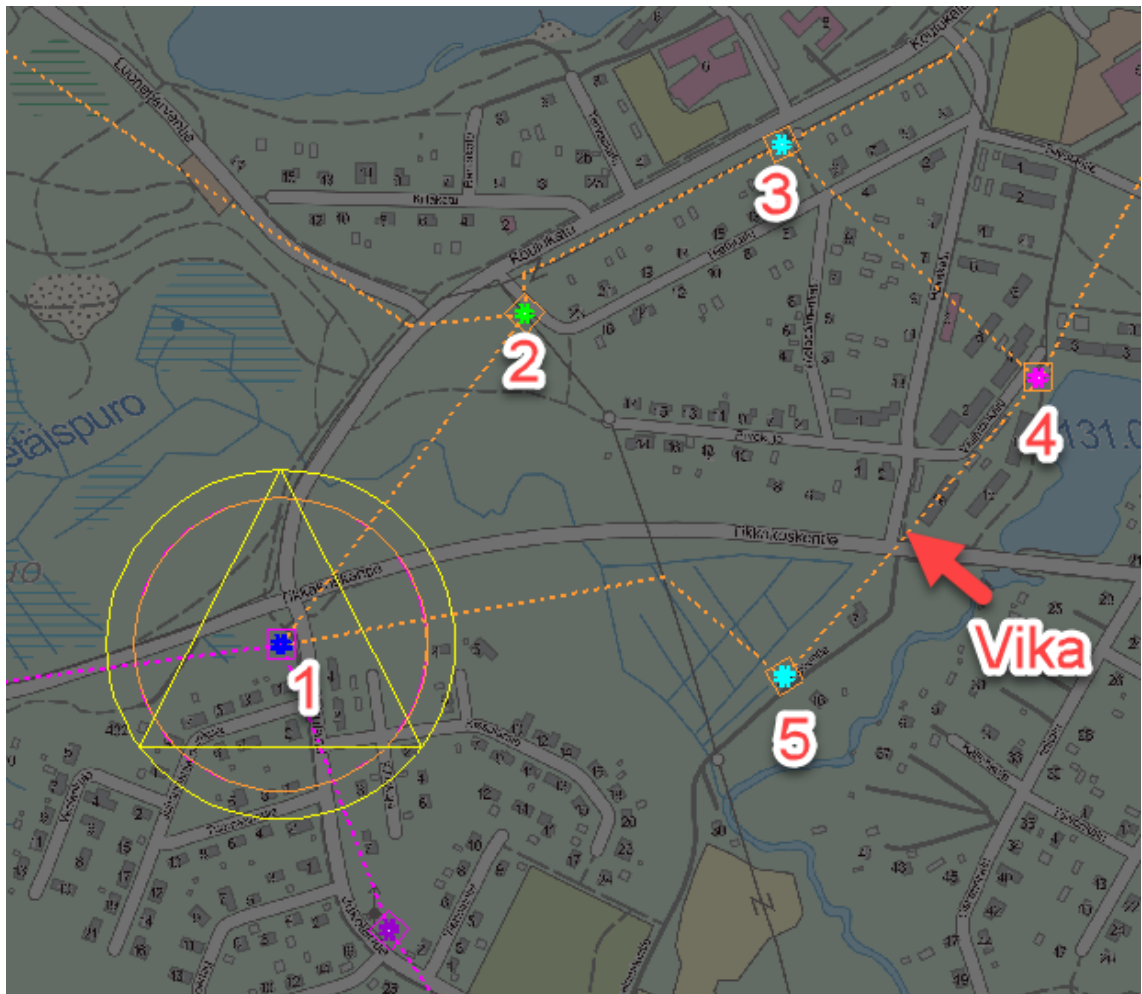
Jakeluverkkoja käytetään lähes aina säteittäisinä, eli yhteys muuhun jakeluverkkoon on vain yhdestä suunnasta. Säteittäinen jakeluverkko on edullisempi toteuttaa, koska verkkoa ei tarvitse rakentaa niin paljon. Kuvassa 3 on esitetty säteittäisen verkon rakenne Trimble DMS käyttötukijärjestelmästä.



KUVA 3. Säteittäinen jakeluverkko. (Trimble DMS)

Kuvassa 3 näkyy, että syöttö muuntamoilla 1,2,3 ja 4 tulee kaikki vikapaikan suunnasta. Jos vika tapahtuu nuolen osoittamassa kohdassa, menevät kaikki neljä muuntamoita ja niiden pienjännitemuuntopiirit sähköttömiksi. Jos vika olisi puolestaan 2 muuntamon jälkeen, ennen muuntamoita 3 ja 4, pysyisivät muuntamot 1 ja 2 sähköissä.

Silmukoidussa verkossa yhteys muuhun jakeluverkkoon on vähintään kahdesta suunnasta. Tämän takia silmukoitu jakeluverkko on toimintavarmuuden kannalta parempi vaihtoehto. Kuvassa 4 on esitetty silmukoidun verkon rakenne Trimble DMS käytöntukijärjestelmästä.



KUVA 4. Silmukoitu jakeluverkko. (Trimble DMS)

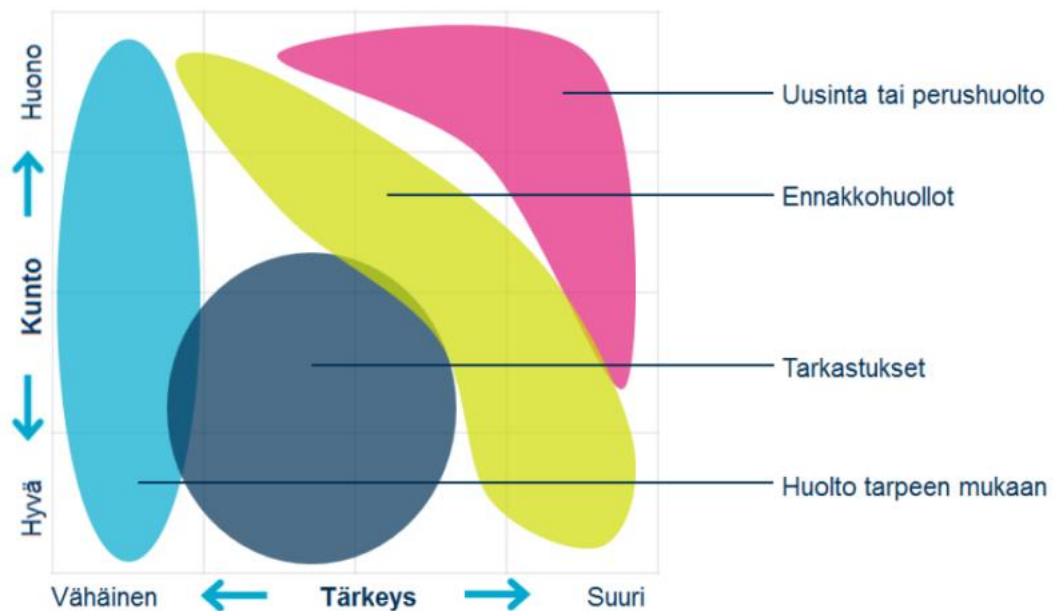
Kuvassa 4 näkyy silmukoidun jakeluverkon rakenne. Jos vika syntyisi muuntamoiden 4 ja 5 väliin ja muuntamo 5, jolle normaalisti tulee syöttö muuntamolta 4 voi nyt saada syötön muuntamolta 1.

Vaikka keskijänniteverkko olisi edullisinta rakentaa säteittäiseksi on tavallisin ratkaisu kuitenkin rakentaa silmukoitu verkko, mutta verkon renkaita käytetään avoimina, jolloin syöttö saadaan myös toisesta suunnasta tarpeen vaatiessa. Näin tehdään, koska keskijänniteverkon viankorjaus on usein hidasta ja rengasyhteyksien rakentaminen tulee usein kannattavammaksi, kun keskeytykset saadaan pidettyä lyhyinä. (Lakervi ja Partanen. 2009)

2.2 Sähköverkkojen kunnossapitoprosessi

Kunnossapidon tavoitteena on pitää sähköverkon komponentit toimintakuntoisina siten, että sähköverkon kokonaiskustannukset (investoinnit, keskeytykset,

käyttö ja kunnossapito) minimoituvat pitkällä aikavälillä. Kunnossapito jaetaan kahteen pääryhmään, ehkäisevään kunnossapitoon ja korjaavaan kunnossapitoon. Korjaavassa kunnossapidossa korjataan vikoja. Ehkäisevän kunnossapidon tavoite on vikaantumisen ehkäiseminen. Tavanomaisia toimintoja ehkäisevässä kunnossapidossa ovat komponenttien kuntotilojen tarkastukset, johtokatu-
jen raivaukset ja määräaikaishuollot. Ehkäisevä kunnossapito jaetaan vielä aikaan perustuvaan kunnossapitoon (TBM, *time based maintenance*) ja kuntoon perustuvaan kunnossapitoon (CBM, *condition based maintenance*). Sähköverkon kunnossapito toteutetaan lähes aina kuntoon perustuvana kunnossapitona ja komponenteille sopivien toimenpideohjelmien määrittämisessä voidaan käyttää apuna ns. luotettavuuspohjaista kunnossapitoajattelua. Kuvassa 5 on esitetty luotettavuuspohjainen kunnossapitostrategia. (Lakervi ja Partanen. 2009)

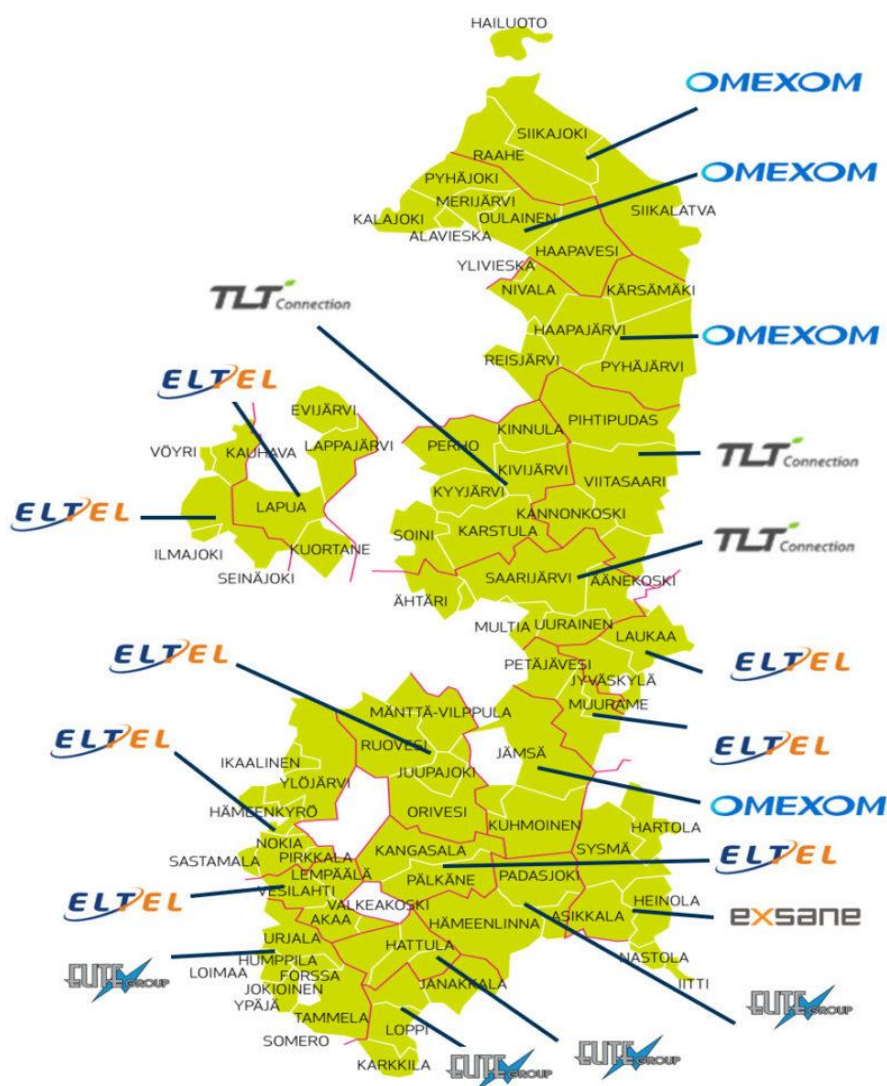


KUVA 5. Luotettavuuspohjainen kunnossapitostrategia. (Heikkilä. 2023)

Kuvassa 5 pystyakselilla kuvataan komponentin kuntoa ja vaaka-akselilla kuvataan komponentin tärkeyttä käyttövarmuuden kannalta. Verkon käyttövarmuuteen vain vähän vaikuttavien komponenttien kunnossapito voidaan tehdä vain tarpeen mukaan (kuvan 5 vasen reuna). Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi pienjännitepylväät. Käyttövarmuuteen hieman enemmän vaikuttaville komponenteille tehdään tarkastuksia ja mittauksia tietyin määräajoin (kuvan 5 keskellä). Tällä varmistetaan, ettei komponentin kunto heikkene tietämättä. Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi KJ-kaukokäyttöerottimet. Tärkeysindeksiltään suurille komponenteille, kuten esimerkiksi SJ-erottimet tai 110/20 kV päämuuntaja,

tehdään laajoja perushuoltoja ja komponenttien vaihtoja tietyin määräajoin, jotta sähköntoimintavarmuus pysyy hyvänä. (Heikkilä. 2023)

Elenialla sähköverkko on jaettu urakointialueisiin, joista vastaa Elenian aluekumppanit. Urakointialueita on yhteensä 20 kappaletta ja aluekumppaneita 5 kappaletta. Sopimukset aluekumppaneiden välillä kilpailutetaan tietyin määräajoin ja tällöin päätetään urakoitsijoiden vastuut eri urakointialueiden kunnossapitotöistä sekä vianhoidosta, mitkä ovat yksikköhinnat töille ja kuinka pitkään kyseinen urakoitsija on tässä roolissa. Kuvassa 6 on esitetty Elenian urakointialueet ja aluekumppanit alueittain.



KUVA 6. Elenian urakointialueet ja aluekumppanit. (Elenia. Sisäinen materiaali)

Kuvasta 6 nähdään, kuinka aluejako kumppaneiden kesken on jakautunut. Omexom vastaa Pohjois-Pohjanmaan urakointialueista sekä Keski-Suomessa Jämsän urakointialueesta. TLT-Connectionilla vastaa Keski-Suomen

pohjoisimmista urakointialueista. Eltel Networksilla on puolestaan vastuu Etelä-Pohjanmaan urakointialueista, Keski-Suomessa Laukaan ja Jyväskylän urakointialueista sekä Pirkanmaan urakointialueista. Elitegroup vastaa Kanta-Hämeen urakointialueista ja viimeisenä Exsane, joka vastaa Heinolan urakointialueesta, joka ulottuu Päijät-Hämeeseen.

Nykyiset aluekumppanisopimukset tulevat päätökseen vuoden 2024 lopussa ja sen jälkeen astuu uudet aluekumppanuussopimukset voimaan. Uusia aluekumppaneita ja aluejakoja ei olla vielä julkaistu.

3 MAAKAAPELIVERKON KUNNOSSAPITO

Maakaapeliverkon komponenteille suoritetaan tietyin määräajoin tarkastuksia, joiden perusteella komponentteja huolletaan ja kunnossapidetään. Kunnossapidon tarkoituksena on pitää sähkönjakelujärjestelmä turvallisena ja toimivana pienemmillä kustannuksilla. Tarkastuksia suoritetaan sekä ulkopuolisen valtuutetun laitoksen toimesta että komponentin omistajan toimesta.

3.1 Tarkastukset

Verkostosuositukset antavat sekä määräyksiä että ohjenuoria sähköverkon kunnossapidolle. Määräyksissä ja ohjeissa tulee ilmi komponenttien kunnossapitokierrot ja se, mitä kyseisellä komponentilla tulee tarkistaa. Sähköverkon kunnossapitotarkastukset on jaettu määräaikaistarkastuksiin ja kuntotarkastuksiin.

Jakeluverkoille on tehtävä viiden vuoden välein määräaikaistarkastuksia. Määräaikaistarkastuksen voi tehdä vain valtuutettu laitos. Sähkölaitteiston haltijan tulee kuitenkin huolehtia, että valtuutettu laitos tekee määräaikaistarkastuksen määräajan sisään. Määräaikaistarkastuksella suoritetaan pistokokeita verkon komponenteille ja tuloksista laaditaan pöytäkirja sähkölaitteiston haltijalle. Haltijan tulee huolehtia, että mittauspöytäkirjassa esitetyt komponentit, joissa on puutteita, korjataan viimeistään ennen seuraavaa määräaikaistarkastusta. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. n.d)

Sähköverkon komponenteille ei ole suoraan määrätty, kuinka usein komponenteille tulee tehdä kuntotarkastus. Verkostosuosituksessa TA 1:97 sanotaan, että tarkastuksia on suoritettava tarpeeksi usein. Sähkölaitteiston haltijan tulee luokitella sähköverkkojen komponentit ja tärkeyden mukaan luoda sähköturvallisuutta ylläpitävä kunnossapito-ohjelma. Kuntotarkastuksien tiheys tulee perustua todelliseen tarpeeseen. Todellinen tarve määritellään aiemmista tarkastustuloksista sekä vikaraporteista. Jos luotettavaa menetelmää näiden tietojen saamiseksi ei ole, tulee tarkastustiheys perustua esimerkiksi valmistajan antamiin suosituksiin, laitteiston ikääntyneisyyteen tai asennuspaikan kriittisyyteen. (Sähköenergialiitto ry. 2024)

3.2 Maakaapeliverkon komponentit

Maakaapeliverkon komponentteihin kuuluu muuntamot, jakokaapit, maakaapelit ja maadoitukset. Muuntamoilla on useita eri komponentteja kuten jakelumuuntaja, erottimia ja katkaisijoita. Kaikille maakaapeliverkon komponenteille tehdään oma kunnossapitostrategia, jonka mukaan komponenttia tarkastetaan ja kunnossapidetään. Mitä tärkeämpi kohde on kyseessä, sitä useammin kohde tarkistetaan.

Kohteen tärkeys määritellään sen mukaan kuinka laaja keskeytys tai kuinka suurta vahinkoa kohteen vikaantumisesta aiheutuu. Seuraavaksi käydään läpi Elenian käytössä olevat kunnossapitomenetelmät keskijännite- ja pienjännite-maakaapeliverkon komponenteille.

3.2.1 Muuntamoiden kunnossapito

Jakelumuuntamo on sähkönjakeluverkon komponentti, jonka avulla jännite muunnetaan 20 kV:n keskijännitetasosta kuluttajille sopivaan, yleensä 0,4 kV:n pienjännitetasoon. Muuntamot voivat olla joko pylväsmuuntamoita tai puistomuuntamoita. Koska työssä tutkitaan maakaapeliverkon kunnonhallintaa, tarkastellaan pelkästään puistomuuntamon tarkastusmenetelmiä. Kuvassa 7 on esitetty tyypillisen puistomuuntamon rakenne.



KUVA 7. Puistomuuntamon rakenne.

Kuvassa 7 näkyy tyypillisen puistomuuntamon rakenne, joka on leveydeltään noin 2–3 metriä, pituudeltaan noin 2,5–3 metriä ja korkeudeltaan noin 2,5 metriä, mutta riippuen jakelumuuntajan koosta ja kennojen lukumäärästä puistomuuntamon sisällä voivat koot vaihdella suuntaan tai toiseen. Kuva on otettu Elenian sähköverkosta. Puistomuuntamot ovat jaettu sisältä kolmeen osaan: KJ-puoli, muuntajatilat ja PJ-puoli. Muuntamon osat näkyvät kuvassa 8.



A)

B)



C)

KUVA 8. Muuntamon osat.

Kuvassa 8 näkyy muuntamon osat. Kuvat ovat otettu Elenian sähköverkosta. Kohdassa A näkyy muuntamon SF6-kaasulla varustetun kojeiston KJ-puoli. SF6-kaasulla varustetussa kojeistossa kennot ovat suljettuja, jotta kaasu ei pääse vuotamaan. Kohdassa B näkyy muuntamon muuntajatilat, jossa 20 kV jännite muunnetaan jakelumuuntajan avulla loppukäyttäjälle sopivaan jännitteeseen,

joka on yleensä 0,4 kV. Kohdassa C näkyy muuntamon PJ-puoli, josta syötöt menevät joko jakokaapin kautta loppukäyttäjälle tai joissain tapauksissa suoraan loppukäyttäjälle.

Puistomuuntamoiden kuntotarkastus tehdään kuuden (6) vuoden tarkastuskierrolla. Tarkastuksilla tarkistetaan muun muassa erottimien kunnot, kaikki kaapelipäätteet ja liitokset, sulakekoot, lähtöjen sekä tulojen merkinnät ja suunnat, muuntamon yleiskunto ulkoa ja sisältä ja jakelumuuntajan kunto. Liitteessä 1 on esitetty listaus puistomuuntamotarkastuksella tarkastettavista asioista. (Elenia. Sisäinen materiaali)

Liite 1 on otettu verkkotietojärjestelmä NIS:stä yhden puistomuuntamon kunnossapitotiedoista. Tarkastuksilla tarkastajat käyvät kohteen läpi kohta kohdalta ja dokumentoivat tulokset verkkotietojärjestelmään. Tarkastuksien jälkeen, jos kohteessa on ollut puutteita ja vikoja tai huollettavaa, korjataan se erillisellä kunnossapitotyöllä. Muuntamoita kunnossapidetään tarkastuskiertojen välissä myös kuntoon perustuvalla kunnossapidolla, jos huomataan jokin asia, mikä olisi hyvä korjata, kuten esimerkiksi SF6-kaasupaineen lasku. Tällöin tarkistetaan, onko kaasupainemittari rikki vai vuotaako kojeisto jostain ja tehdään tarvittavat toimenpiteet, että kojeisto saadaan kuntoon.

3.2.2 Jakokaappien kunnossapito

Jakokaappi on sähköverkon komponentti, jonka kautta sähkö jaetaan kuluttajille ja muille jakokaapeille. Jakokaapit ovat pienjänniteverkon komponentteja ja niitä syötetään yhdellä maakaapelilla joko muuntamolta tai toiselta jakokaapilta. Jakokaappeja käytetään, jotta muuntamoilta ei tarvitse asentaa omaa maakaapelia jokaiselle käyttöliittymälle, vaan muuntamolta tuleva muuntopiirin sähköä syötävä maakaapeli tulee yhtenä poikkipinta-alaltaan suurempana kaapelina jakokaapille, josta sähkönjakelu jatkuu useammalla poikkipinta-alaltaan pienemmällä maakaapelilla. Tyypillinen jakokaappi on esitetty kuvassa 9.



KUVA 9. Jakokaapin rakenne.

Kuvassa 9 näkyy jakokaappi, joka on tyypillisesti noin 0,5–1 metriä leveä, 0,4 metriä syvä ja 1–1,5 metriä korkea. Kuva on otettu Elenian sähköverkosta. Jakokaapin koko vaihtelee jonovarokeytkimien määrän mukaan. Kuvassa 10 näkyy jakokaappi sisältä.



KUVA 10. Jakokaappi sisältä.

Kuvassa 10 näkyy jakokaappi sisältä. Kuva on otettu Elenian sähköverkosta. Tässä jakokaapissa on 4 jonovarokeytkintä (numerot 1, 3, 4 ja 5) sekä yksi suoraan kiskoon liitetty PJ-liitinliitos (numero 2).

Jakokaappien kuntotarkastukset tehdään kahdeksan (8) vuoden välein. Tarkastuksilla tarkistetaan muun muassa kaapeleiden päätteet ja kiinnitykset, merkinnät ja lähtöjen suunnat, jakokaapin suoruu siltä varalta, että routasuojaus on pettänyt tai jakokaappiin on törmätty. Lisäksi jakokaapin yleiskuntoa tarkistellaan sekä ulkoa että sisältä. Liitteessä 2 on esitetty listaus jakokaappitarkastuksella tarkistettavat asiat. Liite 2 on otettu yhden jakokaapin kunnossapitotiedoista verkkotietojärjestelmä NIS:stä. Tarkastajat käyvät listan kohdat läpi ja dokumentoi havainnot verkkotietojärjestelmään, jonka jälkeen mahdolliset puutteet tai korjaukset hoidetaan kuntoon erillisellä kunnossapitotyöllä. (Elenia. Sisäinen materiaali)

3.2.3 Erityiskohteiden kunnossapito

Erityiskohteet ovat muuntamoita, joille normaali tarkastuskierto on liian pitkä. Erityiskohteiden kuntotarkastus tehdään yhden (1) tai kolmen (3) vuoden välein riippuen erityistarkastuksen syystä. Lyhennettyä tarkastuskiertoa noudatetaan muun muassa, jos välittömässä läheisyydessä liikkuu paljon ihmisiä, erityisesti lapsia kuten koulualueilla, urheilu- ja leirintäalueilla. Myös ne verkkokomponentit, jotka ovat haastavissa tai suojeltavissa ympäristöolosuhteissa kuten pölyisessä ympäristössä tai pohjavesiluokan 1 ja 1E-alueella kuuluvat lyhennetyn tarkastuskierron piiriin. Pohjavesiluokkaan 1 kuuluu vedenhankintaa varten tärkeät pohjavesialueet ja mikäli alueeseen liittyy pohjavedestä suoraan riippuvainen pintavesi- tai maaekosysteemi, luokitellaan se 1E-luokkaan (Valtioneuvosto. 2018).

Lisäksi verkkokomponentit, jotka luokitellaan riskikohteiksi tai niissä on havaittu poikkeama, jonka tilannetta halutaan seurata tarkemmin, kuuluvat lyhyemmän tarkastuskierron piiriin. Kaikki muut kohteet tarkistetaan yhden (1) vuoden tarkastuskierrolla, mutta pohjavesi 1- ja 1E-alueella olevat 100 % öljyaltailta varustetut muuntamot tarkastetaan kolmen (3) vuoden välein. (Elenia sisäinen materiaali)

Erityiskohdetarkastuksilla tehtävät tarkastukset näkyvät liitteessä 3. Tarkastettavat kohteet erityiskohteilla ovat samat kuin muuntamotarkastuksilla, ja tarkastajat dokumentoivat huomiot tarkastuksilta verkkotietojärjestelmä NIS:n ja mahdolliset puutteet tai korjaukset tilataan erillisellä kunnossapitotilauksella.

3.2.4 Maadoitusmittaukset

Maadoitusjärjestelmät tulee mitata ennen käyttöönottoa ja jos kohteelle tehdään laajennus, jos ne eivät ole galvaanisesti yhteydessä muihin yli 1000 voltin jakelujärjestelmiin, mutta maadoitusresistanssin suuruudelle on annettu tietty arvo. Yksittäiseen maadoitukseen liitetyille maadoitusjärjestelmille asetettujen vaatimusten toteutuminen pitää varmistaa mittaamalla maadoitusresistanssi tietyin määrittävin välein.

Suosittelavia ohjearvoja maadoitusresistanssin mittaussväleiksi ovat 6 vuotta, kun maadoitus on yhden maadoitusjohtimen varassa ja 12 vuotta, kun maadoitus on useamman kuin yhden maadoitusjohtimen varassa. (SFS 6001. 2018)

4 MAAKAAPELEIDEN KUNNONVALVONTAMITTAUKSET

Suurin osa Elenian keskijännitemaakaapelista on nuorta elinkaarensa nähden ja kunnonhallinta tehdään kuntoon perustuvana kunnossapitona. Tämä tarkoittaa sitä, että kaapeleita huolletaan tai vaihdetaan vasta vikaantumisen yhteydessä, eikä kaapeleille ole määritelty tarkkoja kunnonvalvontamenetelmiä. Keskijännitemaakaapeliverkon kunnonvalvontaan käytetään osittaispurkaus- ja häviökerroinmittauksia tarveperusteisesti. Rakenteella (mm. betonilla) suojattujen kaapeleiden suojausta ja kuntoa tarkastetaan myös tarveperusteisesti.

4.1 ON-line- ja OFF-line-mittaukset

Maakaapeleiden kunnonvalvontamittaukset voidaan suorittaa joko ON-line-mittauksena tai OFF-line-mittauksena. ON-line-mittauksessa kaapelin kuntoa tarkistellaan sen ollessa kiinni verkkojännitteessä, eikä mittaus vaadi käyttökatkoa. ON-line-mittauksia voidaan tehdä esimerkiksi HFCT-mittauksena (*High-Frequency Current Transformer*) eli korkean taajuuden virtamuuntajalla, jolla pystytään havaitsemaan osittaispurkauksia kaapelipääteissä. Osittaispurkauksia voidaan myös mitata ON-line-mittauksena esimerkiksi akustisella ultraäänikameralla, jolloin mittaus ei vaadi minkäänlaista asennustyötä. OFF-line-mittaukset puolestaan vaativat käyttökatkon ja mitattava kaapeli kytketään irti sähköverkosta mittauksen ajaksi. OFF-line-mittauksella pystytään mittaamaan kaapelin eristeen kuntoa ja vaikka se on lähtökohtaisesti aina työläämpi ja kalliimpi vaihtoehto on se myös ainoa tapa saada selville maan alla kulkevan osuuden kunto. (Elenia. Sisäinen materiaali)

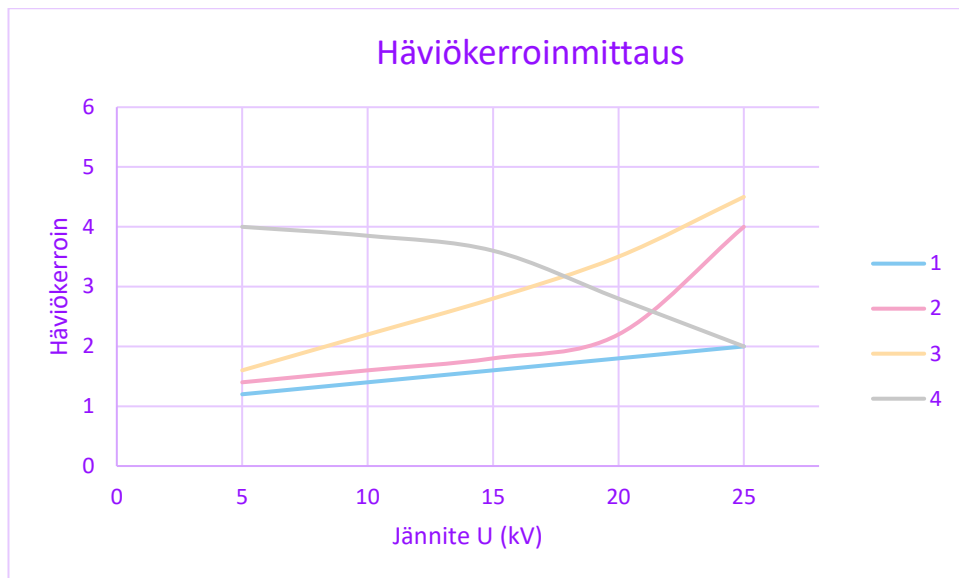
Keskustelussa kaupunkiverkkoyhtiön kanssa, jolla suurin osa sähköverkosta on maakaapelia, kävi ilmi, että heidän sähköverkossansa maakaapeleiden kuntoa valvotaan pääsääntöisesti OFF-line-mittauksien avulla. Mittauksia suoritetaan kaapelin käyttöönoton yhteydessä, jotta saadaan dataa kaapelin alkuperäisestä kunnosta ja sen jälkeen mittausväli määräytyy kaapelivalmistajan suositusten mukaisesti. ON-line-mittauksia käytetään pääsääntöisesti kaapelipääteiden eheyden mittaamiseen ja ilmalinjojen eristimien eheyden mittaamiseen. (Muru-mäki, T. 2024)

4.2 Häviökerroinmittaukset

Häviökerroinmittauksessa määritetään kaapelin eristeen pätö- ja loistehon suhde. Häviökerroinmittaus tunnetaan myös nimellä Tangentti Delta-mittaus. Mittauksella saadaan tietoja kaapelin eristeen kunnosta ja sen ikääntymisestä. Häviökerroinmittaus on hyvä suorittaa kaapelin käyttöönoton yhteydessä, jotta kaapelista löytyy jokin vertailuarvo myöhempiä mittauksia varten. Myöhemmissä mittauksissa tuloksia voidaan vertailla kaapelin alkuperäisen kunnan mittaustuloksiin ja tehdä johtopäätöksiä onko kunto muuttunut. (Eurolaite. 2021)

Mittaukset suoritetaan yleensä usealla mittausjännitteen tasolla. Mittauksen ulottuvuus vaihtelee hieman mittauslaitteen ominaisuuksien takia, mutta esimerkiksi BAUR PGH 80 mittalaitteella ulottuvuus on jopa 30 km. Mittaustulosten perusteella kaapeleille annetaan kuntoluokitus kansainvälisen IEC-standardin mukaan, joka mahdollistaa kunnossapitotoimien ja investointien suunnittelun mitatun kaapelin kuntoon perustuen. Kuntoluokitus annetaan monesti liikennevalomenetelmällä, jossa vihreän luokan kaapelit ovat terveitä, keltaisen luokan kaapelit tulee korjata kunnossapitotoimenpiteillä ja punaisen luokan kaapelit ovat vaihtokunnossa. (Insplan, Sisäinen materiaali)

Kuviossa 1 on opinnäytetyötä varten tehty kuvaaja, joka esittää eri ikäisten ja kuntoisten kaapeleiden eristeiden häviökerroinmittaustuloksia. Kuviossa esitetyt mittaukset ovat kuvitteellisia, eikä esitä todellisesta mittauksesta saatuja tuloksia vaan toimivat havainnollistavina esimerkkeinä sille, miltä tiettyjen tilanteiden mittaustulokset voisivat näyttää.



KUVIO 1. Häviökerroinmittaukset.

Kuviossa 1 vaak akselilla on mittausjännite kilovolteina ja pystyakselilla on häviökertoimen arvo. Kuvion sininen käyrä 1 esittää terveen kaapelin eristeen häviökerroinmittaustuloksia. Terveen kaapelieristeen häviökerroin nousee hieman mittausjännitteen suurentuessa, mikä on merkki kaapelin normaalista ikääntymisestä. Käyrän 1 kaapeli luokiteltaisiin vihreään luokkaan. Kuvion punaisen käyrän 2 häviökertoimen arvo nousee voimakkaasti tietyn mittausjännitteen jälkeen. Tämä on indikaattori osittaispurkauksista kaapelieristeessä. Käyrän 2 kaapeli luokiteltaisiin keltaiseen luokkaan. (Eurolaite. 2021)

Kuvion keltaisen käyrän 3 häviökertoimen arvo nousee tasaisesti ja voimakkaasti kaikilla mittausjännitteillä. Tämä on indikaattori pahasti ikääntyneestä kaapelieristeestä. Käyrän 3 kaapeli luokiteltaisiin punaiseen luokkaan. Kuvion harmaan käyrän 4 häviökerroin pienenee mittausjännitteen kasvaessa, mikä on usein indikaatio kosteudesta kaapelissa. Mittausjännitteen noustessa vesi höyrystyy, jolloin kaapelieristeen häviökerroin pienenee. Käyrän 4 kaapeli luokiteltaisiin keltaiseen luokkaan. (Eurolaite. 2021)

4.3 Osittaispurkausmittaukset

Osittaispurkauksella tarkoitetaan yleensä sähköpurkausta, joka ei täysin täytä kahden johtavan elektrodin välistä tilaa. Osittaispurkauksen syynä on yleensä pieni vika, joka aiheuttaa useasti toistuvia pieniä purkauksia ja yleistyy ajan

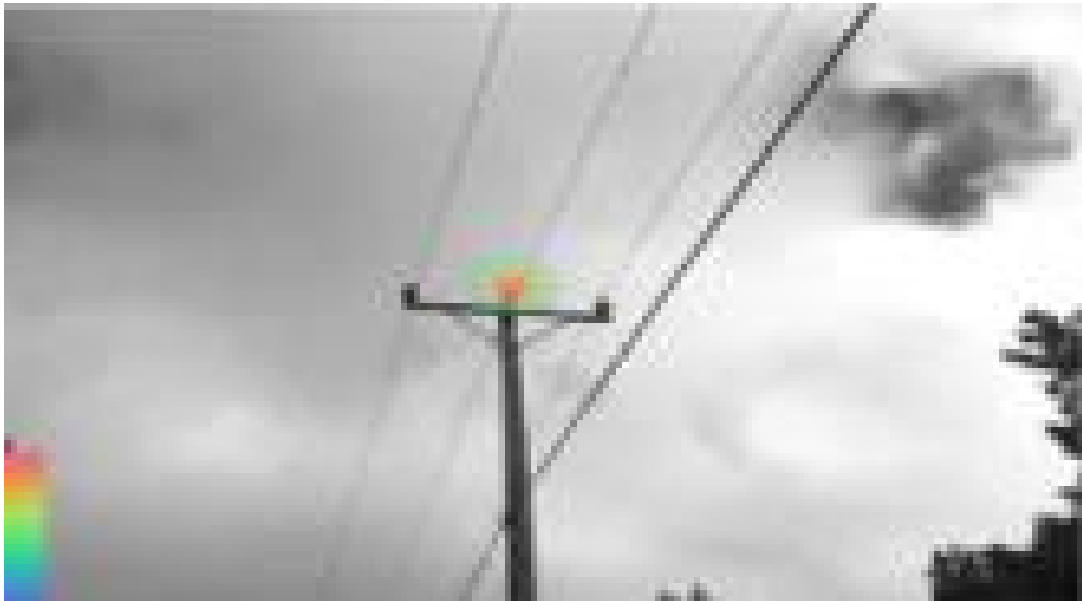
myötä. Osittaispurkaukset voivat johtaa vakaviin kaapelivikoihin ja läpilyönteihin, jolloin syntyy vaarallinen valokaari. Osittaispurkauksen tyyppejä on yleensä neljä, joista jokainen on taipuvainen aiheuttamaan eritasoisia vahinkoja. (Fluke. 2024)

1. Koronapurkaus on yleinen osittaispurkaus, joka syntyy, kun purkautuminen tapahtuu suoraan johtimen terävästä pinnasta ilmaan. Vahinkojen ja turvallisuuden kannalta korona ei yleensä ole suuri huolenaihe. Koronapurkaus aiheuttaa äänipäästöjä ja radiotaajuussäteilyä, joka helpottaa sen tunnistamista.
2. Valokaaripurkaus on pitkäaikainen sähköpurkaus, joka johtuu kaasun sähköhajoamisesta. Suuri jännite synnyttää reitin purkaukselle eristeeseen, kun virta kulkee ilman tai minkä tahansa muun johtamattoman aineen läpi, jolloin syntyy plasmaa.
3. Pintapurkaus on se ilmiö, kun purkaus kulkee eristeen pintaa pitkin. Pintapurkaus on yksi tuhoisimmista osittaispurkauksen tyypeistä. Yleisimmät syyt pintapurkaukselle on eristyspinnan likaantuminen ja kuluminen.
4. Tyhjiöpurkaus (sisäinen) johtuu yleensä kaapeleiden, holkkien, liitoseristeiden ja vastaavien eristysviasta. Tyhjiöpurkaus jatkaa yleensä laajenemistaan tuhoten eristeet, kunnes se aiheuttaa täydellisen vikaantumisen.

Osittaispurkauksien havaitseminen ja korjaaminen ajoissa on tärkeää, jotta voidaan välttää turhat käyttökatkot, tulipalot, eristeen hajoamiset ja verkon ylikuormitukset. Nykyään osittaispurkauksen havaitsemiseen on olemassa useita menetelmiä, joita suoritetaan sekä ON-line-mittauksena että OFF-line-mittauksena. Osittaispurkauksia voidaan havaita muun muassa ultraäänellä, radiotaajuudella ja ultraviolettisäteilyllä. (Fluke. 2024)

Insplanin edustajat kävivät esittelemässä NL Acoustic ultraäänikameraa ja sen toimintaa. Ultraäänikamera havaitsee osittaispurkauksia äänialueella 2–35 kHz ja äänenvoimakkuuden dynaaminen mittausalue on noin 0–120 dB. NL Acoustic ultraäänikamera pystyy tunnistamaan osittaispurkauksia 0,3–100 metrin etäisyydeltä ja esittää purkaukset visuaalisesti kameran kuvassa. NL Acoustic ultraäänikameran käyttö oli yksinkertaiselta ja mittaustulosten tulkinta oli selkeää.

Kuvassa 11 näkyy NL Acustic ultraäänikameralla havaittu purkaus 20 kV ilmajohtolinjan eristimessä.



KUVA 11. NL Acustic ultraäänikamera. (Insplan, Sisäinen materiaali)

Kuvan 11 ultraäänikameran ottamassa kuvassa näkyy, kuinka 20 kV:n pylvään keskimäinen eristin on vikaantunut ja siitä on havaittavissa purkauksia. Ultraäänikameran käyttö soveltuu hyvin ilmaeristeisten kaapelipäätteiden mittaamiseen sekä pylväseristimien vikojen havaitsemiseen.

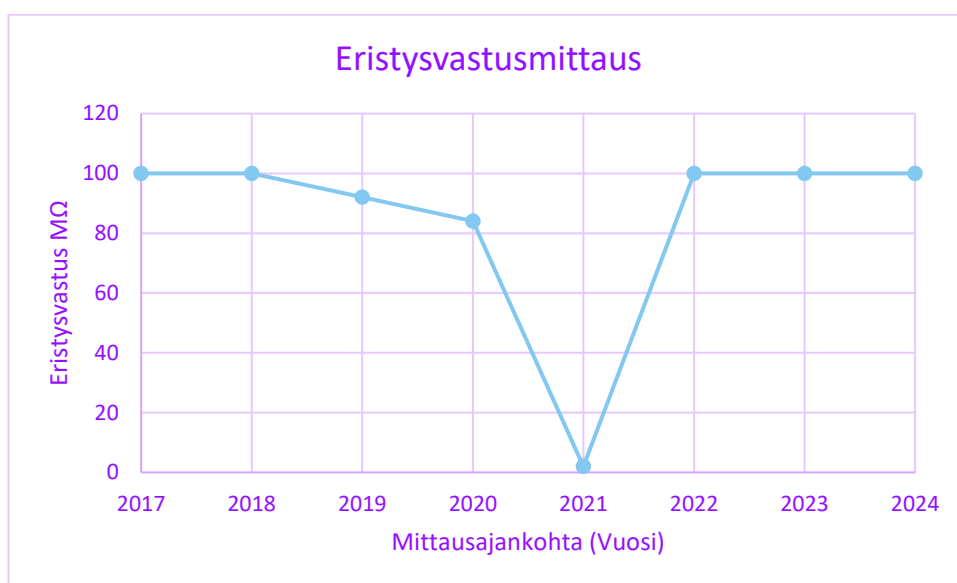
4.4 Eristysvastusmittaukset

Eristysvastusmittaus perustuu Ohmin lakiin. Kyseinen vastus toimii kahden johtimen välissä olevan eristyksen vuotovirran laadunilmaisena. Eristysvastus voidaan helposti laskea syöttämällä tunnettu jännitearvo sekä mittaamalla virran arvo. Eristysvastus on periaatteessa erittäin korkea ja mittaamalla alhaisella virralla saadaan vastusarvot yleensä muodossa $k\Omega$, $M\Omega$, $G\Omega$ tai jopa $T\Omega$. (Chauvin-Arnoux. 1. 2014)

Eristysvastusmittauksessa saadaan selville mahdolliset vaippavauriot maakaapelissa. Eristysvastusmittaukseen on siihen tarkoitukseen tehdyt mittarit, joita löytyy usealta eri valmistajalta. Mittaus tehdään monesti noin viikko kaapelin asennuksen jälkeen, kun maa on ehtinyt tiivistyä. Mittauksella varmistetaan, että

kuljetus-, lasku- ja kaivuutöissä ei ole syntynyt vaippavaurioita. Mittauksessa eristysvastusmittarin mittajohtimet kytketään mitattavan kaapelin kosketussuojaan sekä muuntamon maadoitukseen ja mitataan mittaussnapojen välillä olevaa vuotovirtaa. Mittaus suoritetaan OFF-line-mittauksena ja mittaussännitettä nostetaan portaittain, jotta eniten vaurioitunut vikapaikka löydetään ensimmäisenä. Ehjän kaapelivaipan vuotovirta on noin 1 $\mu\text{A}/\text{km}$, mahdollisen vaippavian vuotovirta on yli 10 $\mu\text{A}/\text{km}$ ja vaippaviassa vuotovirta on yli 1 mA/km . (Sonepar. 2024)

Kuviossa 2 on havainnollistettu kuvitteellisen vaippavian syntyminen ja miten se näkyisi eristysvastusmittauksissa.



KUVIO 2. Eristysvastusmittaus.

Kuviossa 2 nähdään miten kuvitteellinen vaippavika alkaa syntyään vuoden 2018 mittauksen jälkeen. Vuoden 2020 mittauksen jälkeen eristysvastus laskee nopeasti, mikä viittaa eristysvikaan maakaapelin vaipassa. Vian ilmettyä se on korjattu ja vuoden 2022 mittauksien jälkeen eristysvastus on taas normaali.

4.5 Etäkunnonvalvontapalvelut

Teknologian ja automaation kehittyessä sähköverkoissa on myös etäkunnonvalvontapalveluiden määrä kasvanut. Etäkunnonvalvonnan myötä saadaan luotettavaa dataa mitattavalta kohteelta ilman, että paikan päälle tarvitsee mennä

suorittamaan mittauksia. Yksi Elenialla kokeilussa ollut etäkunnonvalvontapalvelu on UTU Vahti.

UTU Vahti-palvelutuotteella seurataan muuntamokannan teknistä kuntoa ja pyritään normaalisti poikkeavien signaaliarvojen avulla löytämään vikaantuneita komponentteja, ennen kuin peruuttamaton vika ja siitä koituvat keskeytys- ja korjauskustannukset realisoituvat. Valvottujen parametrien tilaa on mahdollista seurata reaaliajassa UTU portaalissa. Portaalista nähdään mahdolliset osittaispurkaukset, kohonneet lämpötilat, kosteustasot, poikkeavat ympäristöolosuhteet ja kaapelivikahälytykset ulkoisilta laitteilta, jos sellaisia on asennettuna. (Koskinen, J. 2023)

Elenian UTU Vahti-palvelutuotteen kokeilussa asennettiin neljä kappaletta vah-teja neljälle muuntamolle. Yksi muuntamoista oli kuivassa tilassa oleva kiinteistömuuntamo, yksi muuntamoista oli uusi puistomuuntamo ja kaksi vah-teja asennettiin hieman vanhempiin puistomuuntamoihin, joilla epäiltiin olevan jotain vikaa. Kohteet määräytyivät sen mukaan, että ympäristöt ja kohteiden kunnot olivat hyvin erilaiset, joten pystyttiin tarkkailemaan, sitä miten kerätty data muuntamoilta erosi toisistaan. Vahdit muuntamoilla olivat asennettuina muutaman kuukauden, jonka jälkeen pidettiin yhteinen palaveri UTU Vahti-palvelutuotteen edustajien ja Elenian edustajien kesken, jossa kokeilujakson dataa käytiin läpi.

Kiinteistömuuntamolla ei havaittu mitään poikkeavaa kokeilujakson aikana. Lämpötilassa ja kosteudessa oli pieniä muutoksia, mutta ei mitään toimenpiteitä aiheuttavia muutoksia. Uudella puistomuuntamolla kosteuden vaihtelu oli merkittävää. Kosteus voi aiheuttaa vikoja muuntamon komponentteihin, mutta HFCT osittaispurkausmittaukset näyttivät lähes nollaa, eli kosteus ei ole ainakaan vielä aiheuttanut mitään vikaantumista. Toisella vanhemmalla puistomuuntamolla havaittiin osittaispurkauksia akustisella ultraäänimittauksella, mutta HFCT osittaispurkausmittaukset näyttivät nollaa, joka herätti hieman kysymyksiä. Yksi syy tälle voi olla esimerkiksi myrskyn aiheuttamat äänet, jonka akustinen ultraäänimittaus voi tulkita osittaispurkaukseksi. Toiselta vanhemmalta puistomuuntamolta tuli hälytyksiä sekä akustisen ultraäänimittauksen osittaispurkauksista että HFCT osittaispurkausmittauksista. Purkaukset eivät olleet vielä kovin suuria, mutta

havainto oli kuitenkin hyvä ja vaatii toimenpiteitä tulevaisuudessa, jotta välttyään vikaantumiselta.

Vahdit soveltuvat hyvin, jos epäillään, että muuntamalla olisi kehittymässä vikaa, mutta mitään konkreettista vikaa ei ole vielä havaittu. Vahti kannattaa asentaa muuntamolle muutamaksi kuukaudeksi ja seurata kerättyä dataa, jonka jälkeen voidaan suorittaa tarvittavat toimenpiteet, jos datan perusteella jossain komponentissa on kehittymässä vika. Vahtien avulla ei kuitenkaan pysty havaitsemaan vikoja itse maakaapelissa, joten opinnäytetyön kannalta UTU vahti-palvelutuotteita ei voi hyödyntää.

4.6 Maadoituseheysmittaus

Maadoituseheysmittauksessa mitataan maadoitusjärjestelmän jatkuvuutta ja eheyttä. Maadoitusjärjestelmän eheys olisi hyvä suorittaa esimerkiksi häviökerroinmittauksen yhteydessä, kun kaapeli otetaan jännitteettömäksi. Mittauksesta saatu tieto on oleellista, koska sillä voidaan varmistaa maadoitusjärjestelmän toimivuus ja näin välttyä sähköiskuilta ja ylijännitteiltä.

Mittaamiseen käytetään maadoituseheysmittaria, joka mittaa maadoitusjohtimen vastuksen. Jos mittauksen tuloksena on matala vastusarvo tarkoittaa se yleensä, että maadoitusjärjestelmä on ehjä ja toimii toivotulla tavalla. Korkea vastusarvo puolestaan viittaa siihen, että maadoitusjohtimessa on jotain vikaa. Korkea vastusarvo voi johtua muun muassa huonoista liitoksesta, korroosiosta tai vaurioituneesta johtimesta. (Chauvin-Arnoux. 2. 2014)

5 MITATTAVIEN KOHTEIDEN MÄÄRITTÄMINEN

Mitattavien kohteiden määrittelyssä yritettiin löytää ne kohteet Elenian sähköverkosta, jotka aiheuttaisivat suurimman haitan, mikäli ne vikaantuisivat. Määrittämisessä otettiin huomioon useampi eri tekijä, joilla kriittisimmät kohteet pyrittiin löytämään. Tässä luvussa tarkistellaan, millaisia tekijöitä otettiin huomioon kohteiden määrittämisessä ja sitä, miten kohteet jakautuvat Elenian verkkoon.

5.1 Kriittisyyden määrittäminen

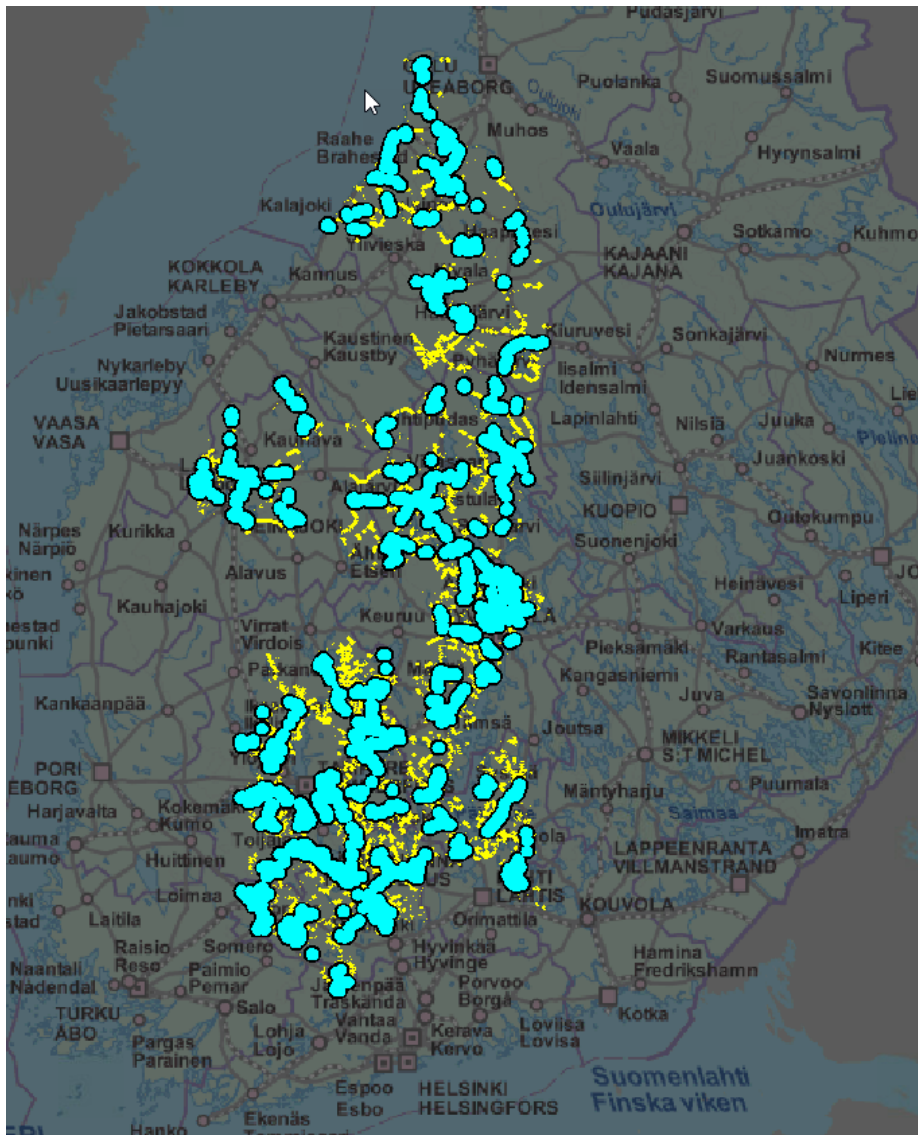
Elenian sähköverkossa oli vuoden 2024 alussa noin 17 000 km keskijännitemaakaapelia. Kaikkia maakaapeleita ei tietenkään voida taloudellisista syistä mitata vaan mitattavat kohteet tarvitsee määritellä erilaisten tekijöiden perusteella. Määrittämisessä tehtiin niin, että mitattavia kohteita tulisi noin 2000–3000 kpl yhteensä. Tällaisen määrän mittaaminen mahtuisi kunnossapitobudjettiin. Käytettävissä olevan budjetin osuus kaapeleille tulee tietenkin tulevaisuudessa hieman kasvamaan, koska ilmaverkkoa kaapeloidaan, jolloin ilmaverkon kunnossapitotarve pienenee. Mitattavien kohteiden määrittämiseen käytettiin apuna Elenian jakeluverkon erityisasiantuntijoita ja heidän näkemyksiään siitä, mitkä kaapelit ovat niin sanotusti kriittisimmät. Kohteiden kartoittamisessa mietittiin muun muassa lähdetäänkö mitattavia kaapeleita valikoimaan iän, tehon vai keskeytyskriittisten asiakkaiden perusteella. Keskustelussa nousi myös esille se, että kun vuoden 2012 jälkeen Elenian Säävarma projekteilla alettiin maakaapeloimaan todella paljon verkkoa lyhyen ajan sisään, niin oliko asennuksien laatu tarpeeksi hyvää vai vikaantuvatko nämä kaapelit helpommin.

Mitattavien kohteiden määrittämisessä päädyttiin siihen, että paras vaihtoehto on yhdistelmä monia tekijöitä. Mitattaviksi kohteiksi valikoitui ne runkoyhteyskaapelit taajama- ja haja-asutusalueella, jotka ovat asennettu 2000-luvulla ja ne syöttävät keskeytyskriittistä muuntamoaa. Keskeytyskriittisellä muuntamolla tarkoitetaan sellaista muuntamoaa, joka syöttää esimerkiksi sairaalaa tai tietoliikennekeskusta. Runkoyhteydet ovat tärkeitä sähköverkon toimitusvarmuuden kannalta ja siksi niiden kuntoa on hyvä valvoa. Runkoyhteydet ovat monesti myös pitkiä ja vika- paikan paikannus sekä korjaus vian sattua vie paljon aikaa. Ikä määräytyi sen

mukaan, että ennen 2000-lukua asennetut kaapelit ehditään mittamaan maksimissaan yhden kerran ennen kuin, ne ovat käyttöikänsä lopussa ja saneeraus on ajankohtaista. Kaapeleille, joita ei ole aiemmin mitattu ei myöskään ole vertailudataa, johon verrata kaapelin mittaustuloksia ja siksi olisi hyvä, että mitattavilla kaapeleilla olisi käyttöikää jäljellä ainakin kahden mittaustierron ajan. Suodatuksessa otettiin myös huomioon kaapelin pituus. Lyhyitä kaapeleiden mittaustuloksia on hankala tulkita ja siksi kaikki alle 100 metrin keskijännitekaapelit jätettiin tarkasteluista pois. Säävarma projekteilla tapahtuneet niin sanotut ”heikot asennukset” jätettiin myös huomioimatta. Tämä tehtiin siksi, että huonosti asennetut kaapelit ovat jo aiheuttaneet vikoja, jos vika johtuu huonosta asennuslaadusta. Näiden määritelmien avulla pystyttiin valikoimaan mitattavat kohteet. (Hämäläinen, S & Toijala, H. 2024)

5.2 Mitattavat kohteet

Mitattavien kohteiden suodatus tehtiin Trimble NIS verkkotietojärjestelmän avulla ja analysointi tehtiin Microsoft Exceliä käyttäen. Mitattavia kaapeleita oli suodatusten jälkeen 2481 kpl ja noin 2200 km. Johto-osat jakautuivat suhteellisen tasaisesti koko Elenian verkkoalueelle. Kuvassa 12 näkyy se, kuinka kohteet on jakautunut Elenian verkkoalueella.



KUVA 11. Mitattavat kohteet. (Trimble NIS)

Kuvassa 12 näkyy sinisellä värillä korostettuna ne keskijännitemaakaapelin johto-osat, jotka suodatuksien jälkeen valikoituivat mitattaviksi kohteiksi. Sinisten keskijännitemaakaapeli johto-osien alla keltaisella värillä näkyvät Elenian sähköverkon muut keskijännitekaapelin johto-osat. Kuvan 12 datan sai siirrettyä Exceliin, jossa dataa pystyi analysoimaan tarkemmin. Analysoinnissa tarkisteltiin jakaumaa asennusvuosien ja urakointialueiden mukaan, joka helpottaa kunnossapitostrategian luomisessa. Taulukossa 1 on esitetty keskijännitekaapeleiden johto-osien määrät ja pituudet asennusvuosittain.

TAULUKKO 1. Mitattavat keskijännitekaapelit asennusvuosittain.

| Asennusvuosi | Johto-osien määrä (kpl) | Johto-osat (km) |
|--------------|-------------------------|-----------------|
| 2000–2013 | 38 | 19,28 |
| 2014 | 145 | 147,83 |
| 2015 | 187 | 143,79 |
| 2016 | 175 | 151,54 |
| 2017 | 274 | 249,17 |
| 2018 | 340 | 273,53 |
| 2019 | 474 | 415,29 |
| 2020 | 304 | 300,77 |
| 2021 | 325 | 322,75 |
| 2022 | 122 | 107,74 |
| 2023 | 71 | 59,19 |
| 2024 | 26 | 17,77 |

Taulukosta 1 näkyy, että Säävarma projektien alkamisen jälkeen vuonna 2013 on keskijännitekaapeleiden määrä lisääntynyt merkittävästi. Suurin lisäys runko-yhteyksien maakaapeloinnissa on ollut vuosina 2018–2020. Vuoden 2024 asennettujen keskijännitemaakaapeleiden osuus tulee vielä hieman nousemaan loppuvuoden aikana. Kaapeleiden pituus on keskimäärin noin 900 metriä. Huomattavaa on myös, että vuoden 2021 jälkeen asennettujen keskijännitemaakaapeleiden määrä on laskenut huomattavasti edellisvuosiin verrattuna. Taustalla tässä ovat Energiaviraston uudet valvontamenetelmät, jotka ovat pakottaneet sähköverkkoyhtiöitä pienentämään investointejaan.

Tulevaisuuden näkymät ovat se, että mitattavien kaapeleiden määrä tulee edelleen lisääntymään kaapelointiasteen kasvaessa. Runkoyhteydet ovat tärkeitä ja siksi runkoyhteyksiä on jo paljon kaapeloitu, mutta kaapeloitavia kohteita on vielä runsaasti jäljellä. Kohteita tulee seuraavan 10 vuoden aikana noin 500 kappaletta lisää, kasvattaen mitattavien kohteiden kokonaismäärän 3000 kappaleeseen.

Taulukossa 2 on esitetty, kuinka keskijännitemaakaapeli-johto-osat ovat jakautuneet Elenian sähköverkon urakointialueille.

TAULUKKO 2. Mitattavat keskijännitekaapelit urakointialueittain.

| Urakointialue | Johto-osien määrä (kpl) | Johto-osat (km) |
|-----------------|-------------------------|-----------------|
| A60_Seinäjoki | 81 | 56,87 |
| A61_Lapua | 121 | 94,56 |
| A62_Pattijoki | 151 | 166,07 |
| A63_Oulainen | 85 | 80,3 |
| A64_Haapajärvi | 119 | 94,7 |
| A65_Kyyjärvi | 118 | 124,61 |
| A66_Viitasaari | 140 | 142,82 |
| A67_Saarijärvi | 146 | 133,63 |
| A68_Laukaa | 139 | 109,91 |
| A69_Jyväskylä | 91 | 69,16 |
| A70_Jämsä | 104 | 93,7 |
| A71_Orivesi | 165 | 188,92 |
| A72_Nokia | 159 | 158,87 |
| A73_Lempäälä | 139 | 106,61 |
| A74_Kangasala | 170 | 123,09 |
| A75_Tammela | 182 | 152,95 |
| A76_Janakkala | 90 | 78,98 |
| A77_Hämeenlinna | 87 | 62,86 |
| A78_Padasjoki | 112 | 94,66 |
| A79_Heinola | 82 | 75,38 |

Taulukosta 2 nähdään se, että mitattavat keskijännitemaakaapelit ovat jakautuneet suhteellisen tasaisesti koko Elenian verkkoalueelle. Eniten mitattavia keskijännitemaakaapeli johto-osia on Oriveden, Nokian, Kangasalan ja Tammelan urakointialueilla. Nämä alueet ovat korostettu taulukossa sinisellä taustavärillä. Tieto johto-osien jakautumisesta urakointialueittain tarvitaan, jotta voidaan määrittellä se, että käytetäänkö kaapeleiden mittaamiseen aluekumppania vai kilpailutetaan mittauksien suorittamiseen jokin toinen urakoitsija. Jos kaapelit olisivat jakautuneet niin, että suurin osa kaapeleista olisi vain muutaman alueen sisällä voisi tämä rasittaa aluekumppania liikaa, eikä heillä riittäisi resurssit suorittamaan mittauksia, jolloin toinen urakoitsija voisi olla parempi vaihtoehto. Nyt kun jakauma on suhteellisen tasaista kaikkien alueiden kesken, on parempi vaihtoehto hyödyntää aluekumppaneita mittauksien suorittamiseen.

Tulevaisuuden näkymät mitattavien keskijännitemaakaapeleiden lisääntymisestä urakointialueittain on se, että haja-asutusalueilla, jossa vielä moni runkoyhteys on ilmajohtolinjaa, tullaan saneeraamaan maakaapeliksi. Kaupungistuminen ja taajama-alueiden kasvu lisää puolestaan runkoyhteyksiä uusille asuinalueille,

joten kasvua on odotettavissa kaikilla urakointialueilla. Etenkin Pirkanmaan urakointialueet, joilla on nyt jo maakunnista eniten mitattavia kohteita, tulevat saamaan lisää kohteita kasvavien asukasmäärien myötä.

6 KUNNOSSAPITOSTRATEGIA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda sähköverkkoyhtiö Elenian keskijännite- maakaapeleille kunnossapitostrategia. Kunnossapitostrategiassa tulee ilmi, kuinka paljon keskijännitemaakaapeleiden kunnonvalvonta tulee maksamaan vuositasolla. Kunnossapitostrategiasta tulee myös ilmetä mittauskierron pituus ja tulevaisuuden näkymät.

6.1 Taustatiedot kunnossapitostrategialle

Kunnossapitostrategia luodaan opinnäytetyössä kerätyn tiedon pohjalta niin, että mittauksiin olisi käytössä 100 000 € / vuosi. Tarkkaa summaa ei vielä ole tiedossa, mutta suuruusluokka tulee olemaan tätä luokkaa. Oletettavasti mittauksiin käytettävissä oleva summa tulee kasvamaan ilmajohtoverkon kunnossapitotarpeiden pienentyessä, jolloin niiltä toiminnoilta saadaan lisää rahaa maakaapeliverkon kunnossapidolle.

Kaapelin eristeen kunnon ja ikääntymisen saa parhaiten selville häviökerroinmittauksella ja osittaispurkausmittauksella. Suorittamalla molemmat mittaukset saadaan tarkin mittaustulos. Mittaus maksaa noin 2000 € per päivä ja päivässä mittauksia pystytään keskimäärin suorittamaan 4 kappaletta. Tämä tarkoittaa, että yhden kaapelin mittaukselle jää hintaa noin 500 €. Hinta ei ole Elenian määrittelemä eikä kilpailutettu, vaan palveluntarjoajilta saatu keskimääräinen hinta, jonka avulla saadaan suuntaa antava kokonaissumma mittauksille. Koska valikoituneet kohteet ovat suuritehoisia ja suurimmaksi osaksi pitkiä runkoyhteyksien keskijännitekaapeleita, olisi samalla hyvä suorittaa maadoituseheysmittaus, jotta saadaan selville, että onko näillä pitkillä lähdoille niin sanottuja heikkoja kohtia maadoituksen kannalta. Maadoituseheysmittaus maksaa noin 100 €/kaapeli.

Kunnossapitostrategia luodaan olemassa olevasta maakaapeliverkosta valikoituille mitattaville keskijännitemaakaapeleille. Valikoituneet keskijännitemaakaapelit ovat verkon kriittisimmät kaapelit ja niiden vikaantuminen aiheuttaisi suurimmat vahingot Elenian sähköverkkoon. Mitattavia kaapeleita on 2481 kappaletta ja tämän luvun odotetaan kasvavan seuraavan 10 vuoden aikana 3000

kappaleeseen. Uusille keskijännitemaakaapeleille olisi hyvä suorittaa mittaus jo käyttöönoton yhteydessä, kun kaapeli ei ole vielä kiinni sähköverkossa niin saataisiin kaapelin alkuperäisestä kunnosta dataa.

Mittauskierto tulee olemaan 10 vuotta, jolloin kaapeleiden kuntoa pystytään seuraamaan tarpeeksi tarkasti ja mahdolliset vikaantumiset voidaan havaita ennen kuin ne aiheuttavat vian sähköverkkoon. Mahdollisten vikaantumisten seurauksena pitää tehdä korjaavia kunnossapitotöitä, jotka menevät eri budjetista joko investointeina tai kunnossapitotöinä. Mittaustulokset auttavat myös investointien suunnittelussa, kun nähdään millä alueilla on todennäköisiä vikaantumiskohteita.

6.2 Keskijännitemaakaapeleiden kunnossapitostrategia

Keskijännitemaakaapeleiden kunnossapitostrategia luodaan opinnäytetyössä tehdyn tutkimuksen pohjalta ja luvun 6.1 taustatiedot huomioiden. Taulukossa 3 on esitetty kunnossapitostrategia Elenian keskijännitemaakaapeleille.

TAULUKKO 3. Keskijännitemaakaapeleiden kunnossapitostrategia.

| Vuosi | Mitattavien kohteet (kpl) | Hinta (€) |
|-------|---------------------------|-----------|
| 1 | 166 | 99600 |
| 2 | 166 | 99600 |
| 3 | 166 | 99600 |
| 4 | 166 | 99600 |
| 5 | 167 | 100200 |
| 6 | 330 | 198000 |
| 7 | 330 | 198000 |
| 8 | 330 | 198000 |
| 9 | 330 | 198000 |
| 10 | 330 | 198000 |

Taulukosta 3 näkyy 10 vuoden mittauskierrolla mitattavien kohteiden määrä ja hinta. Ensimmäisen viiden vuoden aikana mitattavien kohteiden määrä määräytyi sen mukaan, että käytössä oleva budjetti 100 000 € / vuosi ei ylity keskiarvollisesti. Seuraavan viiden vuoden aikana mitattavien kohteiden määrä määräytyi sen mukaan, että maakaapeleiden kunnossapitobudjetin suuruus olisi kasvanut 200 000 € / vuosi. Näin kaikki 2481 mitattavaa kohdetta saadaan mitattua 10 vuoden mittauskierron aikana.

Tämän jälkeen mitattavien kohteiden määrä on kasvanut noin 500 kohteella tuoden kokonaismäärän noin 3000 kappaleeseen. Tällöin 10 vuoden mittauskierrolla mitattavia kohteita olisi 300 kpl / vuosi ja kustannus olisi 180 000 € / vuosi. Luultavasti indeksikorotuksien myötä mittauksien hinta tulee hieman nousemaan tulevaisuudessa, mutta kustannukset tulevat todennäköisesti pysymään alle 200 000 € / vuosi.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön pohjalta luodaan sähköverkkoyhtiö Elenialle kunnossapitostrategia keskijännitemaakaapeleille. Elenian keskijännitemaakaapeleita on kunnossapidetty tarveperusteisesti vian sattuessa. Maakaapeliverkon ollessa vielä suurimaksi osaksi kovin nuorta, ei Elenialla ole ollut tarvetta erilliselle kunnossapitostrategialle. Maakaapelointien määrän kasvaessa ja sähköverkon ikääntyessä alkaa olemaan ajankohtaista luoda kunnossapitostrategia keskijännitemaakaapeleille, jolla pystytään seuraamaan maakaapeleiden ikääntymistä ja välttämään turhilta vioilta. Myös muille maakaapeliverkon komponenteille on käytössä olevat kunnossapitostrategiat, joiden mukaan verkkoa tarkastetaan ja kunnossapidetään.

Opinnäytetyössä tutkittiin, millaisia mittaustapoja maakaapeleille on ja mitä tuloksia niistä saa. Tutkimusten pohjalta päädyttiin siihen, että parhaat tulokset kaapelin ikääntymisestä, kaapelieristeen kunnosta ja mahdollisista alkavista vioista saadaan tekemällä häviökerroin- ja osittaispurkausmittaus OFF-line-mittauksena. OFF-line-mittaus vaatii sähköverkon käyttökätkön ja kaapeli tulee erottaa muusta verkosta kaapelin molemmista päistä. Tämän jälkeen mittalaitteella mitataan kaapelin kunto ja analysoidaan tulokset liikennevalomenetelmällä. Kaapelit luokitellaan vihreään, oranssiin tai punaiseen luokkaan ja tarvittavat korjaavat toimenpiteet tehdään luokan mukaan. Samalla kun keskijännitemaakaapeleiden kuntoa mitataan, olisi hyvä suorittaa maadoituseheysmittaus, jotta saadaan selville suuritehoisten runkoyhteyksien heikot kohdat maadoitusten kannalta.

Elenian sähköverkossa on yli 17 000 km keskijännitemaakaapelia ja budjetillisistä syistä kaikkien kaapeleiden kuntoa ei voida valvoa. Mitattavien kohteiden määrä määräytyi sen mukaan, että käytössä oleva kunnossapitobudjetti maakaapeleille ei ylittyisi. Ottaen kunnossapitobudjetti huomioon saatiin verkosta suodatettua kriittisimmät keskijännitemaakaapelit, jotka valikoituivat mitattaviksi kohteiksi. Kohteiden määrittämisessä suodatettiin ne keskijännitemaakaapelit, jotka ovat asennettu 2000-luvulla, ovat yli 100 metriä pitkiä, syöttävät keskeytyskriittistä muuntamoita ja ovat runkoyhteyksiä haja-asutusalueella ja taajama-alueella.

Opinnäytetyössä kerätyn tiedon pohjalta Elenialle luodaan kunnossapitostrategia keskijännitemaakaapeleille, joka seuraa 10 vuoden mittauskiertoa ja maksaa vuositasolla 100 000–200 000 €. Kunnossapitostrategiassa huomioidaan myös tulevaisuudennäkymät, jotka ovat ne, että maakaapelointiaste tulee kasvamaan ja mitattavien kohteiden määrä tulee kasvamaan. Samaan aikaan ilmajohtoverkon määrä pienentyy ja näin ollen nämä kaksi kompensoivat toisiaan ja ilmajohtoverkon kunnossapitoon käytettäviä rahoja voidaan käyttää maakaapeliverkon kunnossapitoon.

LÄHTEET

Chauvin-Arnoux. 1. 2014. Eristysvastuksen mittausopas. PDF-tiedosto. [Eristysvastuksen-mittausopas-2022.pdf \(chauvin-arnoux.fi\)](#)

Chauvin-Arnoux. 2. 2014. Maadoitusvastuksen mittausopas. PDF-tiedosto. [FI - Maadoitusvastuksen-mittausopas 2020.pdf \(chauvin-arnoux.fi\)](#)

Elenia. 2024. Sisäinen materiaali.

Eurolaite. 2021. Kaapelin ikääntyminen voidaan määrittää häviökerroinmittauksella. Verkkosivu. Viitattu 20.6.2024. [Kaapelin ikääntyminen voidaan määrittää häviökerroinmittauksella - Eurolaite](#)

FINLEX. 2013. Sähkömarkkinalaki, 588/2013. Luku 6, momentti 51. Viitattu 5.5.2024. [Sähkömarkkinalaki 588/2013 - Ajantasainen lainsäädäntö - FINLEX®](#)

Fluke. 2024. Osittaispurkauksen tärkeimmät syyt ja tyypit. Verkkosivu. Viitattu 20.6.2024. [Osittaispurkauksen tärkeimmät syyt ja tyypit | Fluke](#)

Heikkilä Sami. 2023. Sähköjärjestelmien käyttö ja kunnossapito opintojakson materiaali. Kunnossapidon organisaatiot – osa 2. PDF-tiedosto. Moodle. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Hämäläinen Samuli. Jakeluverkon erityisasiantuntija. Toijala Henri. Jakeluverkon erityisasiantuntija. 2024. Haastattelu 18.6.2024. Elenian toimisto.

Insplan. 2024. Sisäinen materiaali.

Koskinen Juha. 2023. UTU Vahti, Etäkunnonvalvontaa reaaliajassa. PDF-tiedosto.

Lakervi Erkki, Partanen Jarmo. Sähkönjakelutekniikka. 2. uudistettu painos. Gaudeamus Helsinki University Press / Otatieto. Helsinki. 2009.

Murumäki Tuomas. Kunnossapitopäällikkö. 2024. Haastattelu 6.6.2024. Microsoft Teams.


Sonepar. 2024. Ulkovaipan eheysmittaus. Verkkosivu. Viitattu 10.6.2024. [Ulkovaipan eheysmittaus | Sonepar Suomi Oy | sähkö | tele | automaatio](#)

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. n.d. Määräaikaistarkastukset. Verkkosivu. Viitattu 28.9.2024. [Määräaikaistarkastukset | Turvallisuus- ja kemikaalivirasto \(Tukes\)](#)

Valtioneuvosto. 2018. Pohjavesialueet – opas määrittämiseen, luokitukseen ja suojelusuunnitelmien laadintaan. PDF-tiedosto.

LIITTEET

Liite 1. Muuntamotarkastuksen tarkistettavat kohdat.

| <input type="checkbox"/> |  | Puistomuuntamotarkastus | | Valmis |
|--------------------------|---|----------------------------------|--------------------|--------|
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ merkinnät lähtönumerot | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ merkinnät lähtöosoitteet | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ merkinnät sulakekoko | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Käytetty sulakekoko (PJ) | Oikea sulakeko... | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Virtakiskot | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Varokeytkimet ja alustat | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ liitosten kunto | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ Etäisyydet | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ Kaapelin kiinnitys | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ Kaapelin vaippa | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ päätteet | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntamo merkinnät tunnus | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntamo hengenvaarakyltti | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntamo kulkutie ja ympäristö | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntamon ulkopinta | Siisti | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Pääkaavio | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Eroittimen ohjain | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Johtoerotin | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Maadoituserotin | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Eroittimien merkinnät tunnus | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | SF6 kojeiston kaasunpaine | Ei kuulu rakent... | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | 20 kV kaapelipäätteet | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Ylijännitesuojat | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntajan läpiviennit | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntajaöljyn taso | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntajan eristimet | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Puistommo sisäpuolen siisteys | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntamo maadoitukset | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Mmo lukitukset ja ovien toiminta | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Valaistus | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Ilmanvaihto | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntamo yleiskunto | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Eroittimen moottoriohjain | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Mmo perustus ja täyttö | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Sähkötaturmaohjeet | Kunnossa | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Pleksisuojaus | Ei kuulu rakent... | |

Liite 2. Jakokaappitarkastuksen tarkistettavat kohdat.

| <input type="checkbox"/> |  | Jakokaappitarkastus | | Valmis | |
|--------------------------|---|-----------------------------|-------------------|--------|--|
| <input type="checkbox"/> | 6d | JK kulcutie | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | JK suoruus | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | JK perustus ja täyttö | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | JK ulkopinta | Siisti | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Aurausmerkintä | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | JK merkinnät tunnus | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | JK Lukitus ja oven toiminta | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ merkinnät lähtönumerot | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ merkinnät lähtöosoitteet | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ merkinnät sulakekoko | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Käytetty sulakekoko (PJ) | Oikea sulakeko... | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Sisäpuolen siisteys | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Virtakiskot | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Varokeytkimet ja alustat | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ liitosten kunto | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ Etäisyydet | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ Kaapelin kiinnitys | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ Kaapelin vaippa | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | JK Maadoitukset | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ päätteet | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Jakokaapin yleiskunto | | | |

Liite 3. Erityiskohdetarkastuksen tarkistettavat kohdat.

| <input type="checkbox"/> | ↑ | Erityiskohdetarkastus puistommo | | | Valmis |
|--------------------------|----|----------------------------------|--------------------|--|--------|
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ merkinnät lähtönumerot | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ merkinnät lähtöosoitteet | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ merkinnät sulakekoko | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Käytetty sulakekoko (PJ) | Oikea sulakeko... | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Virtakiskot | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Varokehytkimet ja alustat | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ liitosten kunto | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ Etäisyydet | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ Kaapelin kiinnitys | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ Kaapelin vaippa | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | PJ päätteet | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntamo merkinnät tunnus | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntamo hengenvaarakyltti | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntamo kulkutie ja ympäristö | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntamon ulkopinta | Siisti | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Pääkaavio | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Eroittimen ohjain | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Johtoerotin | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Maadoituserotin | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Erottimien merkinnät tunnus | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | SF6 kojeiston kaasunpaine | Ei kuulu rakent... | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | 20 kV kaapelipäätteet | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Ylijännitesuojat | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Mmo suurjännitesulakkeet | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntajan läpiviennit | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntajan puhtaus | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntajaöljyn taso | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntajan eristimet | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Puistommo sisäpuolen siisteys | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntamo maadoitukset | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Mmo lukitukset ja ovien toiminta | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Valaistus | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Ilmanvaihto | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Eroittimen moottorihjain | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Muuntajan käyntiääni | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Mmo perustus ja täyttö | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Sähkötaturmaohjeet | Kunnossa | | |
| <input type="checkbox"/> | 6d | Pleksisuojaus | Ei kuulu rakent... | | |