

TASASÄHKÖLINKIN MAADOITUKSEN MITTAUS

Ruuskanen Samuel

Opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2021

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Samuel Ruuskanen	Vuosi	2021
Ohjaaja	DI Jaakko Etto		
Toimeksiantaja	Enersense PN Oy Toimialajohtaja Juhani Leino		
Työn nimi	Tasasähkölinkin maadoituksen mittaus		
Sivu- ja liitesivumäärä	32		

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kerätä tietoa Fenno-Skan 2 tasasähkölinkin maadoituksen mittaamisesta, toimintaperiaatteesta, vikatilanteista, vianhallinnasta ja järjestelmän kuvauksesta. Tavoitteena oli valmistella ohjeaineisto tasasähkölinkkien maadoituksesta. Opinnäytetyössä ei käsitelty tasasähkölinkin maadoituksen mitoittamista eikä suunnittelua. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Enersense

Tasasähkölinkkien toiminnasta ja vikatilanteista on paljon kokemusperäistä tietoa, joka pyrittiin saamaan talteen haastattelemalla Fingridin ja Enersensen asiantuntijoita ja yhdessä läpi käymällä tasasähkölinkeissä ilmenneitä erilaisia ongelmatilanteita. Ohjeaineistoon kerättiin tietoa alan kirjallisuudesta, ohjeista ja standardeista.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsiteltiin tasasähkölinkin toimintaa ja maadoituksia sekä erilaisia maadoitusmittausmenetelmiä. Opinnäytetyössä perehdyttiin Fenno-Skan 1- ja Fenno-Skan 2 -tasasähkölinkkien komponentteihin. Teoriaosuudessa käsiteltiin myös jonkin verran Fenno-Skan 1- ja Fenno-Skan 2 -tasasähköyhteyksien sähköasemia, pylväitä ja johto-osuuksia.

Tulokseksi saatiin selvitys tasasähkölinkkien maadoituksen mittauksesta. Tasasähkölinkeistä kirjoitettua aineistoa tullaan täydentämään vielä jatkossa eri ongelmatilanteiden ilmetessä tasasähkölinkeissä. Ohjeaineistoa tullaan käyttämään tulevaisuudessa tasasähkölinkkien vikatilanteiden hallinnassa apuna ja ohjeena.

Electrical Engineering
Engineer (BEng)

Author	Samuel Ruuskanen	Year	2021
Supervisor	Jaakko Etto, M.Sc. (Tech.)		
Commissioned by	Enersense PN Oy Vice President Juhani Leino		
Subject of thesis	Measuring DC Link Grounding		
Number of pages	32		

The purpose of this thesis was to collect information on the grounding measurement, operating principle, fault situations, fault management and system description of the Fenno-Skan 2 DC link. The aim was to prepare guidance material on the grounding of direct current links. The thesis did not deal with the dimensioning or design of the earthing of a direct current link. The client of the thesis is Enersense.

There is a lot of empirical information about the operation and fault situations of direct current links, which was sought to be obtained by interviewing experts from Fingrid and Enersense and by going through various problem situations in direct current links. Information on the literature, instructions and standards in the field was collected in the instruction material.

The theoretical part of the thesis dealt with the operation and earthing of a direct current link as well as various earthing measurement methods. The components of Fenno-Skan 1 and Fenno-Skan 2 direct current links were introduced in the thesis. The theoretical part also dealt to some extent with the substations, poles and conductors of the Fenno-Skan 1 and Fenno-Skan 2 direct current connections.

The result was a study of the measurement of the earthing of direct current links. The material written on direct current links will be supplemented in the future when various problem situations occur in direct current links. In the future, the instruction material will be used as an aid and guide in the management of fault situations in direct current links.

Key words direct current, electricity transmission, high voltage lines

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 FINGRID OYJ	6
3 ENERSENSE INTERNATIONAL OYJ	9
3.1 Empower Oyj	9
4 FENNOSKAN 2 TASASÄHKÖLINKKI	10
4.1 Toiminta	11
4.2 Maadoitukset	21
5 MAADOITUKSEN KUNNOSSAPITO	23
5.1 Huolto ja kunnonvalvonta	23
5.2 Viat ja vikojen paikannus	25
5.3 Ohjeistuksen kehittäminen	26
6 POHDINTA	30
LÄHTEET	31

1 JOHDANTO

Tasasähköyhteys meren alitse yhdistää Suomen ja Ruotsin 400 kV vaihtosähköverkot. Ruotsista tuleva tasasähkö vaihtosuunnataan tasasähkölinkillä Suomen kantaverkkoon sopivaksi. Tasasähkölinkki, johon opinnäytetyössä perehdytään, on Fingridin sähköasema ja sieltä on merikaapeliyhteys Ruotsiin. Tasasähköä käyttäviä merikaapeliyhteyksiä Suomesta on Ruotsiin kaksi kappaletta ja Viroon kaksi kappaletta.

Opinnäytetyössä esitellään aluksi tasasähkölinkkien toimintaperiaatetta ja lopuksi keskitytään maadoitukseen. Tasasähkölinkeissä on havaittu oleva ajoittain haastaviakin ongelmia, jotka tietyiltä osin ovat liittyneet maadoitukseen.

Opinnäytetyössä on tarkoitus kerätä tietoa tasasähkölinkeissä havaituista vioista ja ongelmista liittyen maadoitukseen ja tallentaa se toimeksiantajan arkistoon myöhemmää käyttöä varten. Opinnäytetyöstä syntyvä ohjeaineisto on luottamuksellinen.

Opinnäytetyön tavoite on valmistella tasasähkölinkkien maadoituksesta kertova ohje. Ohjeistuksen sisältöä kokonaisuudessaan ei ole tarkoitus saada valmiiksi, ainoastaan maadoitukseen liittyvät yleisimmät ongelmat ja ratkaisut on pyritty dokumentoimaan. Toimeksiantaja opinnäytetyössä on Enersense. Opinnäytetyössä haastatellaan Enersensen ja Fingridin asiantuntijoita, sekä kerätään kirjallista tietoa eri lähteistä.

2 FINGRID OYJ

Fingrid on suomalaisten eläkeyhtiöiden ja Suomen valtion omistama kantaverkkoyhtiö, joka pitää huolen siitä, että suomalaiset saava sähköä häiriöttä aina. Suomen Kantaverkko Oy, nykyinen Fingrid on perustettu 29.10.1996 ja sen operatiivinen toiminta alkoi 1.9.1997. (Fingrid Oyj 2021d.)

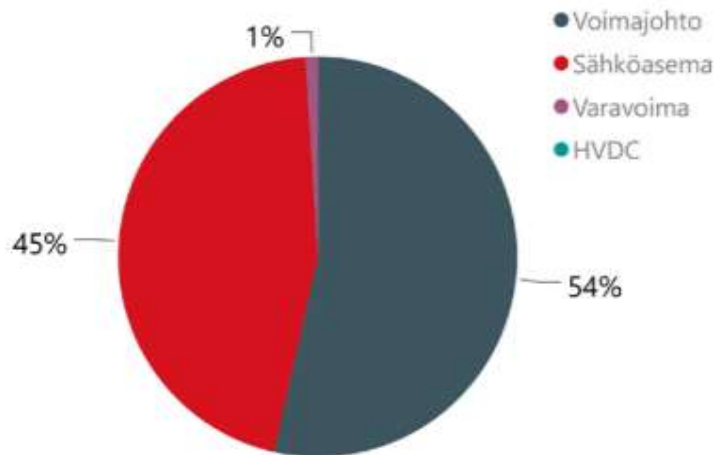
Suomen kantaverkossa on 5100 km 400 kV voimajohtoa, 1300 km 220 kV voimajohtoa, 7300 km 110 kV voimajohtoa, 269 km korkeajännitetasavirtakaapelia sekä 116 sähköasemaa. Ne kaikki ovat Fingridin omistamia, ainoastaan korkeajännitetasavirtakaapelit Suomen ja Ruotsin välissä ovat yhteisomistuksessa Ruotsin kantaverkkoyhtiön kanssa. Kantaverkon valvonta, ylläpito, rakentaminen, kehittäminen, käytön suunnittelu, tasepalvelu ja sähkömarkkinoiden toiminnan edistäminen kuuluvat Fingridin vastuualueisiin. Fingrid osallistuu myös eurooppalaisen kantaverkkoyhtiöiden keskusjärjestön ENTSO-E:n toimintaan. Kuva 1 näkyy Fingridin sähkönsiirtoverkko. (Fingrid Oyj 2021a.)



Kuva 1 Fingrid Oyj:n sähkösiirtoverkko (Fingrid Oyj 2021e.)

Fingrid kehittää kantaverkkoa jatkuvasti ja tekee kantaverkon kehittämissuunnitelmia. Kehittämissuunnitelmaan kuuluu voimalinja-, sähköasema- ja korkeajännitetasasähköhankkeet. Kantaverkon kehittämissuunnitelma tehdään aina kymmeneksi vuodeksi eteenpäin ja se päivitetään kahden vuoden välein. Kantaverkoon tehtävä investointi tälle vuosikymmenelle on 2 miljardia euroa. Kuvio 1 on

esitetty kantaverkon investointikustannusten jakautuminen kantaverkon kehittämissuunnitelman 2019–2030 mukaisesti. (Fingrid Oyj 2019.)



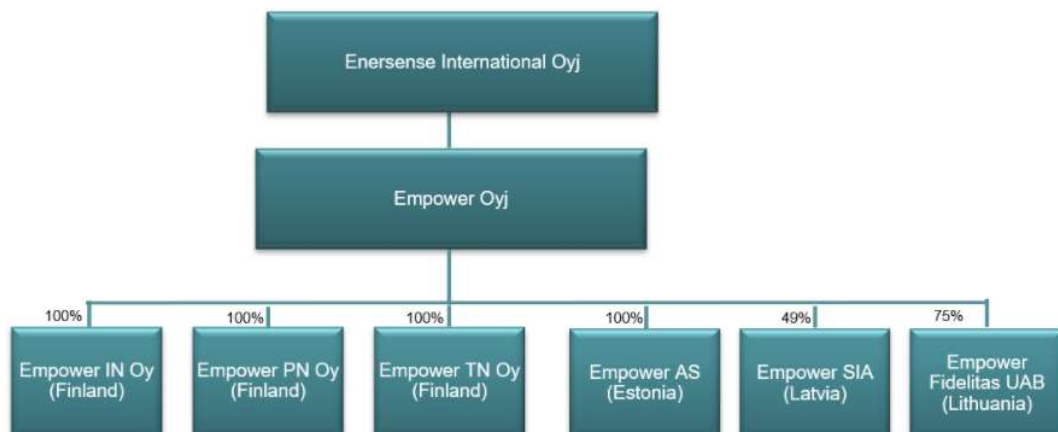
Kuvio 1 Kantaverkon investointikustannusten jakautuminen (Fingrid Oyj 2019)

3 ENERSENSE INTERNATIONAL OYJ

Enersense on vuonna 2005 perustettu päästöttömien energiaratkaisujen tuottaja. Enersensen liikevaihto vuonna 2020 oli 144M€. Enersensen päätoimialoja ovat rakentaminen, teollisuus, tietoliikenne sekä energia. Enersense toimii yli 40 maassa ja sillä on työntekijöitä noin 2200 henkilöä. Pääkonttori Enersensellä sijaitsee Porissa ja yhtiö on listattu Nasdaq Helsinki markkinapaikalla alkaen kesäkuusta 2021. (Enersense Oyj 2021b.)

3.1 Empower Oyj

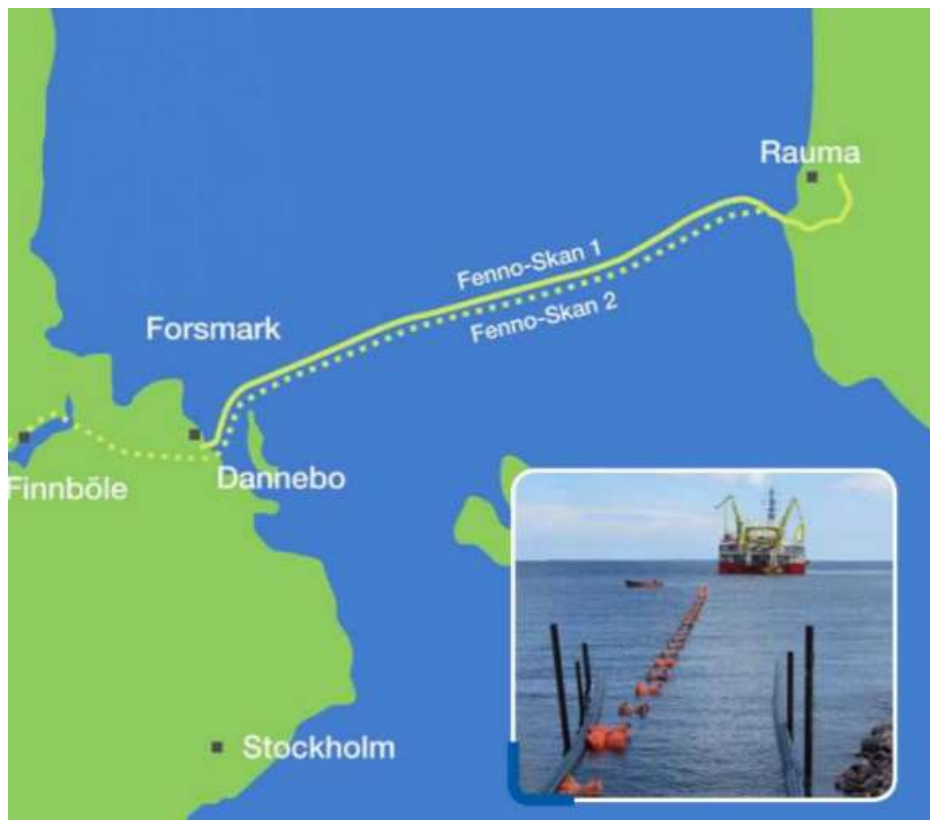
Empower Oyj on vuonna 1998 perustettu julkinen osakeyhtiö, jonka liiketoimintaan kuuluu teollisuuden, energian ja tietoliikenteen palvelut. Empower Oyj:n tytäryhtiöitä Suomessa ovat Empower IN Oy, Empower TN Oy sekä Empower PN Oy ja ulkomaisia tytäryhtiöitä Empower AS, Empower-Fidelitas UAB ja Empower SIA. Enersense International Oyj osti Empower Oyj:n 2020 heinäkuussa. Kuvio 2 on esitetty Enersensen juridinen rakenne. (Enersense Oyj 2021a.)



Kuvio 2 Konsernin juridinen rakenne (Enersense Oyj 2021a.)

4 FENNO-SKAN 2 -TASASÄHKÖLINKKI

Fenno-Skan 2 on Suomen ja Ruotsin välinen tasasähköyhteys, joka otettiin käyttöön vuonna 2011. Suomen puolen Fenno-Skan 2 -tasasähkölinkki sijaitsee Raumalla ja Ruotsin puolen tasasähkölinkki Finnbölessä. Fenno-Skan 2 on tärkeimpiä siirtoyhteyksiä pohjoismaisten sähkömarkkinoiden kannalta. Toimivat sähkömarkkinat vaativat asianmukaiset siirtoyhteydet. Kuvio 3 näkyy Fenno-Skan 1 ja 2 merikaapelireitti (Fingrid Oyj 2021b.)



Kuvio 3 Fenno-Skan 1 ja 2 merikaapelireitti (Fingrid Oyj 2021b.)

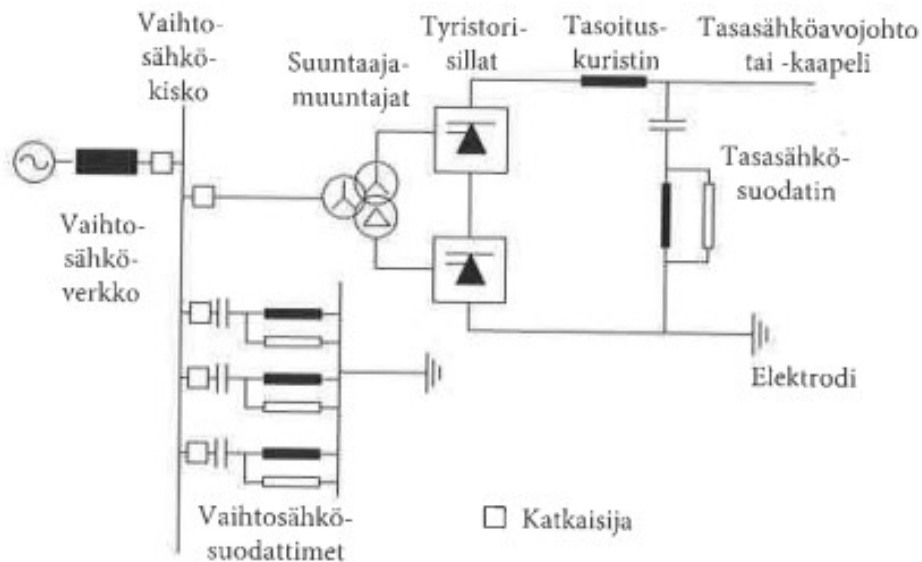
kumpaankin suuntaan muuttamalla tasajännitteen napaisuutta. Verkkokommutointi tarkoittaa sitä, kun tyristorisilloissa kytkimen kääntö eli virran siirtyminen tyristorilta toiselle tapahtuu kolmivaiheisen syöttöjännitteen avulla. Kuva 2 näkyy Rauman sähköasema ja komponenttien sijoittelu asemalla. (Elovaara & Haarla 2011a, 307)



Kuva 2 Rauman sähköaseman ilmakeku ja komponentit (Elovaara & Haarla 2011a, 307)

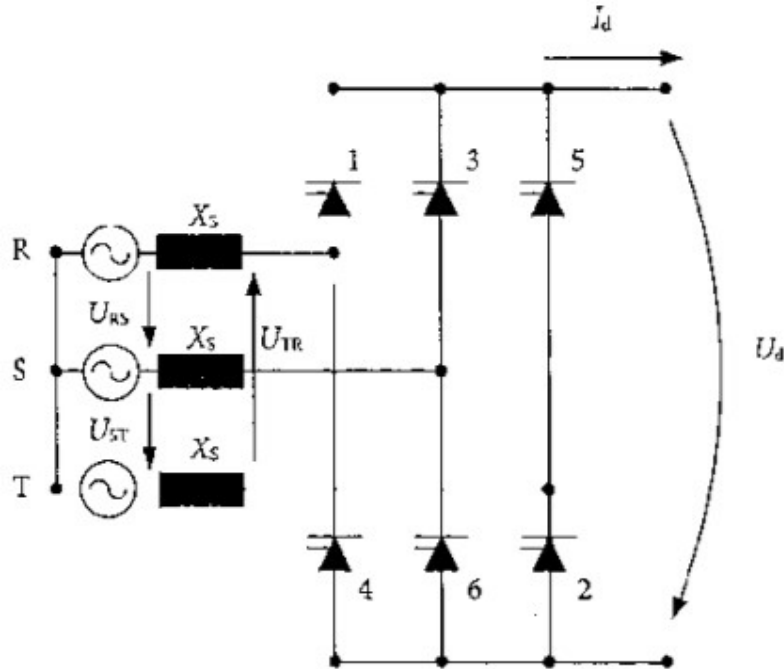
Tasasähkölinkki on yhdistetty vaihtosähköverkkoon vaihtosähkökiskon kautta. Vaihtosähkökiskoon on liitettyä yliaaltosuodattimia ja rinnakkaiskondensaattoreita, jotka ovat vaihtosähkösuodattimia. Yliaaltosuodattimet suodattavat tyristorisillan vaihtosähköverkon puolelle tuottamia yliaaltovirtoja. Rinnakkaiskondensaattoreilla kompensoidaan tyristorisillan kuluttama loisteho. Loistehon kulutus kompensoidaan, koska muuten vaihtosähköpuolelle johdettava jännite laskisi liikaa. Kuvio 5 näkyy verkkokommutoivan tasasähköyhteyden komponentit. (Elovaara & Haarla 2011a, 308–309)

Tyristorisillalle sähkö johdetaan vaihtosähkökiskoon liitetyn suuntaajamuuntajan kautta. Suuntaajamuuntajalla voidaan pitää tyristorisilloille ohjattava jännite tietyllä tasolla vaihtosähköverkon jännitemuutoksista huolimatta, jatkuvassa käytössä ja hitaissa jännitteen muutoksissa käytetään suuntaajamuuntajassa olevaa käämikytkintä ja nopeissa jännitteen muutoksissa tyristorisillan ohjauskulmaa. (Elovaara & Haarla 2011a, 309)



Kuvio 5 Verkkokommutoiva tasasähköyhteys (Elovaara & Haarla 2011a, 308)

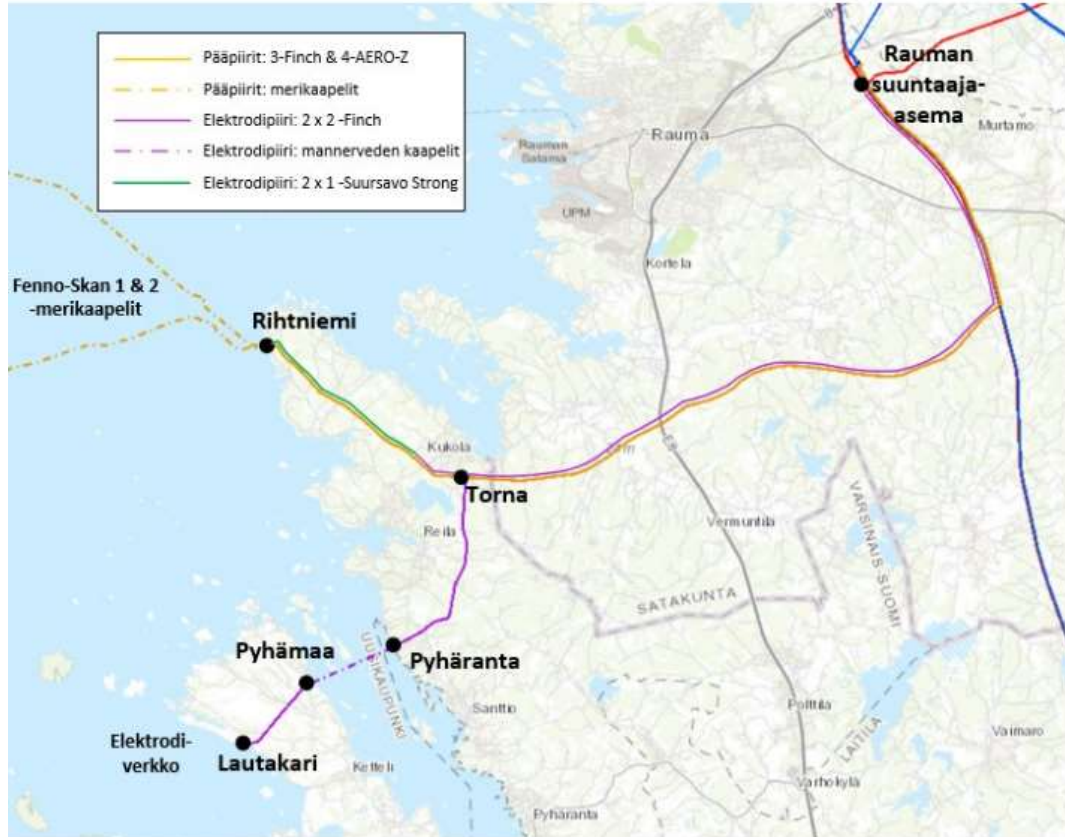
Tyristorisilta on 12-pulssisilta, joka muodostuu kahdesta sarjaa kytketystä 6-pulssisillasta. 12-pulssisilta on koettu optimaaliseksi tyristorisilltaratkaisuksi. Tasajännite 6-pulssisillan tuottamana olisi huonolaatuisempaa ja se vaatisi kalliita toimenpiteitä kasvavien ongelmien ja suodatuskulujen takia. 12-pulssisiltaa korkeampi pulssimäärä vaatisi suuntaajamuuntajien lisäystä sekä poikkeuksellisia järjestelyjä, jotta saavutettaisiin oikeanlaiset vaihe-erot. Kuvio 6 esittää tasasähkölinkissä käytettävää 6-pulssisiltaa tyristoreilla toteutettuna. (Elovaara & Haarla 2011a, 309)



Kuvio 6 6-pulssinen tyristorisilta (Elovaara & Haarla 2011a, 312)

Tyristorisilta aiheuttaa tasajännitepuolelle pulssimaisia yliaaltojännitteitä. Yliaaltojännitteiden suodattamista varten tyristorisillan jälkeen tasajännitepuolelle on tasajännitejohdon kanssa sarjaan kytketty tasoituskuristin. (Elovaara & Haarla 2011a, 309)

Tasasähköyhteyksien, jotka eivät ole koko matkaltaan kaapelissa, on mahdollista aiheuttaa viestiyhteyksiin häiriötä, siksi tasasähköjohdolle on asennettu myös tasasähkösuodatin. Tasasähkösuodatin suodattaa yliaaltoja tasavirrasta. Kuvio 7 näkyy Fenno-Skan 1 ja 2 ilmajohdinreitti Rauman sähköasemalta Rihtniemen päätepylväälle ja elektrodipiirin reitti Tornasta Lautakariin. (Elovaara & Haarla 2011a, 310)



Kuvio 7 Tasasähköilmajohtimien reitti ja paikat (Nuotio 2018, 12)

Tasasähkö johdetaan Rauman sähköasemalta avojohtimia pitkin Rihtniemeen, josta tasasähkö siirretään avojohtimilta merikaapeliin. Fenno-Skan 1 ja 2 kulkevat samoissa pylväissä erillisinä virtapiireinä. Avojohto-osuuden pituus on 33,1 km, Fenno-Skan 1 merikaapelin pituus 200 km ja Fenno-Skan 2 merikaapelin pituus 196 km. Fenno-Skan 2 yhteydellä on ilmajohtolinjaa myös Ruotsin puolella 70 km. Fenno-Skan 1 yhteydellä ei ole Ruotsin puolella avojohtoa. Fenno-Skan 1 pääpiirin johdin on tyypiltään 3-Finch ja Fenno-Skan 2 pääpiirijohdin on tyypiltään 4-AERO-Z. Kuva 3 on ilmakeku Rihtniemen päätepylvästä. (Nuotio 2018, 11–13)



Kuva 3 Avojohtimien päätepylväs Rihtniemessä (Jalonen 2021)

Ukkosjohtimina Fenno-Skan 1 ja 2 tasasähköyhteyksissä on pääpiirin yläpuolella kulkeva elektrodipiiri. Kuva 4 on elektrodipiirin päätepylväs Lautakarissa. Elektrodipiirissä käytetään johtimena 2 x 2-Finch Raumalta Lautakariin ja Tornasta Rihtniemeen käytetään 2 x 1-Suursavo Strong johdinta. Elektrodipiiri johdetaan Lautakarin elektrodiaseman kautta meren pohjassa olevaan elektrodiverkkoon. (Nuotio 2018, 11–13)



Kuva 4 Lautakarin päätepylväs (Jalonen 2021)

Pyhämaan ja Pyhärannan välillä on kolme merikaapelia, jotka kaikki ovat tyypiltään XMK-HH 630. Aikaisemmin Pyhämaan ja Pyhärannan välillä oli vain kaksi kaapelia mutta Fenno-Skan 2 rakentamisen aikana yhteyttä vahvistettiin yhdellä kaapelilla. (Nuotio 2018, 13)

Kuva 5 näkyy Rauman ja Rihtniemen välisen elektrodipiirin haarautuminen Lautakariin päin. Tornasta Lautakariin elektrodipiiri on harustetuissa puupylväissä. Kuvasta nähdään myös, että Fenno-Skan 1 pääpiirin johtimet ovat Raumalle päin katsottaessa pylvään vasemmalla puolella ja Fenno-Skan 2 pääpiiri johtimet ovat oikealla puolella. (Nuotio 2018, 13)



Kuva 5 Elektrodipiirin haarautuminen Tornassa (Nuotio 2018, 13)

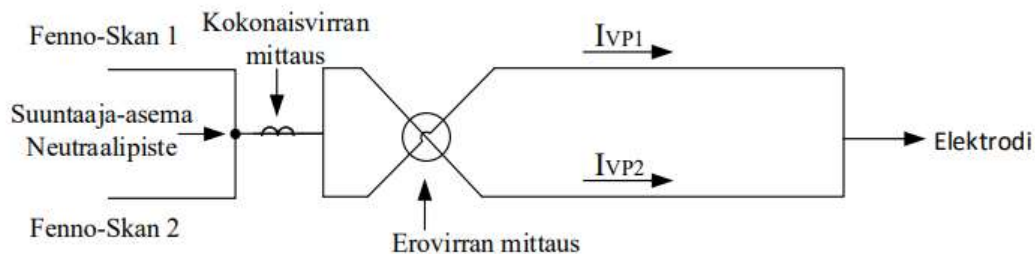
Kuva 6 näkyy elektrodipiirin päätepylväs Pyhämaalla, josta elektrodipiiri jatkuu kolmena kaapelina Mannerveden ali Pyhärantaan. Kuvaan on myös merkitty Lautakarin suunta, elektrodipiirin ylijännitesuojat, Pyhärantaan menevät kaapelit ja elektrodipiirin johtimet. (Nuotio 2018, 13)



Kuva 6 Elektrodipiirin päätepylväs Pyhämaalla (Nuotio 2018, 14)

Elektrodipiiri ei ole yhteydessä maahan mistään muualta kuin Lautakarista merielektrodin kautta. (Nuotio 2018, 14)

Suomen puolen elektrodipiiriä valvotaan elektrodipiiristä mitatulla kokonaisvirralla ja elektrodipiirin erovirralla. Mittaukset on toteutettu sähköasemalla olevilla virtamuuntajilla ja erovirtamuuntajalla. Kuvio 8 näkyy sähköasemalla olevien virranmittausten periaatekaavio. (Nuotio 2018, 20)



Kuvio 8 Virranmittauksen periaatekaavio (Nuotio 2018, 20)

Kuva 7 näkyy erovirtamuuntaja Rauman sähköasemalla. Nykyinen elektrodipiirin valvontamenetelmä on yksinkertainen mutta sen heikkous on siinä, että se ei pysty havaitsemaan jokaista vikatilannetta elektrodipiirissä. Elektrodipiirin tämänhetkisessä valvontajärjestelmässä järjestelmä antaa hälytyksen, jos erovirta eroaa 5 ampeeria normaalitilanteen erovirrasta. (Nuotio 2018, 22)



Kuva 7 Elektrodipiirin erovirtamuuntaja sähköasemalla (Nuotio 2018, 21)

4.2 Maadoitukset

Maadoituksessa on tarkoitus liittää jokin kohta virtapiiristä tai joku laite mahdollisimman varmasti metallisen osan eli maadoituselektrodin välityksellä maahan. Elektrodin potentiaali ja maahan elektrodin kautta kulkevan virran osamäärä on elektrodin maadoitusresistanssi, joka kuvaa elektrodin tehokkuutta. (Elovaara & Laiho 2007, 413)

Yleinen sähköasemilla käytetty maadoitustapa on verkkomainen maadoituselektrodi eli niin kutsuttu maadoitusruudukko. Sähköaseman laitteiden maadoitukset ja asemalta lähtevät ukkosjohtimet yhdistetään maadoitusruudukkoon. Asemien, jotka ovat rakennettu huonosti johtaville maille, maadoituksessa voidaan käyttää lisäksi asemalta lähteviä vaakamaadoituselektrodeja. (Elovaara & Haarla 2011b, 446.)

Fenno-Skan 2 maadoitukset perustuvat standardin SFS 6001 Suurjännitesähköasennukset asettamille vaatimuksille. Rauman sähköaseman lähimpänä olevien voimajohtopylväiden maadoitukset ovat yhdistetty sähköaseman maadoitukseen 25 mm² kupariköydellä. Myös Rauman sähköaseman ukkossuojausmaston maadoitukset on yhdistetty sähköaseman maadoitusruudukkoon 25 mm² kupariköydellä. (Nästi 2021)

Rihtniemen päässä olevan aseman maadoitukset on yhdistetty 95 mm² kupariköydellä päätepylvään maadoitukseen sekä asemalla olevan ukkosmaston maadoitukset on liitetty 16 mm² kupariköydellä aseman maadoitusruudukkoon. Rihtniemen asemalta seuraavien pylväiden maadoitukset on yhdistetty päätepylvään maadoitukseen 16 mm² kupariköydellä. (Nästi 2021)

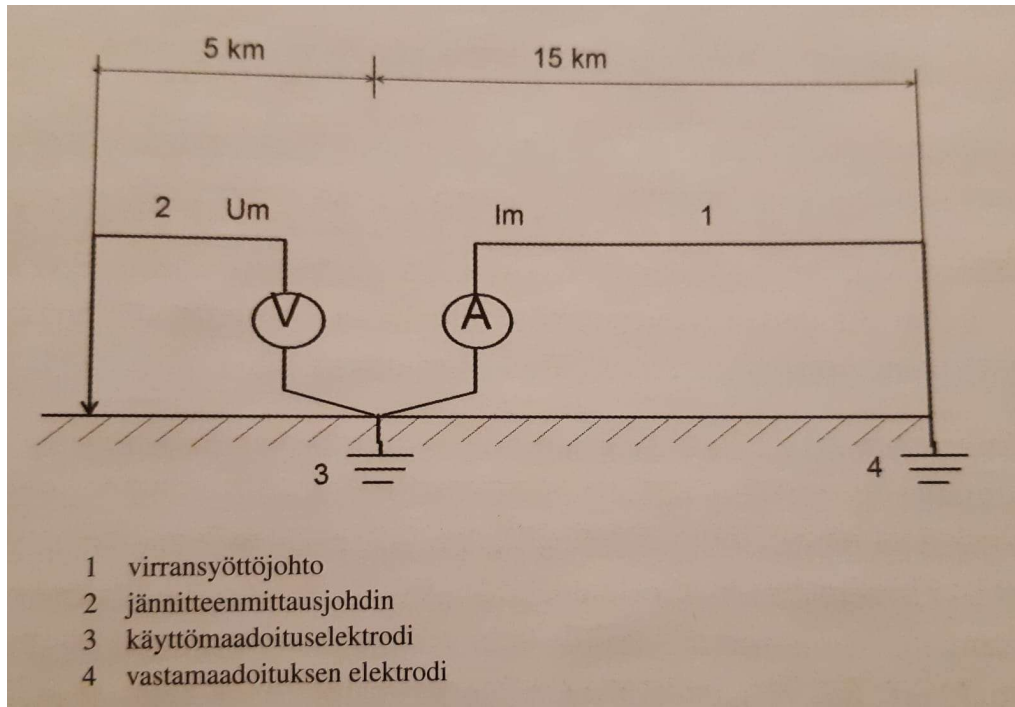
5 MAADOITUKSEN KUNNOSSAPITO

Fenno-Skan 2 tasasähkölinkin kunnossapitosuunnitelmaan kuuluu yhtenä osana maadoituksen kunnossapito. Maadoituksen kunnossapitosuunnitelma osio perustuu standardiin SFS6001 Suurjännitesähköasennukset.

5.1 Huolto ja kunnonvalvonta

Fenno-Skan 2 suurjännitetasasähkölinkin maadoitukset tarkastetaan silmämääräisesti sekä mitataan 6 vuoden välein. Silmämääräinen tarkistaminen hoidetaan mittausten ohella. Se mitä mittalaitetta käytetään, riippuu urakoitsijasta. Tyypillisesti maadoitusmittauksia tehdään muuntajan suurjännitepuolen maadoitukselle, sähköaseman maadoitukselle, enintään 1000 V jakeluverkon maadoitukselle, jos järjestelmä on alttiina yli 1000 V jännitteille sekä edellä mainittujen yhteisille maadoituksille. (Maadoituskirja 2019, 146)

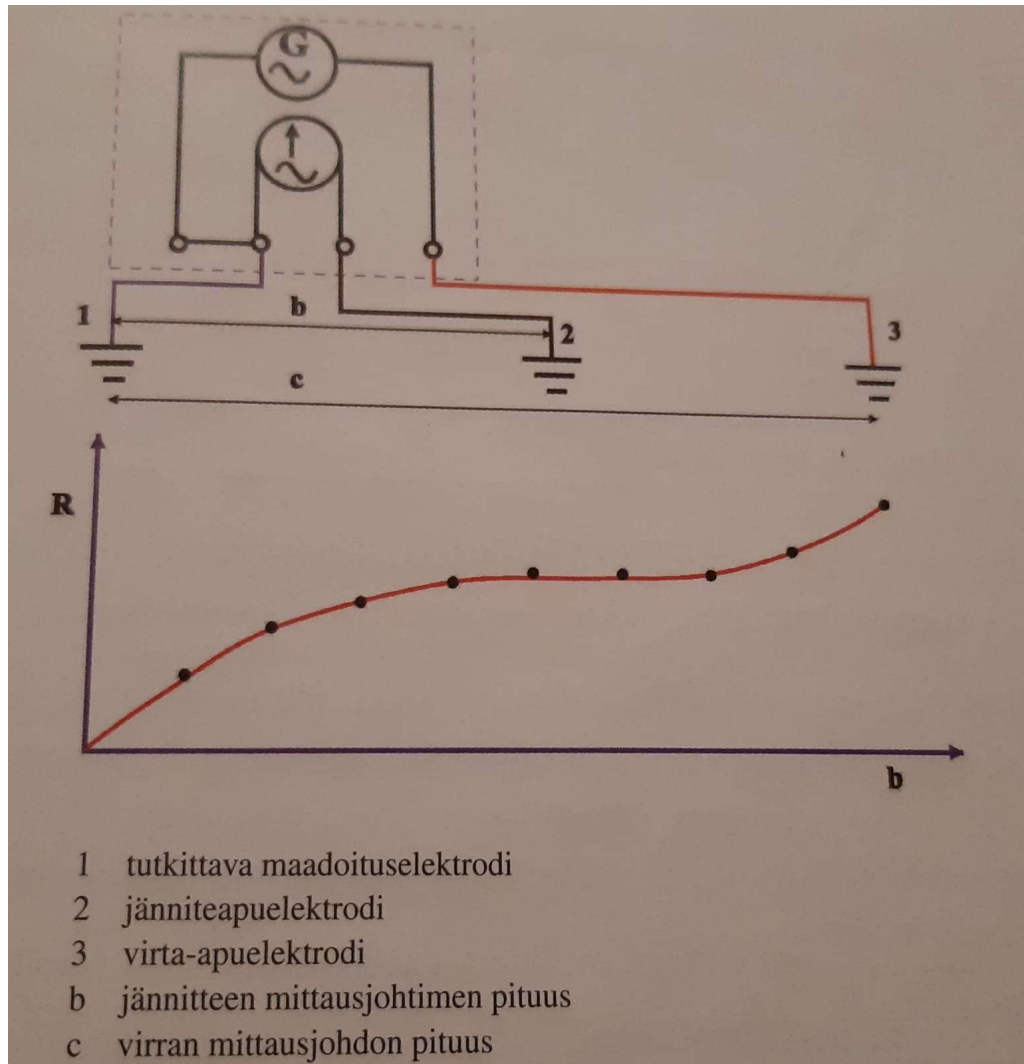
Maadoitusmittausmenetelmiä on monia, esimerkiksi voltti-ampeerimenetelmä ja käännepistemenetelmä. Tavanomaisin maadoituksen mittausmenetelmä on mitata maadoituksesta jännite samaan aikaan kun maadoitukseen syötetään virtaa. Tätä menetelmää kutsutaan voltti-ampeerimenetelmäksi. Voltti-ampeerimenetelmässä resistanssiarvo joudutaan laskemaan mitatun jännitteen ja syötetyn virran avulla. Kuvio 9 näkyy voltti-ampeerimenetelmä (Maadoituskirja 2019, 147-151)



Kuvio 9 Voltti-ampeerimenetelmä (Maadoituskirja 2019, 151)

Käännepistemethodssä maadoitusmittaus tapahtuu mittarilla, joka syöttää mittalaitteesta riippuen 100–500 V vaihtosähköä 70–140 Hz taajuudella. Maadoitusmittarin mittaama arvo on resistanssiarvo toisin kuin voltti-ampeerimethodssä. Käännepistemethodmällä mitattaessa jänniteapuelektrodin paikkaa vaihdetaan mittauspisteen ja virta-apuelektrodin välillä ja resistanssi mitataan jokaisesta pisteestä. Saaduista mittausarvoista muodostuu resistanssikäyrä, joka on mittaustuloksien ja jänniteapuelektrodien etäisyyden funktio. Käyrän käännepisteestä saadaan elektrodin maadoitusresistanssi. Jos mittauksessa on ollut häiriötekijöitä, käyrä on muodoltaan epäsäännöllinen, tällöin mittaus tehdään uudelleen järjestelmän toisesta paikasta, eri suuntaa tai käyttämällä pitempiä mittausetäisyyksiä. Kuvio 10 esittää käännepistemethodmää mittausta. (Maadoituskirja 2019, 147-151)

Käännepistemethodmässä resistanssikäyrä muodostuu mittaustuloksista jänniteapuelektrodin etäisyyden funktiona. Kuvio 10 näkyy esimerkikikäyrä resistanssikäyrästä. (Maadoituskirja 2019, 147-151)



Kuvio 10 Käännepistemenetelmä mittaus (Maadoituskirja 2019, 149)

5.2 Viat ja vikojen paikannus

Vikojen paikannukseen käytetään yleensä mittalaitetta, jolla vika pystytään paikantamaan. Jos vika ei ole silmin nähtävissä, joudutaan käyttämään mittalaitetta.

Vikoja ehkäistään oikeanlaisella kunnossapidolla. Maadoituksille on asetettu vaatimuksia, jotka liittyvät korroosion kestävyyteen, termiseen kestävyyteen, mekaaniseen kestävyyteen, laitteiden ja omaisuuden rikkoontumisen estämiseen sekä henkilöturvallisuuden varmistamiseen. Maadoituksille asetetut vaatimukset täytyy ottaa huomioon maadoitusten kunnossapidossa. (Suuronen 2006, 17)

Maassa oleva maadoituselektrodi on jatkuvassa yhteydessä maassa oleviin aineisiin, kosteuteen ja mahdollisiin sääilmiöihin, siksi kunnossapito on erittäin tarpeellista. Korroosion ja mekaanisen rasituksen takia maadoitusjohtimille on asetettu vähimmäispoikkipinnat, alumiinille 35 mm², kuparille 16 mm² ja teräkselle 50 mm². (Suuronen 2006, 17)

Silmämääräisessä tarkastuksessa tutkitaan maadoituksen osien kulumista ja kuntoa esimerkiksi maadoitusjohtimien katkeamisia, korroosiota ja liitoksia. Maadoituksissa havaitut viat korjataan yleensä heti kun ne havaitaan, esimerkiksi jos kuparijohdin on syöpyntynyt poikki niin se korjataan joko liittämällä kupari uudestaan C-liittimellä tai jos mahdollista vaihtamalla kuparijohdin uuteen. Huonojen liitosten kohdalla liitos uusitaan. (Suuronen 2006, 17)

Fenno-Skan 1 ja Fenno-Skan 2 elektrodipiirin vikojen havaitseminen on haasteellista, koska elektrodipiirissä kulkeva virta on pieni ja jännite on alhainen. Pieni virta johtuu siitä, että tasasähköyhteyttä käytetään bipolaarisesti. Vikatilanteissa vikojen havaittavuus on haastavaa, koska vikavirrat ovat niin pieniä. Alhainen jännite aiheuttaa myös vikatilanteessa niin pienen vikavirran, että vikaa on vaikea löytää. Muuttuvat tehonsiirtotilanteet vaikeuttavat myös vikatilanteiden havaitsemista, koska kokonaisvirta ja jännite elektrodipiirissä muuttuu tehon mukaan. (Nuotio 2018, 19–20)

5.3 Ohjeistuksen kehittäminen

Tasajännitelinkkien maadoitukseen liittyvät viat ja ratkaisut aloitetaan keräämään paremmin talteen. Kerätty materiaalia järjestetään niin että ensin on esitetty vika-tilanne ja sen jälkeen ratkaisu tilanteeseen. Työohje tallennetaan Enersensen työohjekirjastoon.

Tulevaisuudessa pitää aina vian sattuessa tehdä raportti, miten vika ilmenee ja mitä se aiheuttaa ja vian korjaamisen jälkeen kirjata ylös, miten vika saatiin korjattua. Vian oireiden perusteella vian aiheuttajaa ja vikapaikkaa voitaisiin alkaa selvittämään.

Kunnossapidon päämääränä on pitää laitteet suorituskykyisinä ja toimintaympäristö tuottavana ja turvallisena. Kunnossapitotöissä on viisi eri päälajia: huollot, ehkäisevä kunnossapito, korjaava kunnossapito, parantava kunnossapito sekä kunnonvalvonta eli vikojen ja vikaantumisen selvittäminen. (SFS-EN 13306, 2017, 13–15)

Huollon tarkoituksena on laitteen ja sen toimintaympäristön pitäminen kunnossa, jotta laitteen käyttäminen olisi turvallista, luotettavaa ja tehokasta. Huoltotoimenpiteitä on mahdollista jaksottaa tuotantoajan, käyttöajan tai käytön rasituksen perusteella. Jaksotettu huolto voi olla rutiinia kunnossapitotyötä, voitelua, kalibrointia tai kuluvien osien vaihtamista. (SFS-EN 13306, 2017, 13–15)

Ehkäisevän kunnossapidon tarkoituksena on hallita tai estää vikaantuminen ennen laitteen rikkoontumista. Ehkäisevää kunnossapitoa voi suorittaa jatkuvasti, aikataulutetusti tai tarpeen mukaan. Ehkäisevässä kunnossapidossa tehdään esimerkiksi tarkastuksia, määräystenmukaisuuden toteamisia, testauksia ja käynninvalvontaa. (SFS-EN 13306, 2017, 13–15)

Korjaavassa kunnossapidossa korjataan rikkoontunut laite. Vian määrittäminen, paikallistaminen ja toimintakunnon palautus sekä väliaikainen tai pysyvä korjaus ovat korjaavaa kunnossapitoa. Korjaava kunnossapito voidaan jakaa viiveellä tehtäväksi ja heti tehtäväksi. Korjaavassa kunnossapidossa tehdään häiriökorjauksia, kuntoon perustuvaa suunniteltua korjausta ja kunnostamista. (SFS-EN 13306, 2017, 13–15)

Parantavassa kunnossapidossa on tarkoituksena kehittää luotettavuutta, käytettävyyttä ja suorituskykyä. Parantavaa kunnossapitoa voi olla esimerkiksi komponenttien vaihtoa uudempiin, laitteen uudelleen suunnittelua, modernisointia tai korjausta luotettavammaksi. Parantavaa kunnossapitoa tehdessä pitää tietää laitteiden vikojen syyt ja vikaantumisen tapahtumasarja. (SFS-EN 13306, 2017, 13–15)

Kunnonvalvonta on niiden tekijöiden etsimistä, joilla on vaikutusta käytettävyyteen, tehokkuuteen, luotettavuuteen tai negatiivisesti turvallisuuteen. Kunnonvalvontaan liittyy toimintakuntoisten ja toimimattomien laitteiden tutkimista ja tarkkailua, mittalaitteilla tapahtuvaa mittausta ja valvontaa sekä mittaustulosten

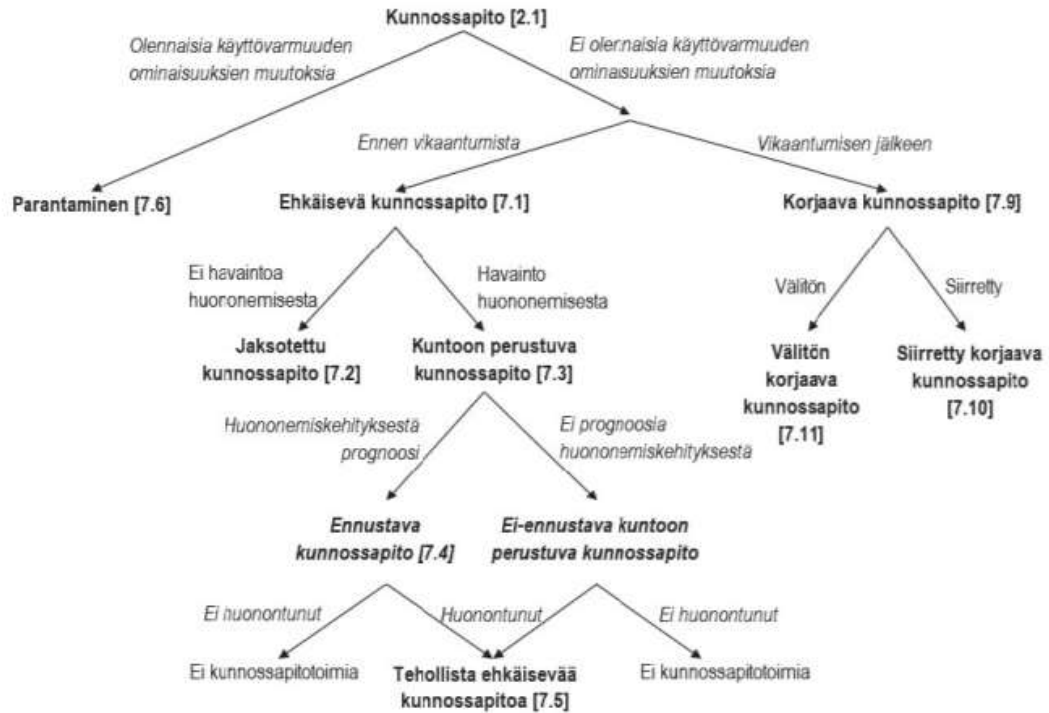
analysointia. Kunnonvalvonnalla saatuja tietoja voidaan käyttää hyväksi korjaavan ja ennakoivan kunnossapidon kehitykseen ja suunnitteluun. (SFS-EN 13306, 2017, 13–15)

Kuvio 11 esittää kuinka kunnossapitolajit voidaan jaotella. Kunnossapito voidaan jakaa olennaisten käyttövarmuuden ominaisuuksien muutosten perusteella parantamiseen tai ei olennaisten käyttövarmuuden ominaisuuksien muutosten perusteella joko ennen vikaantumista ehkäisevään kunnossapitoon tai vikaantumisen jälkeen korjaavaan kunnossapitoon. (SFS-EN 13306, 2017, 22)

Ehkäisevä kunnossapito voidaan jakaa havaitun huononemisen mukaan jaksotettuun kunnossapitoon ja kuntoon perustuvaan kunnossapitoon. Jos huononemisesta ei ole havaintoa ehkäisevä kunnossapito on jaksotettua kunnossapitoa ja jos havainto tehdään, se on kuntoon perustuvaa kunnossapitoa. (SFS-EN 13306, 2017, 22)

Kuntoon perustuva kunnossapito jakautuu huononemiskehityksen ennusteen mukaan ennustavaan kunnossapitoon ja ei-ennustavaan kuntoon perustuvaan kunnossapitoon. Ennustavasta ja ei-ennustavasta kuntoon perustuvasta kunnossapidosta voidaan tapauksessa, jossa tila huononee tehdä tehollista ehkäisevää kunnossapitoa. (SFS-EN 13306, 2017, 22)

Vikaantumisen jälkeen tehtävä korjaava kunnossapito jaetaan välittömään korjaavaan kunnossapitoon ja siirrettävään korjaavaan kunnossapitoon. (SFS-EN 13306, 2017, 22)



Kuvio 11 Kunnossapitolajien jakautuminen (SFS-EN 13306, 2017, 22)

Tasasähkölinkin vioista talteen otettavia tietoja ovat ainakin vian ajankohta, miten vika ilmenee, vian vaikutukset, vian kohde, kuinka vika paikannettiin ja kuinka vika korjattiin. Tiedon dokumentointi vioista helpottaa tulevaisuudessa huolto ja kunnossapitotoimien suunnittelua sekä vian sattua tiedetään heti, miten toimitaan ja miten viat voitaisiin ehkäistä.

6 POHDINTA

Opinnäytetyössä perehdyttiin tasasähkölinkkiin ja sen maadoitukseen. Tavoitteena oli aloittaa kirjoittamaan ohjetta tasasähkölinkkien maadoituksesta. Sain kerättyä aineistoa Fingridin ja Enersensen asiantuntijoilta ja kirjoitettua aineiston perusteella ohjeen alun. Työn tekemistä hankaloitti luottamukselliseksi luokitellun materiaalin saaminen ja sen käyttäminen opinnäytetyössä. Esimerkiksi tasasähkölinkin laitevalmistajan kuvat ja Fingridin oma ohjemateriaali tasasähkölinkkeihin liittyen ovat luottamuksellisia. Haasteita tekemiseen toi myös oma työni opinnäytetyön ohella, mikä osaltaan tiukensi aikataulua.

Opinnäytetyön tekemisen aikana opin tasasähkölinkin komponenteista ja toiminnasta sekä etenkin maadoituksesta. Tasasähkölinkeistä löytyi runsaasti tietoa julkisista lähteistä mutta yksityiskohtaisempi tieto varsinkin maadoituksesta tuli Fingridin ja Enersensen asiantuntijoilta.

Työn aihe oli mielenkiintoinen ja lisäsi kiinnostustani sähkövoimatekniikkaan. Työtä tehdessä opin miten suuri vaikutus tasasähkölinkeillä on Suomen sähköjärjestelmän kannalta ja kuinka tärkeitä ovat oikeanlaiset huolto ja kunnossapitotoimenpiteet.

LÄHTEET

- Elovaara, J. & Haarla, L. 2011a. Sähköverkot I. Helsinki:Otatieto
- Elovaara, J. & Haarla, L. 2011b. Sähköverkot II. Helsinki:Otatieto
- Elovaara, J. & Laiho, Y. 2007. Sähkölaitostekniikan perusteet. Helsinki:Otatieto
- Enersense Oyj 2021a. Enersensen sisäinen internet sivusto. Viitattu 26.10.2021
- Enersense Oyj 2021b. Tietoa meistä. Viitattu 15.9.2021 <https://enersense.fi/tieto-meista/>
- Fingrid Oyj 2019. Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2019-2030 Viitattu 8.11.2021 https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/kantaverkon_kehittamissuunnitelma-2019-2030.pdf
- Fingrid Oyj 2021a. Esittely Viitattu 15.9.2021 <https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/esittely/>
- Fingrid Oyj 2021b. Fenno-Skan 2 Tasasähköyhteys Viitattu 8.11.2021 https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/fennoskan_esite_suomi_low.pdf
- Fingrid Oyj 2021c. Fingrid investoi kantaverkkoon ennätyselliset kaksi miljardia euroa Viitattu 8.11.2021 <https://www.fingrid.fi/sivut/ajankohtaista/tiedotteet/2020/fingrid-investoi-kantaverkkoon-ennatyselliset-kaksi-miljardia-euroa/>
- Fingrid Oyj 2021d. Fingrid Oyj-Kaksi vuosikymmentä Viitattu 8.11.2021 https://www.fingrid.fi/contentassets/b6f25b051ac34113b037da71daa0666b/fingrid_historiikki.pdf
- Fingrid Oyj 2021e. Fingridin sähkösiirtoverkko Viitattu 8.11.2021 <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/fingridin-sahkonsiirtoverkko/>
- Jalonen, M 2021. Tasasähkölinkin maadoitus. Sähköposti Mikko.Jalonen@fingrid.fi 4.11.2021. Tulostettu 5.11.2021
- Maadoituskirja. 2019. Espoo: STUL
- Nuotio, M. 2018. Suurjännitteisen tasasähköyhteyden elektrodipiirin valvonta. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähköverkot ja -markkinat. Diplomityö.
- Nuotio, T. 2019. Magneettikentän mittaaminen suurjännitteisen tasasähkökaapelin tarkassa vianpaikannuksessa. Tampereen yliopisto. Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta. Diplomityö.
- Nästi, J. 2021. Tasasähkölinkin maadoitus. Sähköposti Janne.Nasti@fingrid.fi 11.11.2021. Tulostettu 15.11.2021.

SFS-EN 13306, 2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Helsinki: SFS

ST 53.21. 2018. Rakennusten sähköasennusten maadoitukset ja potentiaalintausaukset. Espoo: Sähkötieto Ry

Suuronen, M. 2006. Maadoituksen mittaustapojen soveltuvuuden arviointi. Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähkövoimatekniikka. Tutkintotyö.