

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# MITTAUSMENETELMÄT 0,4–20 KI- LOVOLTIN MAAKAAPELI- JA ILMA- JOHTOVERKOSSA

TEKIJÄ Santeri Kinnunen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Santeri Kinnunen	
Työn nimi Mittausmenetelmät 0,4–20 kilovoltin maakaapeli- ja ilmajohtoverkossa	
Päiväys 22.8.2024	Sivumäärä/Liitteet 27/0
Toimeksiantaja TK-Verkonrakennus Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä käsiteltiin 0.4–20 kV:n maakaapeli- ja ilmajohtoverkon keskeisimpiä mittausmenetelmiä ja niiden käyttöaiheita. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli TK-Verkonrakennus Oy. Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä keskeisimpiin mittausmenetelmiin jakeluverkon maakaapeli- ja ilmajohtoverkossa sekä luoda niistä yhtenäinen erillinen mittausohje toimeksiantajan käyttöön. Opinnäytetyön tarkoituksena on tukea yrityksen yhdenmukaista ja tehokasta toimintaa yksinkertaisilla ohjeilla sekä helpottaa päivittäistä työskentelyä.</p> <p>Sähkönjakeluverkot ovat olennainen osa nykyaikaisen yhteiskunnan infrastruktuuria. Valtaosa sähkönkäyttäjistä odottaa katkeamatonta ja laadukasta sähkön toimitusta. Kotitalouksien ja muiden sähkönkäyttäjien kokemissa sähkökatkoissa on lähes poikkeuksetta taustalla sähkönjakeluverkon häiriö, minkä vuoksi jakeluverkon toiminnan ja turvallisuuden varmistaminen on ensiarvoisen tärkeää. Huolellisesti toteutetut käyttöönottotarkastukset ja mittaukset ovat merkittävässä roolissa maakaapeli- ja ilmajohtoverkon toimintavarmuuden ja turvallisuuden ylläpitämisessä.</p> <p>Sähköverkon käyttöönottotarkastusten toteuttamista ohjaavat useat lait, asetukset ja standardit. Niiden tarkoituksena on ohjata ja varmistaa turvallinen sähkölaitteiston käyttö. Sähköalan standardeja noudattamalla täytetään viranomaismääräysten vaatimukset. Kaikkien sähkötyötä tekevien olisi tärkeää tuntee SFS-standardien sisällöt turvallisen toiminnan takaamiseksi.</p> <p>Keskeisimpiä mittausmenetelmiä puolestaan ovat oikosulkuvirran ja silmukkaimpedanssin mittaus, eristysvastusmittaukset, jännitteen mittaus, virtamittaus, maasulku- ja oikosulkumittaus, vaipaneheysmittaus, jatkuvuusmittaus, käännepistemittaus ja maan ominaisresistanssimittaus. Mittausopas on koostettu opinnäytetyön toimeksiantajan toivomista menetelmistä.</p>	
Avainsanat sähköverkko, jakeluverkko, käyttöönottotarkastukset, mittausmenetelmät, mittaukset	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	5
1.1	TK- Verkonrakennus Oy.....	6
2	SUOMEN SÄHKÖVERKKO.....	7
2.1	Jakelujärjestelmät .....	9
2.2	Jakeluverkon rakenne .....	10
2.3	Maadoitukset .....	11
2.4	Suojausmenetelmät .....	12
2.4.1	Pienjänniteverkon suojaus.....	12
2.4.2	Keskijänniteverkon suojaus .....	13
3	KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUKSET.....	14
3.1	Lait, asetukset ja standardit.....	14
3.2	Työmenetelmät.....	15
4	MITTAUSMENETELMÄT .....	17
4.1	Oikosulkuvirran mittaus pienjänniteverkossa .....	17
4.2	Eristysresistanssimittaus pienjänniteverkossa .....	18
4.3	Suojajohtimen eheys- ja jatkuvuusmittaus.....	19
4.4	Jännitteen ja pyörimissuunnan mittaus pienjänniteverkossa.....	20
4.5	Eristysresistanssimittaus keskijänniteverkossa.....	21
4.6	Vaipaneheysmittaus keskijänniteverkossa .....	22
4.7	Maadoitusmittaus.....	23
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	25
5.1	Eettisyys ja luotettavuus opinnäytetyöprosessissa .....	25
5.2	Opinnäytetyöprosessi .....	26
	LÄHTEET .....	27

## KUVALUETTELO

KUVA 1. Suomen sähköjärjestelmä (Savon voima 2021). .....	7
KUVA 2. Siirto- ja jakeluverkon periaatekaavio (Elovaara & Haarla 2011). .....	8
KUVA 3. TN-C järjestelmä (D1 2022, 64). .....	9
KUVA 4. IT-järjestelmä (D1 2022, 67). .....	10
KUVA 5. Säteisverkko (Elovaara & Haarla 2011). .....	11
KUVA 6. Silmukkaverkko (Elovaara & Haarla 2011). .....	11
KUVA 7. Oikosulkuvirranmittaus (Muokattu lähteestä: Amprobe Test Tools 2013). .....	17
KUVA 8. Suositeltava minimioikosulkuvirta sähköliittymältä (SA 4:09, 15). .....	18
KUVA 9. Ylivirtasuojan pienin oikosulkuvirta jakeluverkossa (SFS 6000-8.801.1).....	18
KUVA 10. Eristysvastusmittaus pienjänniteverkossa (Muokattu lähteestä: Amprobe Test Tools 2013). .....	19
KUVA 11. Eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot (SFS 6000-6.6.1). .....	19
KUVA 12. Kuparijohtimen resistanssi R nimellisen poikkipinta-alan S mukaan 30°C lämpötilassa johdinresistanssien karkeaa arviointia avarten (SFS 6000-6.6A.1). .....	20
KUVA 13. Suositukset jännitteen vaihtelualueelle ja alenemalle (SA 2:08, 29). .....	21
KUVA 14. Eristysvastusmittaus (Muokattu lähteestä: Finnparttia, Sähkötukku, julkaisuaika tuntematon). ....	22
KUVA 15. Vaipaneheysmittaus (Muokattu lähteestä: Finnparttia, Sähkötukku, julkaisuaika tuntematon). ....	23
KUVA 16. Maadoitusmittaus käännepistemenetelmällä (Muokattu lähteestä: Head Power Oy, julkaisuaika tuntematon). .....	24

## 1 JOHDANTO

Sähkönjakeluverkot ovat merkittävä osa yhteiskunnan infrastruktuuria, sillä jokainen sähkökäyttäjä odottaa lähtökohtaisesti keskeytymätöntä sähkön toimitusta (Lakervi & Partanen 2012, 9). Jakeluverkkojen toiminnot ja ominaisuudet ovat erottamattomassa yhteydessä sähkön loppukäyttäjähintaan, sähkön laatuun ja yleiseen sähköturvallisuuteen sekä käyttövarmuuteen (Lakervi & Partanen 2012, 17). Tästä syystä sähköverkon rakennus- ja kunnossapitotyön on oltava laadukasta ja yhteneväistä. Oikein tehdyillä mittauksilla ja tarkastuksilla varmistetaan, että työ on tehty standardien mukaisesti. (Lakervi & Partanen 2012, 9.)

Kotitalouksien ja muiden sähkökäyttäjien kokemissa sähkökatkoissa on lähes poikkeuksetta taustalla sähkönjakeluverkon häiriö, minkä vuoksi jakeluverkon toiminnan ja turvallisuuden varmistaminen on ensiarvoisen tärkeää (Lakervi & Partanen 2012, 17–18). Lisäksi vuonna 2013 uudistettu sähkömarkkinalaki edellyttää sähkön jakelijoilta yhä parempaa toimitusvarmuutta sekä mahdollisimman lyhyitä jakelun keskeytyksiä, ja vuoteen 2028 mennessä kaikkien sähköverkkoyhtiöiden on parannettava toimitusvarmuuttaan kaikkien sen piiriin kuuluvien asiakkaiden kohdalla (Sähkömarkkinalaki 588/2013, 2013).

Sähkönjakeluverkkojen luotettava toiminta perustuu laadukkaaseen sähköverkon rakennus- ja kunnossapitotyöhön sekä käyttötoimintaan. Tämä edellyttää säännöllisiä työhön liittyviä mittauksia ja tarkastuksia, joista olisi myös hyvä olla yrityksen sisäisesti selkeät ohjeet ja toimintatavat. Toimeksianto opinnäytetyöhön on saatu TK Verkonrakennus Oy:ltä, joka on loviisalainen sähkönjakeluverkon rakennukseen ja kunnossapitoon keskittyvä yritys. Opinnäytetyössä määritellään keskeisimmät mittausmenetelmät työn tilaajan toiveiden mukaisesti ja kootaan niistä kehittämistyönä yhteneväinen ja tiivis mittausohje oppaan muodossa suoraan yrityksen sähköasentajien käyttöön. Selkeillä mittausohjeilla tuetaan yrityksen tärkeimpien arvojen, eli työn laadun ja turvallisuuden, toteutumista. TK Verkonrakennus Oy on aloittanut toimintansa vasta muutamia vuosia sitten, eikä yrityksellä tästä syystä ole vielä sisäistä työohjetta sähköverkon rakennukseen vaadittaville käyttöönottotarkastuksille ja mittauksille.

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä huolellisesti sähkönjakeluverkon maakaapeli- ja ilmajohtoverkon keskeisimpiin mittausmenetelmiin sekä luoda niistä yhtenäinen erillinen mittausohje toimeksiantajan käyttöön. Opinnäytetyön tarkoituksena on tukea yrityksen yhdenmukaista ja tehokasta toimintaa yksinkertaisilla ohjeilla sekä helpottaa päivittäistä työskentelyä.

Opinnäytetyön rakenne etenee niin, että johdannon jälkeen käsitellään Suomalaista sähkönjakeluverkkoa yleisesti, sen rakennetta sekä pienjännite- ja keskijänniteverkon suojausmenetelmiä. Tämän jälkeen käsitellään käyttöönottotarkastukset ja niitä ohjaavat keskeisimmät lait ja standardit luvussa 3. Näiden pohjalta edetään lukuun 4 mittausmenetelmiin. Viimeinen luku koostuu johtopäätöksistä sekä opinnäytetyöprosessin etenemisen ja eettisyyden toteutumisen pohdinnasta.

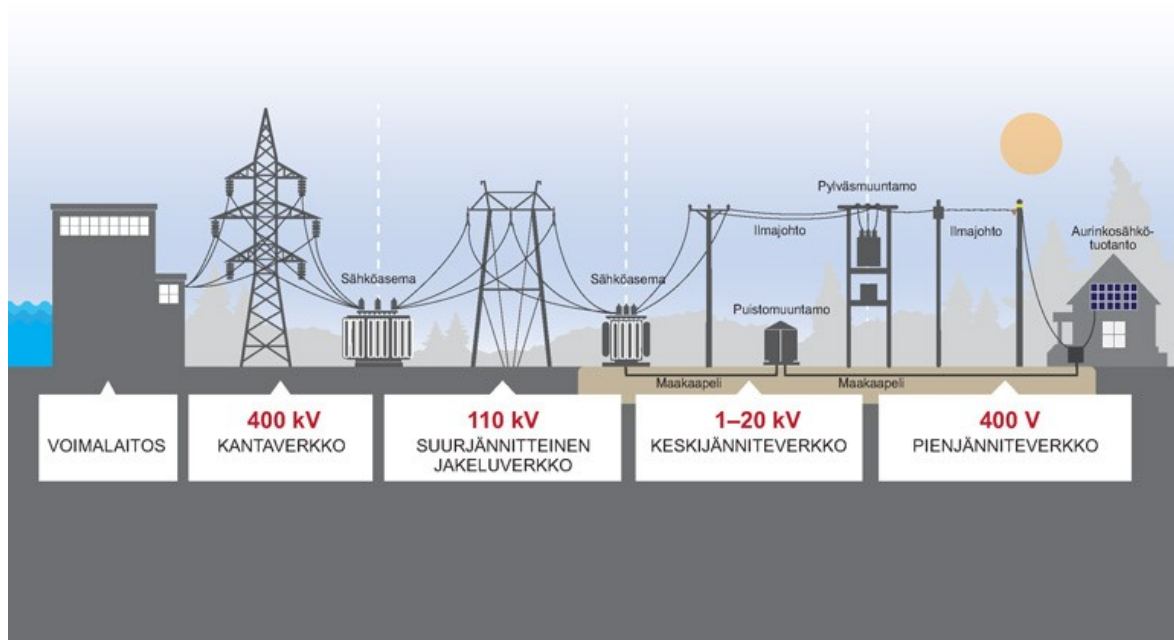
## 1.1 TK- Verkonrakennus Oy

Opinnäytetyön toimeksiantaja on TK-Verkonrakennus Oy, joka on loviisalainen sähköverkon rakennus- ja kunnossapitotöihin suuntautunut pienyritys, jonka yhtiömuotona on osakeyhtiö. Yritys on perustettu vuonna 2018 sen nykyisen toimitusjohtajan toimesta. Tällä hetkellä sen henkilöstö koostuu kahdeksasta vakituisesta työntekijästä. Kaikki työntekijät ovat koulutukseltaan sähköasentajia, ja lisäksi joukossa on sähköinsinööreiksi kouluttautuneita. Vuonna 2023 yrityksen liikevaihto oli 827 000 euroa, ja se on kasvanut vuosi vuodelta. Yhtiön on tavoitteena kasvattaa toimintaansa lähivuosina. Yrityksen toiminta-alue määräytyy kysynnän mukaan, mutta työmaat painottuvat Etelä-Suomen ja Kymenlaakson alueille.

Yritys tunnetaan laadukkaasta ja huolellisesta työstä, ja yksi sen tärkeimpiä arvoja onkin työntekijöiden kattava perehdytys ja työnlaadun varmistaminen selkein työhohjein. Yritys on ollut avoin myös palkkaamaan vastavalmistuneita, jotka ovat uransa alussa. Näistä syistä TK-Verkonrakennus Oy on tilannut tämän opinnäytetyön ja sen yhteydessä koostetun mittausoppaan tukemaan arvojensa mukaista työskentelyä ja toimintaa. Mittausopas julkaistaan ainoastaan tämän yrityksen käyttöön ja on laadittu kyseisen yrityksen toimitusjohtajan toiveiden mukaisesti. Näin ollen siinä käsitellään kyseisen yrityksen toiminnan kannalta keskeisimmät mittausmenetelmät.

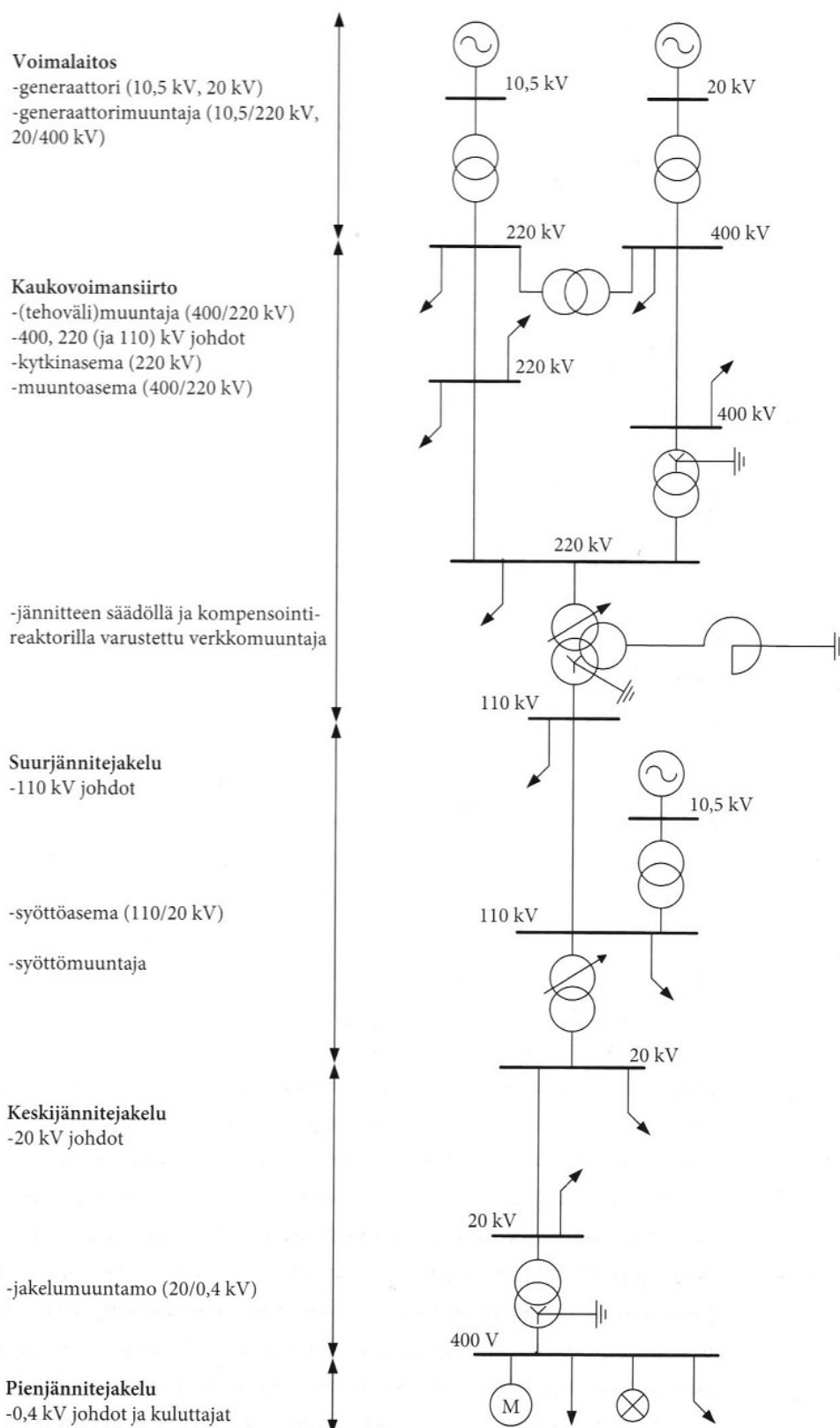
## 2 SUOMEN SÄHKÖVERKKO

Suomen sähkövoimajärjestelmä koostuu kanta-, alue- ja jakeluverkoista. Myös sähkökuluttajat voidaan katsoa olennaiseksi osaksi sähköjärjestelmää. Siirtoverkkoon kuuluvat järjestelmät, linjat sekä sähköasemat muodostavat koko maan kattavan valtakunnallisen kantaverkon eli niin kutsutun runkoverkon, joka mahdollistaa valtakunnan sisäisen sähkönsiirron lisäksi sähkön tuonnin ja viennin naapurimaiden kanssa (Eronen 2023, 9). Suomi kuuluu osaksi yhteispohjoismaista sähköjärjestelmää (Eronen 2023, 8). Siirtoverkkoihin kuuluvien verkonosien jännite on 110, 220 tai 400 kV. Kantaverkkoon kuulumattomat 110 kV linjat, asemat sekä 45 kV johdot kuuluvat eri sähköyhtiöiden omistamaan alueverkkoon. Jakeluverkon jännitetaso on suurimmaksi osaksi 0,4–20 kV. (Elovaara & Haarla 2011, 54–55; Eronen 2023). Alla on havainnollistettu Suomen sähköjärjestelmä eri jännitetasoilla (KUVA 1).



KUVA 1. Suomen sähköjärjestelmä (Savon voima 2021).

Suomessa sähköyhtiöiden omistamia 0,4–20 kV jakeluverkkoja käytetään sähkön siirtoon pienille ja keskisuurille liittymille. Jakeluverkot voidaan jakaa suur-, keski- ja pienjänniteverkkoihin. Keskijänniteverkossa jännitetaso on 20 kV ja pienjänniteverkossa 0,4 kV. Joissain tapauksissa pienjänniteverkkoon voi kuulua yhden kilovoltin jännitetason verkonosista. Jännitetaso on aina kolmivaihejärjestelmän kahden vaiheen välinen pääjännite. Suomessa siirto- ja jakeluverkossa käytetään kolmivaiheista vaihtosähköjärjestelmää, jonka taajuus on 50 Hz. (Elovaara & Haarla 2011, 54–55.) Seuraavalla sivulla (KUVA 2) on esitetty siirto- ja jakeluverkon periaatekaavio Elovaaran ja Haاران (2011) mukaisesti.



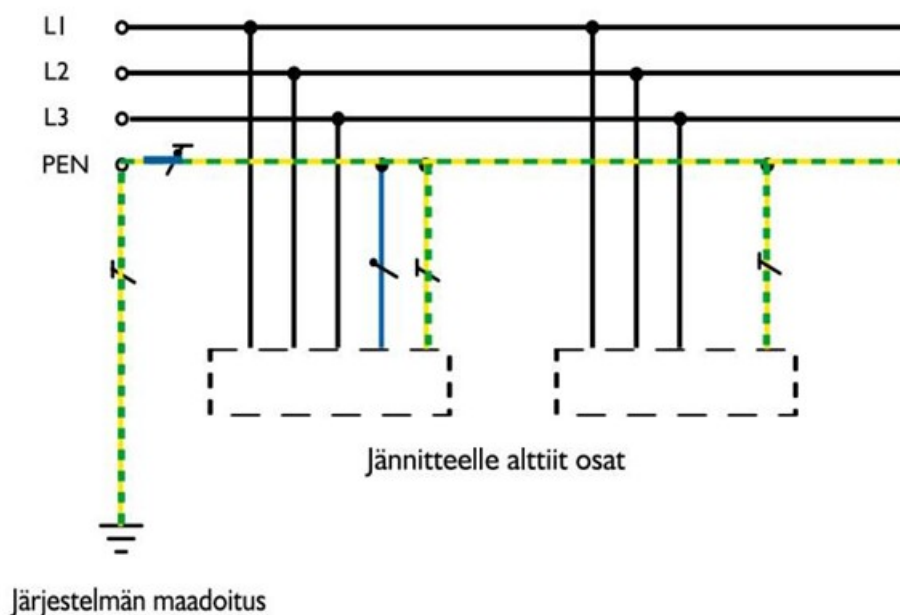
KUVA 2. Siirto- ja jakeluverkon periaatekaavio (Elovaara & Haarla 2011).

Kokonaisuudessaan Suomessa toimii 77 jakeluverkkoyhtiötä, jotka yhdessä omistavat kaikki Suomen sähköjakeluverkot. Jakeluverkkoyhtiöt toimivat hyvin erilaisilla alueilla ja ovat monilta osiltaan hyvin erilaisia. Suurimpia ja tunnetuimpia näistä ovat esimerkiksi Caruna Oy ja Helen Oy. Jakeluverkoilla on Suomessa omilla vastuualueillaan yksinoikeus jakaa sähköä. Jakeluverkkoyhtiöiden toimintaa valvoo Energiavirasto. (Eronen 2023, 6, 11.)

## 2.1 Jakelujärjestelmät

Käytettävä jakelujärjestelmä määritetään aina sähkölaitteiston maadoitustavan perusteella. Pienjänniteverkon jakelujärjestelmä kuuluu TN-C-järjestelmään (KUVA 3), joka on yksi sähköverkon maadoitusjärjestelmistä. TN-C-järjestelmässä sekä suojamaa (PE) että nollajohdin (N) on yhdistetty yhdeksi johtimeksi, jota kutsutaan PEN-johtimeksi. Myös tähtipiste on maadoitettu. (SFS 6000-1.312.2.3.) Kuvassa 3 on havainnollistettu TN-C-järjestelmä.

TN-C järjestelmän PEN-johtimen katkeaminen etenkin, ilmajohtoverkossa on vaarallinen vikatilanne, jossa vaiheiden jännitteet poikkeavat nimellisestä ja laitteiden rungossa voi esiintyä vaarallisia jännitteitä. Siksi jakeluverkkoyhtiöt suosivatkin enemmän maakaapelointia pienjänniteverkossa, minkä myötä verkosta saadaan turvallisempi ja toimintavarmuus on myös parempi. (Lakervi & Partanen 2009, 163.)

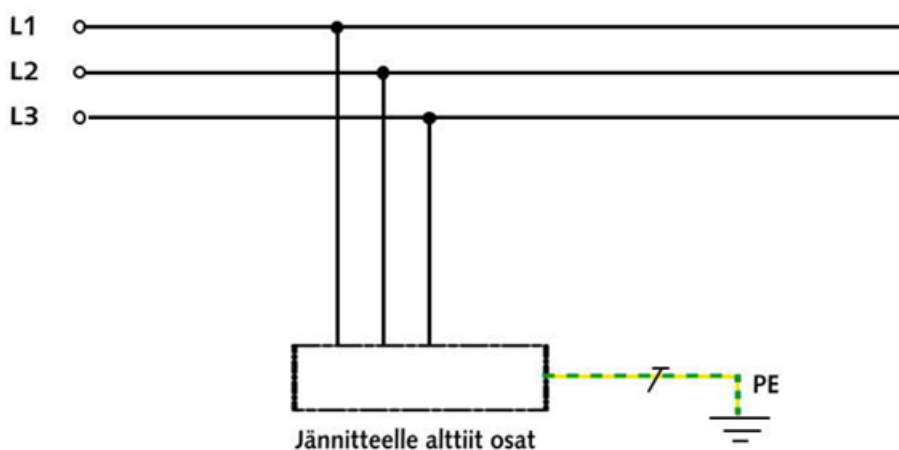


KUVA 3. TN-C järjestelmä (D1 2022, 64).

Keskijänniteverkon jakelujärjestelmä puolestaan kuuluu IT-järjestelmään, jolla tarkoitetaan maasta erotettua järjestelmää. IT-järjestelmässä kaikki jännitteiset osat ja tähtipiste on siis eristetty maasta, tai vaihtoehtoisesti tähtipiste voi olla yhdistetty maahan suuren impedanssin kautta. Jännitteelle alttiit osat voidaan maadoittaa yhdessä tai erikseen. Suomessa keskijänniteverkkoa käytetään maasta ero-

tettuna maaperän heikon johtavuuden vuoksi. Näin saadaan maasulun aiheuttamat maadoitusjännitteet pysymään kohtuullisina. (SFS 6000-1.312.3) IT-järjestelmä on havainnollistettu seuraavalla sivulla (KUVA 4).

IT-järjestelmä takaa korkean käyttövarmuuden ja turvallisuuden, ja siksi sitä käytetään tilanteissa, joissa sähköverkon jatkuva toiminta on kriittistä, kuten sairaaloissa. Järjestelmä vaatii jatkuvaa seurantaakin, mutta merkittävää siitä tekee se, että sillä on kyky sietää ensimmäinen maasulkuvika ilman toiminnan keskeytymistä. (Lakervi & Partanen 2009, 176.)

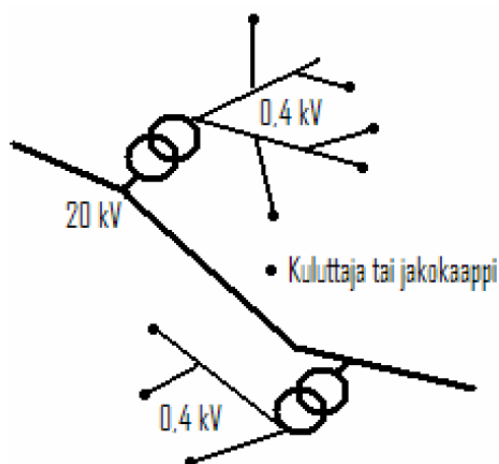


KUVA 4. IT-järjestelmä (D1 2022, 67).

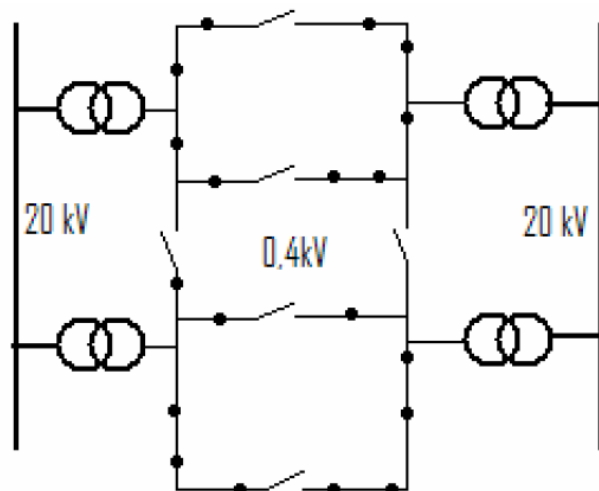
## 2.2 Jakeluverkon rakenne

Jakeluverkot voivat olla rakenteeltaan avoimia tai suljettuja. Avointa jakeluverkkoa kutsutaan säteisverkoksi ja vastaavasti suljettua verkkoa kutsutaan silmukkaverkoksi. Säteittäisessä verkossa sähkö siirtyy kuormitukselle yhtä reittiä pitkin, kun taas silmukkaverkossa sähkönsiirrossa on useampi kulureitti. Silmukkaverkon käyttövarmuus on kuitenkin usein parempi, sillä siinä yhden johtovälin vikaantuminen ei vielä aiheuta sähkökatkoa. (Korpinen 2007, 1–2.)

Kustannussyistä lähes kaikki pienjänniteverkot rakennetaan haja-asutusalueilla säteittäisiksi. Kaupunkialueilla pienjänniteverkot ovat enemmän silmukoituja, mutta niitä käytetään säteittäisesti. Rengasmuotoa käytetään verkon kytkentää muutettaessa tai vian rajauksessa. (Korpinen 2007, 1–2.)



KUVA 5. Säteisverkko (Elovaara & Haarla 2011).



KUVA 6. Silmukkaverkko (Elovaara & Haarla 2011).

Keskijänniteverkot rakennetaan silmukkaverkoiksi, mutta keskijännitejohtorengaat pidetään normaalisti säteittäisenä. Myös keskijänniteverkossa rengasmuotoa käytetään verkon kytkentää muutettaessa tai vian rajauksessa. (Korpinen 2007, 1–2.) Yläpuolella on kuvattuna säteisverkko (KUVA 5) ja silmukkaverkko (KUVA 6) Elovaaran ja Haarlan (2011) mukaisesti.

### 2.3 Maadoitukset

Jakeluverkon maadoitusjärjestelmä jaotellaan paikalliseen maadoitusjärjestelmään, yhteen liitettyyn maadoitusjärjestelmään ja laajaan maadoitusjärjestelmään (Head Power Oy, julkaisuaika tuntematon).

Paikallinen maadoitusjärjestelmä tarkoittaa yksittäistä maadoitusjärjestelmää, joka ei ole maadoituksen kannalta yhteydessä verkon muihin maadoitusjärjestelmiin. Paikallinen maadoitusjärjestelmä voi

olla esimerkiksi ilmajohtoverkkoon liittyvillä erotinasemilla tai -muuntamoilla, joista etäisyydet muihin järjestelmiin ovat pitkät. (SFS 6001, 145.)

Yhteen liitetty maadoitusjärjestelmä tarkoittaa maadoitusjärjestelmää, joka on johtavassa yhteydessä vähintään kahteen muuhun maadoitusjärjestelmään. Järjestelmät voivat olla yhteydessä toisiinsa esimerkiksi kaapelin kosketussuojalla/metallivaipalla ja/tai keskusköysien välityksellä ja/tai erillisellä johtimella yhdistettynä. Yhteen liitetty maadoitusjärjestelmiä on esimerkiksi usean muuntopiirin ketju taajamissa ja maaseudulla, jossa paikalliset maadoitusjärjestelmät ovat yhteydessä keskenään. (SFS 6001, 145.)

Laaja maadoitusjärjestelmä puolestaan tarkoittaa maadoitusjärjestelmää, jossa jakeluverkko muodostaa galvaanisesti yhtenäisen maadoitusjärjestelmän. Jokaisen muuntopiirin on oltava johtavassa yhteydessä riittävän lyhyin välein vähintään kahden muun muuntopiirin maadoituksiin esimerkiksi kaapelin kosketussuojalla/metallivaipalla ja/tai keskusköysien välityksellä ja/tai erillisellä johtimella yhdistettynä. Maadoitusjärjestelmä on tyypillisesti verkkomaisesti silmukoituva ja muuntamoiden etäisyydet ovat lyhyet. Laajoja maadoitusjärjestelmiä käytetään etenkin tiheästi asutuilla kaupunkialueilla sekä laajoilla teollisuusalueilla. (SFS 6001, 146.)

## 2.4 Suojausmenetelmät

Suomessa jokaisen jakeluverkkoyhtiön on täytettävä SFS 6000-sarjassa ja SFS 6001:ssä määriteltyjen sähköturvallisuusstandardien mukaiset yleissuojausvaatimukset omalla verkkoalueellaan. Perusvaatimuksia tehokkaammalla suojauksella sekä siihen liittyvällä automaatiolla voi parantaa merkittävästi sähkönjakelun luotettavuutta sekä nostaa verkon arvoa (Lakervi & Partanen 2009, 179). Seuraavissa kappaleissa käsitellään erikseen pienjännite- ja keskijänniteverkon suojaukset.

### 2.4.1 Pienjänniteverkon suojaus

Pienjänniteverkon suojauksella suojataan verkonosaa jakelumuuntajalta kuluttajan liittymäpisteelle. Pienjänniteverkon suojaus on toteutettu kahvasulakkeilla, ja sen ohessa maadoitus suojaa verkon käyttäjiä tasaamalla verkon osien potentiaalieroja. Jokaiselle vaiheelle on oma sulake, ja ne on mitoitettu kestäämään verkon kuormitusvirran, mutta vikatilanteessa ne toimivat riittävän nopeasti ja erottavat viallisen osuuden virtapiiristä. Jakeluverkossa verkon syöttö muuntamolta liittymän pääkeskuskelle on vian sattuessa poiskytkettävä viidessä sekunnissa. Liittymän sisäisen verkon sähkölaitteita ja käyttäjiä suojaavat rakennuksen omat pääsulakkeet. (Lakervi & Partanen 2009, 163, 199.)

Kahvasulake toimii siten, että sen sisällä oleva metallilanka sulaa liian suuren virran vaikutuksesta. Tämä katkaisee virtapiirin ja estää virran kulun. Sulakkeet voivat toimia sekä ylikuormitus- että oikosulkusuojana, mutta ylikuormitussuojana ne on mitoitettava tarkasti, jotta ne reagoivat riittävän nopeasti myös pieniin ylikuormiin. (Ahoranta 2014, 116.)

## 2.4.2 Keskijänniteverkon suojaus

Keskijänniteverkon suojauksella pyritään estämään vikatilanteissa aiheutuneet vauriot johtimille ja verkon komponenteille sekä pitämään verkko turvallisena ja jakeluvarmuus korkeana (Lakervi & Partanen 2009, 176–177). Vikatilanteita keskijänniteverkossa ovat esimerkiksi johdinkatkokset, ylikuormitus, salamanisku sekä oiko- ja maasulut. Oikosulussa kaksi tai kolme vaihejohdinta yhdistyy toisiinsa ja aiheuttaa epähalutun kytkennän. Maasulussa taas vaihejohdin yhdistyy maapotentiaalin kanssa. On myös mahdollista, että syntyy häiriö, jossa on sekä oiko- että maasulku samaan aikaan, jolloin syntyy maaosulku. (Elovaara & Haarla 2011, 339–342.)

Keskijänniteverkon suojaus koostuu mittamuuntajista, suojareleista sekä katkaisijoista. Mittamuuntajien on tarkoitus muuttaa verkosta tulevat jännitteet ja virrat suojareleelle sopivaan tasoon, ettei rele vaurioituisi mittaustilanteessa. Suojarele mittaa mittamuuntajalta jännitettä ja virtaa. Kun jännite tai virta ylittää releen raja-arvon, rele antaa käskyn, joka aukaisee virtapiirin katkaisijan. Katkaisijat sijaitsevat yleensä sähköasemilla ja niiden tehtävänä on katkaista virtapiiri vikatilanteessa. (Elovaara & Haarla 2011, 162–163, 198–199, 335, 344.)

Relesuojaus on selektiivinen, nopea, herkkä sekä käyttö- ja toimintavarma. Selektiivisyydellä tarkoitetaan, että vain vikaantunut verkonosa kytketään irti virtapiiristä ja muu ehjä verkko pysyy normaalissa käytössä. Selektiivisyys on toteutettu mitoittamalla verkossa olevat releet siten, että lähimpänä vika-kohtaa oleva rele toimii nopeiten. Näin muualla ehjässä verkossa ei tapahdu katkoksia. Nopealla suojauksella on keskeinen rooli sähköverkon turvallisuuden kannalta, sillä mitä nopeammin vikaantunut verkonosa kytketään irti virtapiiristä, sitä pienemmät vikavirran aiheuttamat vauriot ovat verkon komponenteille ja ihmisille. Herkkyydellä puolestaan tarkoitetaan, että suojaus toimii, vaikka vikatilanteessa vikavirrat olisivat pieniä. Käyttövarmuus viittaa siihen, miten varmasti suojaus toimii vikatilanteen sattuessa. Toimintavarmuus taas tarkoittaa suojauksen toimivuutta, esimerkiksi sitä, lähettääkö rele laukaisuherätteen, vaikka verkossa olisi kaikki kunnossa. (Elovaara & Haarla 2011, 342–344.)

### 3 KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUKSET

Käyttöönottotarkastukset ovat tärkeä osa sähköjärjestelmien asennusprosessia, sillä niiden avulla varmistetaan sähköverkon turvallisuus, luotettavuus ja oikeanlainen toiminta ennen verkon käyttöönottoa (SFS 6000-6.6.4). Tässä luvussa käsitellään käyttöönottotarkastuksia koskevat keskeisimmät lait, asetukset ja standardit sekä työmenetelmät jännitteettömänä tehtävissä tarkastuksissa ja jännitetyönä tehtävissä tarkastuksissa.

#### 3.1 Lait, asetukset ja standardit

Suomessa valvotaan systemaattisesti sähköjärjestelmien turvallisuutta ja asetetaan sähköjärjestelmien ja -laitteiden toimintaa koskevia turvallisuuskriteerejä lakien, standardien sekä yleispätevien ohjeistusten avulla (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2022, 1). Näin myös sähköverkon käyttöönottotarkastuksiin on luotu monia määräyksiä, standardeja ja ohjeita. Tässä kappaleessa käydään läpi niistä yleisempiä sekä keskeisimpiä käsitteitä.

Sähkölaitteiden ja -laitteistojen käyttöönottotarkastusten vaatimukset on esitetty sähköturvallisuuslaissa (1135/2016). Lakia täydentävät vaatimukset on laadittu Valtioneuvoston asetuksessa sähkölaitteistoista (1434/2016) sekä standardissa SFS 6000-6 Tarkastukset-osiossa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2022, 1).

Sähköturvallisuuslain (1135/2016) mukaisesti sähkölaitteisto voidaan ottaa käyttöön vasta, kun käyttöönottotarkastuksessa on riittävällä laajuudella selvitetty, ettei siitä aiheudu vaaraa tai häiriötä. Käyttöönottotarkastus on tehtävä lain mukaisesti myös sähkölaitteiston muutos- ja laajennustöille. Sähkölaitteiston rakentaja on vastuussa sähkölaitteiston käyttöönottotarkastuksesta. Jos rakentaja laiminlyö velvollisuutensa tai on estynyt huolehtimaan niistä, on sähkölaitteiston haltija vastuussa käyttöönottotarkastuksen suorittamisesta (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 2016).

Lisäksi sähköturvallisuuslaissa määritetään, että sähkölaitteiston rakentajan tulee laatia käyttöönottotarkastuksesta sähkölaitteiston haltijan käyttöön tarkastuspöytäkirja vähäisiksi katsottavia töitä lukuun ottamatta. Myös näissä tapauksissa on sähkölaitteiston testausten tulokset kuitenkin tarvittaessa luovutettava laitteiston haltijalle (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 2016).

Sähköalaa koskevat standardit, joihin tässäkin opinnäytetyössä usein viitataan, sisältävät selkeitä vaatimuksia, suosituksia ja ohjeita (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2022, 1). Alla on nostettu esiin esimerkkejä sähkötyötä ja käyttöönottotarkastuksia koskevista keskeisistä standardeista.

*”Mittaus- ja tarkastuslaitteet ja menetelmät on valittava SFS-EN 61557-standardisarjan asianomaisen osan mukaisesti. Jos käytetään muita mittalaitteita, niiden ominaisuudet ja turvallisuustaso eivät saa olla huonompia”*(SFS 6000-6.6.4.3.1).

*”Työtä tekevien henkilöiden pitää olla riittävästi opastettuja tai ammattitaitoisia eli toisin sanoen heidän pitää olla päteviä kyseiseen työhön. Työtä tekevillä henkilöillä pitää olla käytettävissään sopivia työkaluja, mittaus- ja testauslaitteita ja henkilösuojaimia, jotka on pidettävä hyvässä kunnossa ”* (SFS 6002.7.3.3).

*”Maadoitusjärjestelmän, sen komponenttien ja potentiaalintasausjohtimien on kyettävä jakamaan ja purkamaan vikavirta ylittämättä varasuojauksen toiminta-aikaan perustuvia termisiä ja mekaanisia suunnitteluraja-arvoja.*

*Maadoitusjärjestelmän on pysyttävä toimintakuntoisena koko asennuksen odotettavissa olevan eliniän. Korroosion ja mekaanisten rasitusten vaikutukset tulee riittävässä määrin ottaa huomioon.*

*Maadoitusjärjestelmän tulee olla riittävän suorituskykyinen estämään laiteviat, jotka aiheutuvat maadoitusjännitteen noususta, maadoitusjärjestelmässä esiintyvistä potentiaalieroista ja suurista hajavirroista osissa, joita ei ole tarkoitettu vikavirran kulkuteiksi.*

*Maadoitusjärjestelmä tulee suunnitella siten, että suojarleiden ja katkaisijoiden normaalien toiminta-aikoina askel- ja kosketusjännitteet sekä siirtyvät potentiaalit pysyvät sallituissa jänniterajoissa.” (SFS 6001.10.2.2.).*

Sähköalan standardeja noudattamalla täytetään viranomaismääräysten vaatimukset. SFS-standardeja on kokonaisuudessaan useita kymmeniä, ja kaikkien sähkötyötä tekevien olisi tärkeää tuntea niiden sisällöt turvallisen toiminnan takaamiseksi. Standardeista on koottu myös standardikäsi kirja. Myös lukuisat muut sähköalaa koskevat viranomaissäädökset ja ohjeet on koottu SETI Oy:n *Sähköalan säännökset* -teokseen (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2022, 1).

### 3.2 Työmenetelmät

Sähköverkon käyttöönottomittaukset ovat monivaiheisia prosesseja, joilla varmistetaan verkon turvallisuus ja toimivuus ennen sen käyttöönottoa. Menetelmät, kuten visuaalinen tarkastus, toimintatarkistukset (tai toiminnalliset testaukset) sekä mittaukset, ovat kaikki välttämättömiä osia tässä prosessissa. Huolellinen dokumentointi ja tiukat turvallisuuskäytännöt varmistavat, että verkko on valmis turvalliseen ja luotettavaan käyttöön. (Head Power Oy, julkaisuaika tuntematon.)

Visuaalinen tarkastus on käyttöönottotarkastuksen ensimmäinen vaihe, jonka tarkoituksena on silmä-määräisesti tarkistaa kaikki sähköasennuksen osat. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi kaapelien, johtimien, kytkentöjen ja suojalaitteiden tarkastusta. Visuaalisella tarkastuksella varmistetaan, että kaikki osat on asennettu oikein ja ovat hyvässä kunnossa ilman näkyviä vaurioita tai virheitä. Visuaalista tarkastusta tulee tehdä koko sähkölaitteiston asennuksen ajan. (Head Power Oy, julkaisuaika tuntematon.)

Sähkölaitteet pitävät sisällään toiminnallisia komponentteja, joita käytetään laitteiston käyttötoiminnassa. Toiminnallisten laitteiston osien toimivuus täytyy tarkastaa toimintatestein, jotta laitteen turvallinen käyttö on varmaa. Toiminnallisia laitteiston osia ovat muun muassa käyttö-, ohjaus- ja lukituslaitteet sekä keskukset. Jos laitteistoon kuuluu vikavirtasuojia, täytyy tässä yhteydessä myös vikavirtasuojaan sisältyvän testilaitteen toiminta varmistaa. (Head Power Oy, julkaisuaika tuntematon.) Toiminnallisia testauksia ovat muun muassa maasulkutestaus ja oikosulkutestaus 1 kV:n jakeluverkossa.

Sähkölaitteiston asennusten varmistaminen mittaamalla on tehtävä käyttäen SFS 600-6 mainittuja referenssimenetelmiä. Sähkönjakeluverkkoon kuuluvia mittauksia ovat esimerkiksi:

- oikosulkuvirran ja silmukkaimpedanssin mittaus
- eristysvastusmittaukset
- jännitteen mittaus
- virtamittaus
- maasulku- ja oikosulkumittaus 1 kV:n jakeluverkossa
- vaipaneheysmittaus
- jatkuvuusmittaus
- käännepistemittaus
- maan ominaisresistanssimittaus

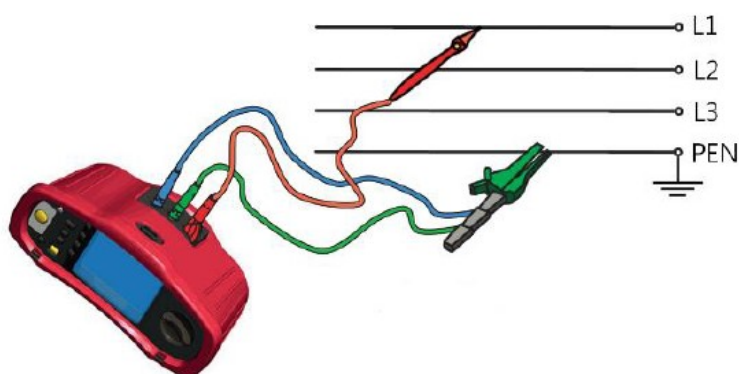
Luvussa 4 käsitellään tarkemmin opinnäytetyön toimeksiantajalle tehtyyn mittausoppaaseen toiveiden mukaisesti valitut mittausmenetelmät asentajan näkökulmasta.

## 4 MITTAUSMENETELMÄT

Opinnäytetyössä käsitellään toimeksiantajan toivomat mittaukset, joiden perusteella mittausopas on koostettu. Jakeluverkkojen 0,4 kV:n osalta oppaassa on mittausohjeet oikosulkuvirran, jatkuvuuden, eristysvastuksen ja jännitteen sekä pyörimissuunnan mittaamiseen. Jakeluverkon 20 kV:n osalta mittausohjeet on koottu eri yhteyksissä käytetyille eristysvastus-, vaipaneheys- sekä maadoitusmittauksille. Mittausoppaassa on myös lyhyesti esitetty mittausten käyttöaiheet ja niitä tehdessä huomioitavat asiat.

### 4.1 Oikosulkuvirran mittaus pienjänniteverkossa

Oikosulkuvirtamittauksella varmistetaan sähköasennuksen sulakesuojauksen toimivuus vikatilanteessa. Jakeluverkon vikaantuessa sähkön syöttö on kytkettävä automaattisesti pois päältä, jotta ehkäistään vaarallisten kosketusjännitteiden syntyminen sekä ehkäistään verkon ja ympäristön vauriot. (Head Power Oy julkaisuaika tuntematon.) Alla olevassa kuvassa (KUVA 7) on esimerkki oikosulkuvirran mittauksesta.



KUVA 7. Oikosulkuvirranmittaus (Muokattu lähteestä: Amprobe Test Tools 2013).

Liittymän pääsulakkeiden perässä oleva liittymän sisäisen verkon syöttö on poiskytkettävä viidessä sekunnissa sekä enintään 32A ryhmäjohtoilla 0,4 sekunnissa. Suojaus suunnitellaan ensisijaisesti liittymän sisäisillä suojauslaitteilla, mutta jakeluverkon on mahdollistettava riittävä yksivaiheinen oikosulkuvirta, jotta suojaus on mahdollista toteuttaa. (SFS 6000-8.801.411.3.2.) Alla esitetään suositeltavat pienimmät oikosulkuvirrat sähköliittymällä (KUVA 8).

Taulukko 5. Suositeltava minimi oikosulkuvirta sähköliittymällä

Sähköliittymän pääsulakkeen arvo	Jakeluverkon oikosulkuvirran minimiarvo ( $I_k$ ) liittymän pääsulakkeella (A)	
	Asemakaavoitetulla taajama-alueella	Muualla taajama- sekä haja-asutusalueella
16 A	200	200
25 A	250	250
35 A	250	250
50 A	320	250
63 A	425	320
80 A	580	425
100 A	715	580
125 A	950	715
160 A	1250	950
200 A	1650	1250
250 A	2200	1650
315 A	2840	2200

KUVA 8. Suositeltava minimioikosulkuvirta sähköliittymältä (SA 4:09, 15).

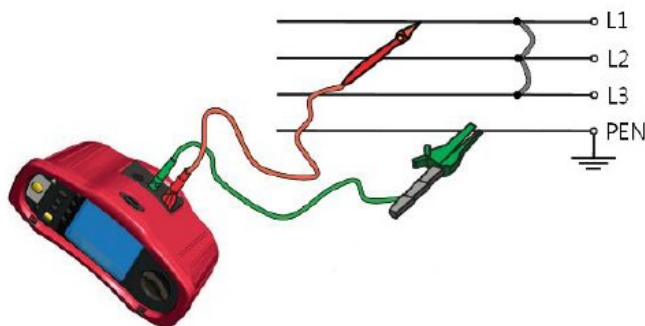
Ylivirtasuoja	Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta jakeluverkossa
gG-tyyppin sulake $I_N \leq 63$ A	$2,5 \times I_N$
gG-tyyppin sulake $I_N > 63$ A	$3,0 \times I_N$

KUVA 9. Ylivirtasuojan pienin oikosulkuvirta jakeluverkossa (SFS 6000-8.801.1).

Jakeluverkossa muuntamolta liittymän pääkeskukselle on vian sattuessa poiskytkettävä verkon syöttö viidessä sekunnissa. Jos jakeluverkon luonteesta ja sijoituksesta johtuen viiden sekunnin poiskytkentää ei saada toteutettua, voidaan verkon haltijan harkinnan mukaan hyväksyä pidemmät poiskytkentäajat alla olevan taulukon (KUVA 9) mukaisesti. Tällöin liittymiä koskevien vaatimusten on kuitenkin toteuduttava. (SFS 6000-8.411.3.2)

#### 4.2 Eristysresistanssimittaus pienjänniteverkossa

Eristysresistanssimittauksella pienjänniteverkossa varmistetaan, että jännitteiset osat ovat riittävästi eristettyjä maadoitusjärjestelmästä. Eristysresistanssi mitataan kaikkien vaihejohtimien ja maadoitusjärjestelmään kytkettyjen suojajohtimien väliltä. Mittaus suoritetaan jännitteettömässä asennuksessa ennen laitteiston käyttöönottoa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2022, 346.) Alla olevassa kuvassa (KUVA 10) on esimerkki eristysvastusmittauksesta pienjänniteverkossa.



KUVA 10. Eristysvastusmittaus pienjänniteverkossa (Muokattu lähteestä: Amprobe Test Tools 2013).

Ennen eristysresistanssin mittauksen suorittamista on hyvä tehdä kulutuskojeiden, kuten ylijännitesuojien tai muiden laitteiden erottaminen mitattavasta verkosta. Laitteet voivat vaikuttaa mittaustulokseen, tai ne voivat rikkoutua testin aikana. Siksi mittaus tehdään kaapeleiden ollessa kytkettyinä irti sähkölaitteesta (SFS 6000-6.6.1.)

Virtapiirin jännitejärjestelmä tai nimellisjännite	Koejännite (tasajännite) V	Eristysresistanssin minimiarvo MΩ
SELV ja PELV	250	0,5
Enintään 500 V FELV mukaan luettuna	500	1,0
Yli 500 V	1 000	1,0

KUVA 11. Eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot (SFS 6000-6.6.1).

Yllä olevassa taulukossa (KUVA 11) on esitetty eristysmittauksen pienimmät sallitut arvot kaapelityyppejä ja mittausjännitettä kohden. Eristysresistanssit sähköverkossa ovat yleensä paljon suurempia kuin taulukossa esitetyt. Jos eri piirien mitatuissa arvoissa näkyy huomattavia poikkeamia, on tarpeen tehdä tarkastukset asennuksille syiden selvittämiseksi (SFS 6000-6.6.1).

#### 4.3 Suojajohtimen eheys- ja jatkuvuusmittaus

Suojajohtimen jatkuvuusmittauksella varmistetaan, että PEN-johdin, maadoitus ja potentiaalintasausjohdinpiirit ovat jatkuvia koko asennuksen matkalta. Suojajohtimen jatkuvuusmittaus on resistanssimittaus, ja sen voi suorittaa esimerkiksi kytkentävaiheessa käyttämällä työmaadoitettuja vaihejohtimia apujohtoina. Suojajohtimen jatkuvuusmittaus tehdään jännitteettömässä asennuksessa nolla- ja suojajohdinpiiri erotettuna ja vähintään 200 mA virralla. (Head Power Oy julkaisuaika tuntematon.)

Keskijänniteverkossa yhteen liitettyjen maadoitusjärjestelmien sekä laajan maadoitusjärjestelmän yhdysjohtimien eheys ja jatkuvuus on varmistettava resistanssimittauksella. Laajassa maadoitusjärjestelmässä vaatimusten täyttymisen toteamiseksi tehdään resistanssimittauksen lisäksi yleensä myös maan ominaisresistanssimittaus, jonka perusteella voidaan laskea maadoitusvastus. (Head Power Oy julkaisuaika tuntematon.)

Hyväksytylle mittaustulokselle ei ole tarkkaa raja-arvoa. Mittauksessa olennaisinta on, että jokainen suojajohdinyhteys mitataan. Resistanssiarvo voi olla enintään yksi ohmia, mutta jos suojajohtimet ovat pitkiä, voivat arvot olla suurempia. Jos mitatut arvot poikkeavat merkittävästi toisistaan, on syytä tarkastaa liitoskohtien hyvä kontakti. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2022, 343.)

Pienjänniteverkossa suoja- eli PEN- johtimen jatkuvuus todetaan oikosulkuvirtamittauksella. Jos mitattu oikosulkuvirta riittää vaadittuun syötön automaattiseen poiskytkentään, on suojajohdin mitattavalla väliltä silloin jatkuva. Huono liitos tai vika suojajohtimessa kasvattaa vikapiirin resistanssia, mikä pienentää oikosulkuvirtaa. (Head Power Oy julkaisuaika tuntematon.)

Alla olevassa SFS 6000 osan 6 liitteen 6A taulukossa (KUVA 12) on esitetty kuparijohtimen karkea arviointi resistanssista pituusyksikköä kohden. Taulukkoa ei voi suoraan käyttää resistanssiarvojen ja johdinpituuksien tulon vertailuun, mutta taulukosta näkee suuntaa antavan suuruusluokan, jossa arvojen tulisi olla.

Nimellinen poikkipinta-ala $S$ $\text{mm}^2$	Tyypillinen resistanssi $R$ lämpötilassa $30\text{ }^\circ\text{C}$ $\text{m}\Omega/\text{m}$
1,5	12,5755
2,5	7,5661
4	4,7392
6	3,1491
10	1,8811
16	1,1858
25	0,7525
35	0,5467
50	0,4043
70	0,2817
95	0,2047
120	0,1632
150	0,1341
185	0,1091

Johtimien tyypilliset resistanssiarvot on annettu  $30\text{ }^\circ\text{C}$  lämpötilassa. Muissa lämpötiloissa  $\theta$  johtimien resistanssi  $R_\theta$  voidaan laskea käyttäen seuraavaa kaavaa

$$R_\theta = R_{30^\circ\text{C}} [1 + \alpha(\theta - 30^\circ\text{C})]$$

jossa  $\alpha$  on lämpötilakerroin (kuparille  $\alpha = 0,003\ 93\ \text{K}^{-1}$ )

KUVA 12. Kuparijohtimen resistanssi  $R$  nimellisen poikkipinta-alan  $S$  mukaan  $30^\circ\text{C}$  lämpötilassa johdinresistanssien karkeaa arviointia avarten (SFS 6000-6.6A.1).

#### 4.4 Jännitteen ja pyörimissuunnan mittaus pienjänniteverkossa

Jännitemittauksella todetaan mitattavan sähkölaitteiston jännitetaso ja napaisuus. Mittaus suoritetaan koekäyttöön otetussa jännitteisessä sähkölaitteistossa. Jännitteet mitataan verkonhaltijan tai tilaajan kanssa sovitua pisteistä. Mittaus suoritetaan kaikkien vaiheiden väliltä sekä vaiheiden ja PEN-johtimen väliltä. (Head Power Oy, julkaisuaika tuntematon.)

Seuraavan kuvan taulukossa on annettu suosituksia jännitealueista ja jännitteenalenemistä pienjänniteverkossa (KUVA 13).

Osaverkko	Jännitteen vaihtelualue		Jännitteenalenema		
	Minimi	Maksimi	Korkea laatu	Normaali laatu	Standardi laatu
Keskijänniteverkko	19 kV	22 kV	$\pm 4$ %	$\pm 10$ %	95 % $\pm 10$ %
Plenjännitejakelu Muuntamo <sup>1)</sup>	196 V 220V	253 V 253V	$\pm 4$ %	$\pm 10$ % 1-2 %	+10 -15 % 2-4 %
Plenjänniterunkoverkko	210V	253V		3-5 %	3-7 %
Littymisjohto <sup>2)</sup>	207V	253V		1-3 %	1-5 %
Sisäjohtoverkko	198V	253V			1-4 %

KUVA 13. Suositukset jännitteen vaihtelualueelle ja alenemalle (SA 2:08, 29).

Jännitetason lisäksi kaikista kolmivaiheisista piireistä täytyy tarkistaa myös vaihejärjestys. Väärä vaihejärjestys aiheuttaa esimerkiksi laiterikkoja sekä sähkömoottoreiden pyörimistä väärään suuntaan. Vaikka keskijännitepuolen vaiheellisuus olisikin todettu oikeaksi, voi olla, että muuntajan KJ- tai PJ-päätteet on kytketty väärässä järjestyksessä. Tämän vuoksi pienjännitepuolen vaihejärjestys eli pyörimissuunta tulee aina varmistaa. Pyörimissuunnan mittaus suoritetaan samoista pisteistä kuin jännitemittauksetkin. (Head Power Oy, julkaisuaika tuntematon.)

#### 4.5 Eristysresistanssimittaus keskijänniteverkossa

Eristysvastusmittaus keskijänniteverkossa suoritetaan kaapelin vaihejohtimien sekä vaihejohtimien ja maan väliltä. Eristysresistanssimittauksella varmistetaan kaapelin asennuksen sekä siihen mahdollisesti kuuluvien jatkosten ja päätteiden eristyksen kunto. Mittauksen on siis tarkoitus varmistaa, ettei kaapelin eristyksissä ole vuotoja, rikkoja tai muita vaurioita. (Head Power Oy, julkaisuaika tuntematon.)

Standardeissa ei kuitenkaan edellytetä keskijännitekaapeleiden eristysresistanssin mittausta, eikä siten ole annettu raja-arvoja tälle mittaukselle. Mittaus tulee tehdä, jos tilaaja tai valmistaja niin vaatii. Keskijännitekaapeleiden eristysresistanssi voidaan mitata ennen kaapelin kytkemistä jännitteelliseksi. Yleensä mittaukseen käytetään eristysvastusmittaria, joka tuottaa riittävän koejännitteen. (Head Power Oy julkaisuaika tuntematon.) Alla olevassa kuvassa (KUVA 14) on esimerkki eristysvastusmittauksesta keskijänniteverkossa.



KUVA 14. Eristysvastusmittaus (Muokattu lähteestä: Finnparttia, Sähkötukku, julkaisuaika tuntematon).

Mittauksessa kaapeliin johdetaan 5 kV tasajännite ja mitataan piirin virta. Mittari laskee resistanssin arvon ohmin lain mukaisesti. IEEE-standardi suosittelee sähkölaitteistojen eristysresistanssille vähimmäisarvoksi  $n+1 \text{ M}\Omega$ , missä  $n$  on asennuksen jännitetaso. Tämä tarkoittaa, että suurjänniteasennusten tapauksessa vähimmäisarvo on  $1 \text{ M}\Omega$  per kV, joka on  $20 \text{ M}\Omega$  keskijänniteverkossa. Tämä on kuitenkin nyrkkisääntö, jossa ei huomioida esimerkiksi kaapelien pituutta. (Head Power Oy, julkaisuaika tuntematon.)

#### 4.6 Vaipaneheysmittaus keskijänniteverkossa

Vaipaneheysmittauksella todetaan keskijännitekaapelin jokaisen vaiheen kosketussuojavaipan ja maapotentiaalin välinen eristysvastus. Mittauksella varmistetaan asennuksen laatu ja ennaltaehkäistään käytönaikaisia ongelmia. (Head Power Oy, julkaisuaika tuntematon.)

Kaapelin ulkovaippa altistuu asennuksen aikana erilaisille mekaanisille rasituksille johtuen asennustavasta ja ympäristöstä. Nämä rasitukset voivat vahingoittaa kaapelivaippaa. Pienetkin vauriot voivat altistaa kaapelin vesipuille, jotka ajan myötä vahingoittavat kaapelia. Käytön aikana kaapeliin kohdistuu myös sähköisiä ja mekaanisia rasituksia, jotka lisäävät vaurion syntymisen riskiä. (Head Power Oy, julkaisuaika tuntematon.)

Kun PEX-eristeisessä kaapelissa mittaustulos on yli  $500 \text{ M}\Omega$ , on kaapelin vaippa ehjä. Jos mittaustulos jää  $5\text{--}500 \text{ M}\Omega$  väliin, on kaapelissa mahdollisesti vaippavika. Jos mittaustulos on alle  $5 \text{ M}\Omega$ , kaapelissa on vaippavika ja vika on korjattava. (Head Power Oy, julkaisuaika tuntematon.) Alla olevassa kuvassa (KUVA 15) on esimerkki vaipaneheysmittauksesta.



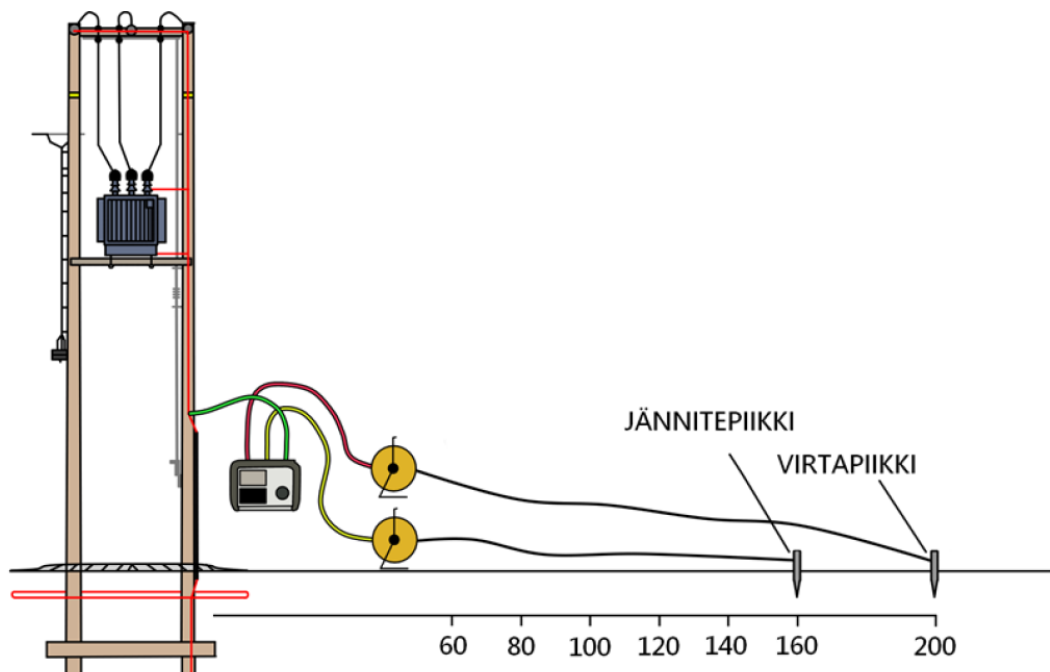
KUVA 15. Vaipaneheysmittaus (Muokattu lähteestä: Finnparttia, Sähkötukku, julkaisuaika tuntematon).

Standardit eivät sisällä erillisiä vaatimuksia vaipaneheysmittaukselle. Vaipaneheysmittausta pidetään kuitenkin asennustyön laadun varmistamisen keinona, ja siksi se on usein vaadittu standardissa mainittujen käyttöönottomittausten lisäksi. Hyväksyttävä mittaustulos vaipaneheysmittaukselle voi vaihdella sähköverkkoyhtiökohtaisesti.

#### 4.7 Maadoitusmittaus

Maadoitusjärjestelmät jakeluverkossa suunnitellaan ja rakennetaan voimassa olevien standardien ja ohjeiden mukaisesti. Maadoitusmittauksilla varmistaa, että suunnitellut maadoitusarvot täyttyvät myös käytännössä. Sähköverkon kunnossapidon näkökulmasta maadoitusmittauksia uusimalla nähdään, onko maadoituksissa tapahtunut muutoksia esim. maadoituselektrodin katketessa tai verkon rakenteen muuttuessa. (Järvi-Suomen Energia Oy 2023, 4.)

Maadoitusmittauksessa pyritään selvittämään maadoitusjärjestelmän kokonaisimpedanssi tai resistanssi arvo maahan, jolla kuvataan maadoituksen hyvyyttä. Tämä auttaa varmistamaan, että järjestelmä täyttää turvallisuus- ja toimivuuskriteerit. Mittauksella varmistetaan käyttöönotettavan maadoitusjärjestelmän toimivuus sekä havaitaan mahdolliset puutteet. (Head Power Oy, julkaisuaika tuntematon.) Alla olevalla kuvassa (KUVA 16) on esimerkki maadoitusmittauksesta käännepistemenetelmällä.



KUVA 16. Maadoitusmittaus käänne pistemenetelmällä (Muokattu lähteestä: Head Power Oy, julkaisu-aika tuntematon).

Käyttöön otettavan muuntopiirin maadoitusimpedanssin tulee täyttää SFS 6001 -standardin lukujen 10.1–10,5 vaatimukset. Maadoitusimpedanssin sallittu arvo määräytyy maasulkuvirran suuruuden, vian kestoajan raja-arvon sekä maadoitusjännitteen mukaan (SFS 6001.10).

Uusien jakelumuuntamoiden tai erotinasemien maadoitusten vaatimusten täytyminen voidaan varmistaa mittaamalla maadoitusvastus käänne pistemenetelmällä. Jos mittaus ei ole esimerkiksi roudan takia mahdollista ennen käyttöönottoa, se tulee suorittaa viimeistään vuoden kuluessa käyttöönotosta. (SFS 6001, 127.)

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Sähkönjakeluverkkojen toimintavarmuus ja turvallisuus ovat tärkeä osa modernin yhteiskunnan infrastruktuuria, ja jatkuva sähkönsaanti on nykyisin jopa perusedellytys. Tämä korostuu etenkin Suomessa, jossa pitkät välimatkat ja haastavat sääolosuhteet ovat arkipäivää. Toimintavarmuudella viitataan sähköverkon kykyyn toimia keskeytyksettä ja ilman häiriöitä. Esimerkiksi sähkömarkkinalaki (588/2013) edellyttää sähkönjakelun olevan mutkatonta tasavertaisesti kaikkialla Suomessa. Kotitalouksissa edellytetään katkeamatonta sähkönjakelua, mutta se on erityisen tärkeää myös kriittisissä toiminnoissa, kuten terveydenhuollossa ja teollisuudessa, joiden toiminta on riippuvaista jatkuvasta sähkönsaannista. Myös jakeluverkkojen turvallisuus on toimintavarmuuden ohella merkittävää. Turvallisella toiminnalla varmistetaan, ettei sähkön käyttäminen aiheuta vaaraa ihmisille, laitteille tai ympäristölle. Suomessa tiukat lait, standardit ja asetukset ohjaavat ja varmistavat turvallisen toiminnan toteutumista.

Toimintavarmuuden ja turvallisuuden takaamisessa tärkeässä roolissa ovat huolellisesti tehdyt käyttöönottotarkastukset ja sähkölaitteistoa koskevat mittaukset. Kun mittaukset suoritetaan standardoidusti ja järjestelmällisesti kaikkien toimijoiden osalta, voidaan niillä ehkäistä vahinkoja ja varmistaa sähköverkkojen pitkäikäisyys. Nämä puolestaan tukevat laajassa kuvassa koko yhteiskunnan taloudellista ja toiminnallista kestävyyttä.

Johtopäätöksenä voidaan siis todeta, että käyttöönottotarkastukset ja monipuoliset mittausten menetelmät ovat ensiarvoisen tärkeitä sähkönjakeluverkkojen toimintavarmuuden ja turvallisuuden ylläpitämisessä. Selkeillä ja helposti saatavilla olevilla yrityskohtaisilla mittaushjeilla voidaan varmistaa tarkastusten ja mittausten toteutuminen järjestelmällisesti ja tarkoituksenmukaisesti. Kaikkia yrityksiä tulisi koskea samat ohjeet mittausten suorittamiseen, ja yrityksen mittaushjeiden olemassaoloa ja saatavuutta tulisi myös valvoa säännöllisesti.

### 5.1 Eettisyys ja luotettavuus opinnäytetyöprosessissa

Koko opinnäytetyöprosessin ajan on pyritty noudattamaan hyvää tieteellistä käytäntöä. Keskeisiä hyvän tieteellisen käytännön periaatteita ovat luotettavuus, rehellisyys ja huolellisuus, ja vastaavasti sen vastaista toimintaa ovat vilppi ja piittaamattomuus (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2023, 11, 16).

Opinnäytetyötä tehdessä on sovittava myös yhteistyökumppaneiden kanssa työn tavoitteista, ja näin toimittiinkin heti työtä aloitettaessa. Opinnäytetyön tilaaja asetti työlle selkeäksi tavoitteeksi mittausoppaan valmistelun. Yhteistyötä käynnistäessä tulisi tieteellisen käytännön mukaan sopia myös eettisyyden toteutumisesta (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2023, 14) sekä esimerkiksi valmiin työn tuotoksena valmistuvan mittausoppaan käyttö- ja muokkaus-oikeuksista. Vaikka eettisiin periaatteisiin perehdytään työn alkuvaiheessa, on mahdollista, että kokemattomuus tulee vaikuttamaan eettisyyden toteutumiseen, koska uusia käytäntöjä on opittavana paljon. Toisaalta tietämättömyys johtuu siitä, että asioista ei ole otettu riittävästi selvää, ja tällöin se on hyvän tieteellisen käytännön vastaista toimintaa (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2023, 15). Koko opinnäytetyöprosessin aikana on pyritty toimimaan eettisten periaatteiden mukaisesti.

Opinnäytetyön tiedonhaku on kohdistunut luotettaviin lähteisiin, ja aineistona on pyritty käyttämään opinnäytetyön aiheen kannalta relevantteja lähteitä. Valmis teksti on kirjoitettu omin sanoin, asianmukaisesti lähteisiin viitaten. Tekstiviitteissä ja lähdemerkinnöissä on noudatettu Savonia ammattikorkeakoulun raportointiohjeita. Hyvän tieteellisen käytännön vastainen toiminta, esimerkiksi plagiointi, on puolestaan lainvastaista ja rikkoo tieteellisiä perusperiaatteita (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2023, 15). Mikäli opinnäytetyössä käytetään vieraskielisiä lähteitä, voi niiden tulkinta kuitenkin jäädä puutteelliseksi tai olla virheellistä heikon kielitaidon takia, mikä heikentäisi työn luotettavuutta. Tästä syystä työssä on painotettu kotimaisia lähteitä. Erityisesti eettisyyden toteutumisessa opinnäytetyötä ohjaava opettaja on ollut merkittävässä roolissa.

## 5.2 Opinnäytetyöprosessi

Opinnäytetyöprosessi oli kokonaisuudessaan haastava ja vaati runsaasti uuden oppimista. Haasteena oli alkuun aiheen riittävä rajaus, mutta tähän löytyi lopulta hyvä linjaus. Mittausoppaan laatiminen oli monivaiheinen prosessi, ja sitä tehdessä oli vaikea arvioida, kuinka kauan sille tulisi varata aikaa. Tekstin kirjoittaminen monipuolisesti eri lähteitä hyödyntäen osoittautui henkilökohtaisesti haasteellisimmaksi osaksi työn tekemistä. Prosessi kesti kokonaisuudessaan noin puoli vuotta, mikä tuntui pitkältä, mutta oli lopulta hyvä ratkaisu, sillä työn kokonaisuus ehti muotoutua vaihe vaiheelta ja lähdemateriaalia ehti hakea jatkuvasti lisää. Opinnäytetyöprosessin aikana saatu palaute ja parannusehdotukset sekä ohjaavalta opettajalta että työn tilaajalta otettiin huomioon. Kokonaisuudessaan prosessi oli opettavainen ja lopputuotoksena laadittu mittausoppas sekä kirjallinen raportti vastaavat alussa asetettuja tavoitteita.

## LÄHTEET

- Ahoranta, Jukka 2014. Sähköasennustekniikka. 11.–12. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Amprobe Test Tools 2013. Viitattu 24.7.2024. <https://www.amprobe.com/>.
- Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa 2011. Sähköverkot II: Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatietao Helsinki University Press.
- Energiateollisuus ry. Verkostosuositus SA 2:08 Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen. Adato Energia Oy. Viitattu 25.5.2024.
- Energiateollisuus ry. Verkostosuositus SA 4:09 Kaapeloitujen pj-liittymisjohtojen mitoitus ja suojaus. Adato Energia Oy. Viitattu 25.5.2024.
- Eronen, Anni 2023. Sähkönjakelun kehittämistrendit Suomessa – Katsaus sähkönjakeluverkon kehittämissuunnitelmiin. Sähkötekniikan kandidaatintyö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2023081797683>. Viitattu 30.7.2024.
- Finnparttia Sähkötukku. Julkaisuaika tuntematon. Viitattu 25.7.2024. <https://www.finnparttia.fi/KEW-3125>.
- Head Power Oy. Julkaisuaika tuntematon. IWI-ohjeistot. Verkkoaineisto. Viitattu 29.7.2024. <https://ohjeistot.headpower.fi/catalog/headpower>.
- Järvi-Suomen Energia Oy 2023. Käyttöönottomittaukset JSE:n verkossa. Pdf tiedosto. Julkaistu 27.11.2023. Viitattu 22.7.2024.
- Järvi-Suomen Energia Oy 2023. MAADOITUSMITTAUSOHJE. Pdf tiedosto. Julkaistu 27.11.2023. Viitattu 22.7.2024.
- Korpinen, Leena 2007. 3 Sähkön siirto- ja jakeluverkot. Verkkoaineisto. Viitattu 1.4.2024. [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/3sahkon\\_siirto\\_ja\\_jakeluverkot.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf).
- Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo 2009. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatietao Helsinki University Press.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 6000–1:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Peruseräatteen, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 6000–6:2022. Pienjännitesähköasennukset. Tarkastukset.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 6000–8–801:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 8–801: Täydentävät vaatimukset. Jakeluverkot.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 6001:2018. Suurjännitesähköasennukset.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 6002:2019. Sähkötyöturvallisuus.
- Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2022. (toim. Tiainen, E. 2022). D1-2022. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 29. uudistettu painos. Espoo: Sähköinfo Oy.
- Sähkömarkkinalaki 588/2013. 2013. Viitattu 22.7.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>.
- Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. 2016. Viitattu 26.6.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>.
- Tutkimuseettinen neuvottelukunta. 2023. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. Tutkimuseettisen neuvottelukunnan julkaisuja 2/2023. Viitattu 1.4.2024. <https://tenk.fi/fi/ajankoh-taista/htk-2023-ohje-julkaistu>.