



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

MAADOITUSMITTAUSTIETOJEN HALLINTA JA HYÖDYNTÄMINEN

Mikko Rautasalo

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

RAUTASALO, MIKKO:
Maadoitusmittaustietojen hallinta ja hyödyntäminen

Opinnäytetyö 51 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Toukokuu 2016

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, täyttääkö Turku Energia Sähköverkot Oy SFS 6001 -standardin uusitun painoksen vaatimukset keskijänniteverkon maadoitusjärjestelmien suunnittelun, dokumentoinnin ja vaarajännitelaskennan osalta. Työn tavoitteena oli poistaa eri järjestelmien päällekkäisyydet maadoitusmittaustietojen hallinnan ja hyödyntämisen osalta sekä korjata puutteita nykytilassa. Työssä tutkittiin ensin maadoitustapojen ja maasulkujen teoriaa sekä standardin vaatimuksia ja niiden täyttymistä Turku Energialla, minkä jälkeen kuvattiin Turku Energian maadoitusmittaustietojen hallinnan nykytila. Lopuksi työssä selvitettiin maadoitusmittaustietojen hallinnan mahdollisuudet verkkotietojärjestelmässä.

Työssä saatiin selville, että SFS 6001 -standardin vaatimukset maadoitusjärjestelmien suhteen ovat tiukentuneet merkittävästi. Työssä löydettiin puutteita Turku Energian maadoitusmittaustietojen hallinnan ja vaarajännitelaskennan nykytilassa ja nämä puutteet saatiin pääosin korjattua. Työssä tehdyn tutkimuksen perusteella eri järjestelmien välisistä päällekkäisyyksistä ei pystytä kokonaisuudessaan luopumaan ennen kuin verkkotietojärjestelmän maadoitusmittaustietojen tallennus- ja hallintamahdollisuuksia parannetaan. Vuoden 2016 maadoitusresistanssimittausten tulokset tullaan tallentamaan verkkotietojärjestelmään, jotta sen ominaisuuksia ja toimivuutta päästään kokeilemaan.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical engineering
Electric power engineering

RAUTASALO, MIKKO:
Management and Utilization of Grounding Measurement Information

Bachelor's thesis 51 pages, appendices 3 pages
May 2016

The purpose of this thesis was to find out if Turku Energia Sähköverkot Ltd fulfills the requirements of the SFS 6001 -standards newest edition concerning hazard voltage calculations and planning and documentation of ground systems. The goal of this study was to get rid of overlapping of different systems in management and utilization of grounding measurement information. First part of this thesis dealt with the theory of grounding methods and ground faults along with the requirements of the standard and their fulfillment at Turku Energia. This part was followed by describing the current state of Turku Energia's management and utilization of grounding measurement information. The last part of this thesis discusses the possibilities of management and utilization of grounding measurement information in network information system.

It was found out that the requirements of SFS 6001 -standard concerning ground systems have been significantly tightened. Shortages concerning Turku Energia's management of grounding measurement information and hazard voltage calculations were detected and fixed. It was also found out that Turku Energia cannot eliminate overlapping of different systems in management and utilization of grounding measurement information until saving- and management possibilities in network information system are improved. This year grounding measurement results are going to be saved in network information system so that its features and functionality can be tested.

Key words: ground fault, grounding measurement information, grounding method, ground system, hazard voltage calculation,

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	MAASULKU	8
2.1	Maasulku keskijänniteverkossa	8
2.1.1	Maasulkuvirta maasta erotetussa järjestelmässä	9
2.1.2	Maasulkuvirta sammutetussa järjestelmässä.....	10
2.2	Maasulkuvirrat verkkotietojärjestelmässä	12
2.3	Maasulkuvirran kasvun huomioiminen	16
3	MAADOITUSJÄRJESTELMÄT JA VAATIMUKSET	17
3.1	Korroosionkestävyys ja mekaaninen lujuus	17
3.2	Terminen lujuus	18
3.3	Maadoitus-, kosketus- ja askeljännitteet.....	20
3.3.1	Maadoitusresistanssi ja -jännite	20
3.3.2	Kosketus- ja askeljännitteet	21
3.3.3	Siirtyvät jännitteet	23
3.4	Laaja maadoitusjärjestelmä.....	24
3.5	Paikallinen maadoitusjärjestelmä.....	25
4	MAADOITUSMITTAUKSET JA DOKUMENTOINTI	26
4.1	Maaperän resistiivisyydsmittaukset.....	26
4.2	Maadoitusresistanssin mittaus	27
4.2.1	Käänne pistemenetelmä	27
4.3	Kosketusjännitteiden mittaus	28
4.4	Laajan maadoitusjärjestelmän mittaukset	29
4.4.1	Uuden muuntamon liittyminen laajaan maadoitusjärjestelmään	29
4.4.2	Kuntotarkastus	29
4.5	Maadoitusjärjestelmien dokumentointi.....	30
5	MAADOITUSMITTAUSTIETOJEN HALLINNAN NYKYTILA.....	31
5.1	Access -tietokanta	31
5.1.1	Maasulkuvirrat	31
5.1.2	Maadoitusresistanssit	34
5.1.3	Laaja maadoitusjärjestelmä.....	39
6	MAADOITUSMITTAUSTIETOJEN HALLINNAN JA LASKENNAN MAHDOLLISUUDET VERKKOTIETOJÄRJESTELMÄSSÄ	40
6.1	Maadoitusmittauskäsittely verkkotietojärjestelmässä.....	40
6.2	Laajan maadoitusjärjestelmän dokumentointi	43
6.3	Verkkotietojärjestelmän erikoiskyselyt	45
7	POHDINTA.....	46

LÄHTEET.....	48
LIITTEET	49
Liite 1. Käänepistemethodän mittausohje 2016.....	49
Liite 2. Maadoituskortti (www.headpower.fi).....	51

LYHENTEET JA TERMIT

β	Virrallisen osan resistanssin lämpötilakertoimen käänteisarvo
E	Maadoituselektrodi
K	Virrallisen osan materiaalista riippuva vakio
R _m	Maadoitusresistanssi
S	Potentiaaliohjauselektrodi
t _f	Vikavirran kesto aika
θ _f	Loppulämpötila
θ _i	Alkulämpötila
U _E	Maadoitusjännite
U _{tP}	Sallittu kosketusjännite
U _{vS}	Askeljännite
U _{vT}	Kosketusjännite

1 JOHDANTO

Maadoitukset ovat henkilöiden turvallisuuden kannalta tärkein osa sähköasennusta. 2015 elokuussa julkaistiin uusi painos SFS 6001 -standardista, jossa maadoitusten vaatimukset ovat tiukentuneet. Vaatimusten tiukentuessa tuli ajankohtaiseksi selvittää täytetäänkö ne Turku Energialla. Maadoitusmittaustietojen hallinnan ja hyödyntämisen nykytilassa on Turku Energialla parantamisen varaa, sillä eri järjestelmien välillä esiintyy päällekkäisyyksiä eikä kaikkien laskentaominaisuuksien toiminnasta ole ollut varmuutta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää SFS 6001 -standardin uusitun painoksen vaatimukset maadoitusjärjestelmien suunnitteluun ja vaarajännitelaskentaan liittyen sekä varmistaa niiden täytyminen Turku Energialla. Tarkoituksena on myös kuvata Turku Energian maadoitusmittaustietojen hallinnan ja hyödyntämisen nykytila ja selvittää niiden mahdollisuudet verkkotietojärjestelmässä. Työssä käsitellään aluksi maadoitusjärjestelmien ja maasulkujen teoriaa sekä standardin vaatimuksia ja niiden täyttymistä Turku Energialla. Tämän jälkeen kuvataan Turku Energian maadoitusmittaustietojen hallinnan ja hyödyntämisen nykytila ja tarkastellaan täyttääkö se SFS 6001 -standardin asettamat vaatimukset. Lopuksi työssä selvitetään maadoitusmittaustietojen hallinnan ja hyödyntämisen mahdollisuudet verkkotietojärjestelmässä.

Opinnäytetyö tehdään Turku Energia Sähköverkot Oy:lle ja työn tavoitteena on poistaa päällekkäisyydet maadoitusmittaustietojen hallinnassa ja hyödyntämisessä eri järjestelmien välillä sekä korjata puutteet nykytilassa. Työssä tarkastellaan maadoituksia keskijänniteverkon kannalta.

2 MAASULKU

2.1 Maasulku keskijänniteverkossa

Maasulkujen teoriaa selvitettiin TTT-käsikirjasta, SFS 6001 -standardista sekä haastatteleamalla Tampereen ammattikorkeakoulun sähkötekniikan opettajaa.

Maasulku on määritelty käyttömaadoittamattoman vaihejohtimen ja maahan johtavassa yhteydessä olevan osan väliseksi eristysviaksi. Maasulku voi olla yksi- tai monivaiheinen. Kaksoismaasulku on kyseessä, kun maasulku syntyy samanaikaisesti kahteen eri vaiheeseen eri kohdissa verkkoa. Jos monivaiheinen maasulku syntyy samaan kohtaan verkkoa, siten että vaihejohtimien välille syntyy johtavayhteys, kutsutaan vikaa maaoikosuluksi. Useimmissa tapauksissa maasulkuviat aiheutuvat kaatuneista puista, eläimistä tai lumi- ja jääkuormista. Maasulku voi olla vikaresistanssiton tai vikaresistanssilinen. Tässä työssä tarkastellaan maasulkuja vikaresistanssittomina, mikä tarkoittaa henkilöiden kannalta vaarallisinta tilannetta.

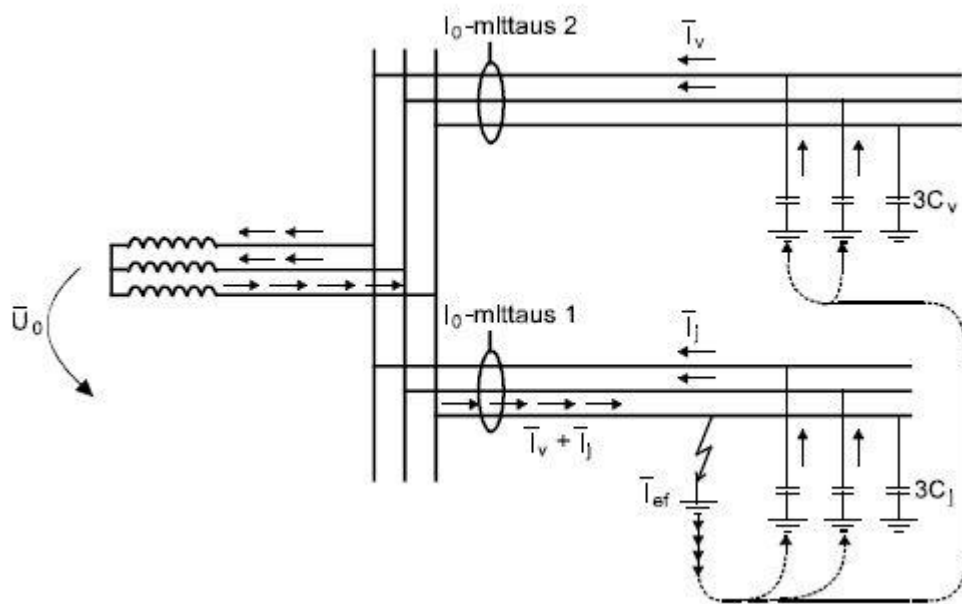
Suomessa keskijänniteverkot ovat joko maasta erotettuja tai verkon tähtipisteeseen kytketyn sammutuskelan kautta maadoitettuja verkkoja. Verkkojen ollessa terveessä tilassa niiden vaihejännitteet ovat maahan nähden symmetrisiä eli niiden summa on nolla. Tämä tarkoittaa myös sitä että verkon maakapasitanssien kautta kulkevien varausvirtojen summa on nolla. Maasulun sattuessa terveiden vaiheiden vaihejännitteet maahan nähden kasvavat ja tämän epäsymmetrisyyden seurauksena varausvirtojen summa poikkeaa nollasta. Tämä nollasta poikkeava osa kulkee vikapaikan kautta maahan muodostaen maasulkuvirran. Maasulkuvirran suuruus riippuu verkon koosta, kaapelien ja johtojen maakapasitansseista sekä vikaresistanssista.

Sammutuskeloilla voidaan pienentää maasulusta aiheutuvia maasulkuvirtoja noin kymmenesosaan. Sammutuskeloilla voidaan myös vähentää maasulusta aiheutuvia keskeytyksiä, sillä suuri osa maasulkuvioista kytkeytyy pois automaattisesti sammutuskelan ansiosta. Sammutuskelan toisioon on kytkettävissä vian paikantamisen ja havaitsemisen helpottamiseksi pieniresistanssinen vastus. Vastuksen kytkeminen aiheuttaa maasulkuvirtaan resistiivisen komponentin, joka on huomioitava todellisia maasulkuvirtoja las-
kiessa. (TTT-käsikirja, 1)

Maasta erotetut- ja sammutetut verkot ovat teknisesti hyviä ratkaisuja, sillä keskijännitepuolella maasulusta aiheutunut epäsymmetrisyys ei vaikuta merkittävästi pienjänniteverkon jännitteisiin. Tämä tarkoittaa että verkon käyttöä voidaan jatkaa maasulusta huolimatta. Käyttöä rajoittaa kuitenkin maasulkuvirrasta aiheutuneet hengenvaaralliset kosketus- ja askeljännitteet, joilta suojaudutaan maadoituksilla ja suojareleillä.

2.1.1 Maasulkuvirta maasta erotetussa järjestelmässä

Kuvassa 1 on esitetty maasulkuvirran muodostuminen maasta erotetussa järjestelmässä. Kuvasta käy ilmi miten terveet vaihejohtimet syöttävät virtaa vikapaikkaan ja miten vikavirta kulkee vikapaikasta maahan ja maakapasitanssien kautta takaisin terveisiin vaiheisiin.



Kuva 1, Maasulkuvirta maasta erotetussa järjestelmässä (TTT-käsikirja, luku 8, 5)

Maasta erotetun järjestelmän kokonaismaasulkuvirta suorassa maasulussa on verkon syöttämien kaapelien maasulkuvirtojen summa. Kaapelivalmistajat usein ilmoittavat katalogeissaan maasulkuvirran suuruuden muodossa A/km, jolloin kaapelin aiheuttama maasulkuvirta saadaan kertomalla kyseinen arvo kaapelin pituudella. Toinen tapa laskea kaapelien aiheuttamat maasulkuvirrat vikaresistanssittomassa maasulussa on kaavan 1 mukaisesti, kun tunnetaan kaapelien maakapasitanssit ja pituudet. Jos erityyppisiä kaa-

peleita on peräkkäin, tulee niiden maakapasitanssit laskea yhteen ja tämän jälkeen sijoitetaan yhteen laskettu maakapasitanssi laskukaavaan 1. (TTT-käsikirja, luku 8, 1)

$$I_e = \sqrt{3} \cdot \omega \cdot C_0 \cdot U \quad (1)$$

, jossa

I_e on maasulkuvirta

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

C_0 on kaapelin maakapasitanssi

U on verkon pääjännite

Avojohtoverkoille voidaan riittävän tarkasti laskea maasulkuvirta kaavan 2 mukaisesti.

$$I_{ef} \approx \frac{U \cdot l}{300} \quad (2)$$

, jossa

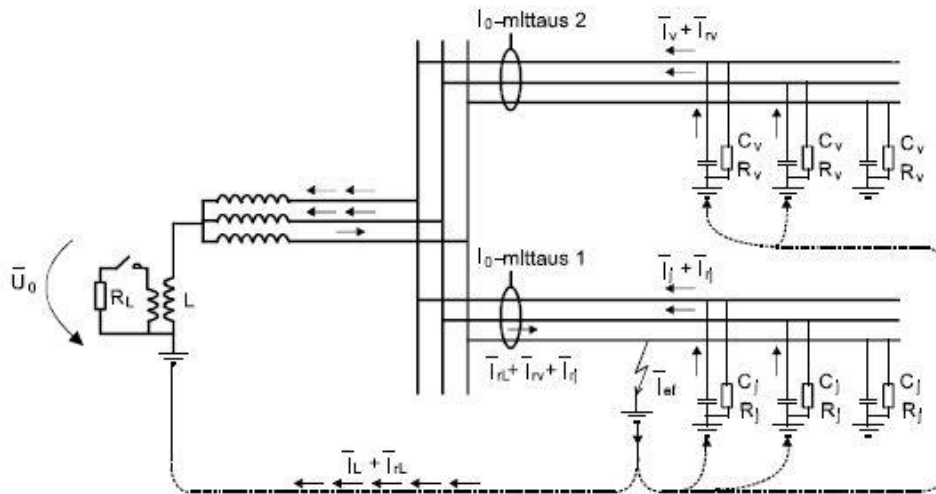
I_{ef} on maasulkuvirta

U on verkon pääjännite kilovoltteina

l on galvaanisesti yhteen kytketyn verkon pituus kilometreinä

2.1.2 Maasulkuvirta sammutetussa järjestelmässä

Sammutetussa järjestelmässä maasulkuvirta on jäännösmaasulkuvirta, joka muodostuu sammutuskelan induktanssista ja verkon maakapasitansseista, jotka kumoavat toisensa, sekä mahdollisen kuristimen toisiovastuksen aiheuttamasta resistiivisestä virrasta sekä yliaalloista ja verkon vuotohäviöitä vastaavista resistansseista. Sammutuskeloille asetetaan kompensointi aste, jonka mukaan ne automaattisesti kompensoivat verkon kapasitiivista maasulkuvirtaa. Jäännösmaasulkuvirta jätetään käytännössä lähes aina kapasitiiviseksi. Kuvassa 4 on esitetty maasulkuvirran muodostuminen sammutetussa verkossa. Kuvaan on myös piirretty näkyviin verkon vuotohäviötä vastaavat resistanssit. (TTT-käsikirja, luku 8, 7)



Kuva 2, Maasulkuvirta sammutetussa järjestelmässä (TTT-käsikirja, luku 8, 8)

SFS 6001 -standardin mukaan sammutetun verkon maasulkuvirta sähköasemalla voidaan laskea kaavan 3 mukaisesti. Muuntamoilla, erotinasemilla tai vastaavissa paikoissa, joissa ei itsessään ole sammutuskelaa voidaan maasulkuvirta laskea kaavalla 4. Jos maasulun jäännösvirran tarkkaa arvoa ei ole käytettävissä, maasulun jäännösvirraksi voidaan olettaa 10 % kapasitiivisesta maasulkuvirrasta. Jos järjestelmä ei ole riittävän hyvin kompensoitu, 10 % arvoa ei voida soveltaa laskennoissa. (SFS 6001 2015, 94)

$$I_E = r \cdot \sqrt{I_L^2 + I_{RES}^2} \quad (3)$$

, jossa

I_E on Maasulkuvirta

r on reduktiokerroin, jonka oletetaan Turun keskijänniteverkossa olevan 1

I_L on kyseisen sähköaseman sammutuskelojen nimellisvirtojen summa

I_{RES} on maasulun jäännösvirta

$$I_E = r \cdot I_{RES} \quad (4)$$

, jossa

I_E on Maasulkuvirta

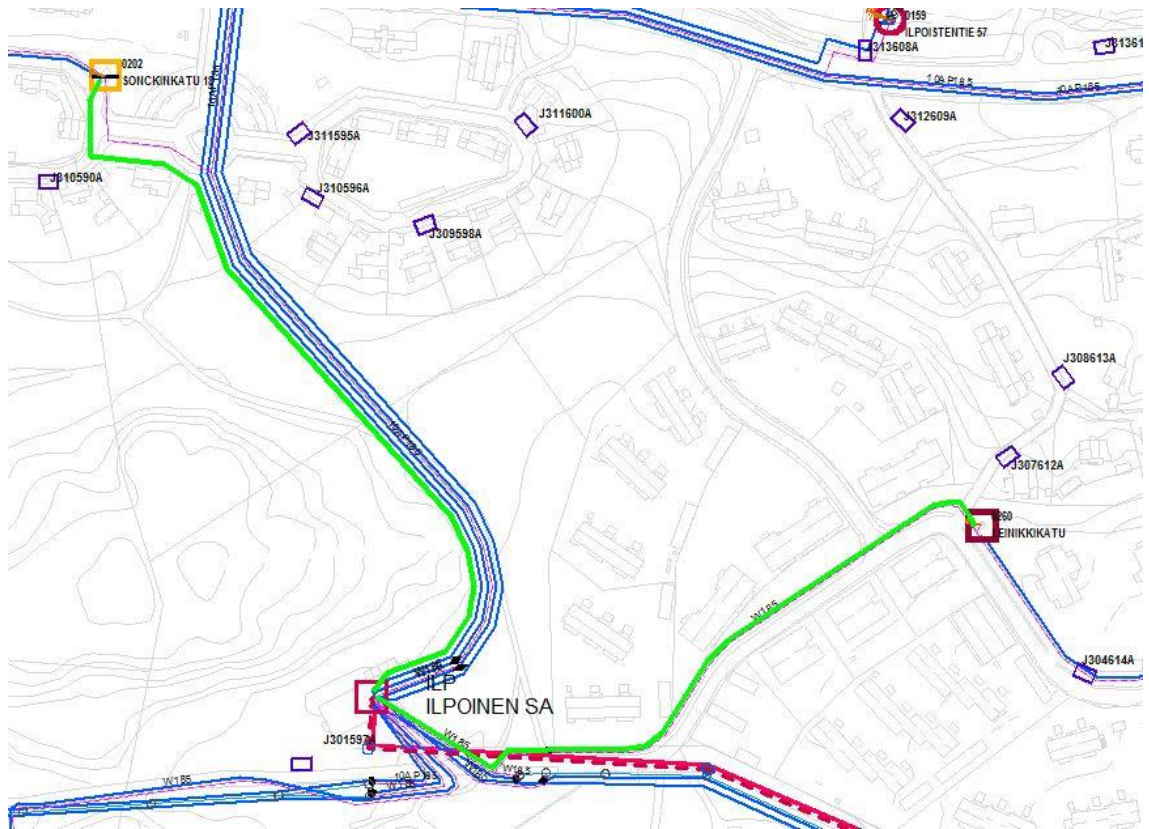
r on reduktiokerroin, jonka oletetaan Turun keskijänniteverkossa olevan 1

I_{RES} on maasulun jäännösvirta

2.2 Maasulkuvirrat verkkotietojärjestelmässä

Turku Energialla on käytössä verkkotietojärjestelmä, jonka laskenta ominaisuudella voidaan suorittaa maasulkuvirtalaskenta vikaresistanssittomassa maasulussa. Verkkotietojärjestelmä laskee maasulkuvirrat päämuuntaja kohtaisesti ja huomioi laskennassaan koko päämuuntajan syöttämän verkon. Jotta laskenta olisi mahdollinen, verkkotietojärjestelmään on syötetty kaikkien käytössä olevien kaapelien maakapasitanssit. Verkkotietojärjestelmään on myös digitoitu kaapelireitit, joiden perusteella se osaa laskea kaapelien pituudet. Laskennassaan verkkotietojärjestelmä käyttää verkon pääjännitteenä erikseen syötettyä ”laskentajännitettä”. Verkkotietojärjestelmän laskemia päämuuntajien maasulkuvirtoja hyödynnetään Turku Energialla käytössä olevassa Access – tietokannassa maadoitusvaatimusten laskennassa. Tietokannan maadoitusvaatimusten laskentaa käsitellään kappaleessa 5.

Koska tässä työssä on tarkoituksena varmistaa standardin vaatimusten täytyminen Turku Energialla, työssä tarkastettiin verkkotietojärjestelmän laskennan toimivuus aluksi maasulkuvirtojen osalta. Tarkasteluun otettiin esimerkkitapaukseksi Iloisten sähköaseman 110/10,5 kV päämuuntajan Sonckinkatu 18 ja Leinikkikadun lähtöjen kaapelit, jotka ovat esitetty kuvassa 2 vihreällä värillä. Kaapelien tiedot ovat esitetty taulukoissa 1 ja 2. Kaapelityypit pituudet ja maakapasitanssit ovat luettu verkkotietojärjestelmästä. Verkkotietojärjestelmä käyttää maasulkuvirranlaskentaan erikseen ilmoitettua laskentajännitettä, joka tässä tapauksessa on 10,3 kV. Verkkotietojärjestelmä laski näiden lähtöjen kaapelien kokonaismaasulkuvirraksi 1,1 A. Tarkastuslaskenta suoritettiin käyttäen kaavaa 1 ja tulokseksi saatiin 1,1 A.



Kuva 3, Sonckinkatu 18 ja Leinikkikatu lähdöt

Taulukko 1, Sonckinkatu 18 lähdön tiedot

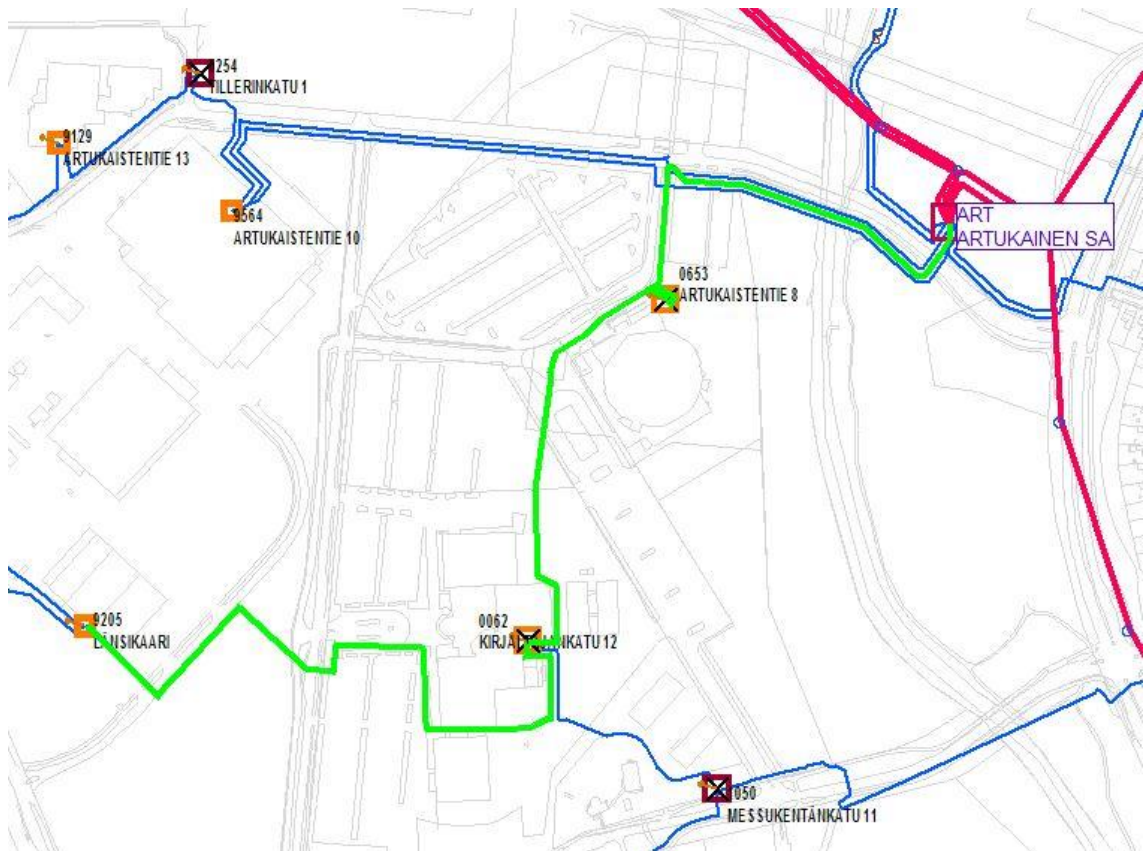
Kaapeli	APAKM 3x185
Pituus (km)	0,3769
Maakapasitanssi (uF/km)	0,284
Maasulkuvirta laskettu (A)	0,6
Maasulkuvirta verkkotietojärjestelmä (A)	0,6

Taulukko 2, Leinikkikatu lähdön tiedot

Kaapeli	AHXAMK-W 3x185/35
Pituus (km)	0,3196
Maakapasitanssi (uF/km)	0,259
Maasulkuvirta laskettu (A)	0,5
Maasulkuvirta verkkotietojärjestelmä (A)	0,5

Toiseksi esimerkitapaukseksi otettiin Artukaisten sähköaseman 110/10,5 kV päämuuntajan ja Länsikaaren muuntamon väliset kaapelit, jotka ovat esitetty kuvassa 3 vihreällä värillä. Sähköaseman ja muuntamon välillä on kahden tyyppistä kaapelia, joiden tiedot

ovat esitetty taulukoissa 3 ja 4. Taulukossa 5 on esitetty maasulkuvirtojen vertailun tulokset. Kaapelityypit, pituudet ja maakapasitanssit ovat luettu verkkotietojärjestelmästä. Verkkotietojärjestelmä käyttää maasulkuvirranlaskentaan tässäkin tapauksessa jännitteenä 10,3 kV. Verkkotietojärjestelmä laski näiden lähtöjen kaapelien kokonaismaasulkuvirraksi 2,5 A. Tarkastuslaskenta suoritettiin käyttäen kaavaa 1 ja tulokseksi saatiin 2,48 A. Näiden tarkastusten perusteella verkkotietojärjestelmän käyttämä laskentamenetelmä maasta erotetun järjestelmän maasulkuvirtalaskennassa toimii maakaapeleiden osalta standardin mukaisesti. Tuloksien pieni ero johtuu verkkotietojärjestelmän pyöristyksestä.



Kuva 4, Artukainen – Länsikaari kaapelit

Taulukko 3, Artukainen - Länsikaari Wiski

Kaapeli	AHXAMK-W 3x185/35
Pituus (km)	1,032
Maakapasitanssi (uF/km)	0,259

Taulukko 4, Artukainen - Länsikaari APAKM

Kaapeli	APAKM 3x185
Pituus (km)	0,6187
Maakapasitanssi (uF/km)	0,284

Taulukko 5, Maasulkuvirrat

Maasulkuvirta, laskettu (A)	2,48
Maasulkuvirta, verkkotietojärjestelmä (A)	2,50

Verkkotietojärjestelmän maasulkuvirtalaskentaa tarkasteltaessa ilmeni myös virheitä. Esimerkiksi Ilpoisten sähköaseman kolmikäämimuuntajan syöttämän 21 kV verkon maasulkuvirtojen tarkastelussa kävi ilmi, että laskenta ei käytäkään 20,6 kV ”laskentajännitettä” verkon pääjännitteenä, vaan se käyttää virheellisesti kolmikäämimuuntajan tetriäärijännitettä, joka on tässä tapauksessa 10,5 kV. Tämä tarkoittaa että verkkotietojärjestelmän laskemat maasulkuvirrat tämän päämuuntajan osalta ovat noin puolet todellisesta maasulkuvirrasta. Tilanne ei kuitenkaan ole ollut vaarallinen, sillä Accessiin on syötetty ”laskentajännitteellä” laskettu maasulkuvirta. Sama virhe havaittiin Pakkarin sähköaseman kolmikäämimuuntajassa. Tässäkään tilanteessa virhe ei ole ollut vaarallinen, sillä tetriäärijännitteen ja laskentajännitteen ero on noin 2 % luokkaa. Virheellisestä laskennasta ilmoitettiin verkkotietojärjestelmästä vastaavalle Tieto Oyj:lle ja virhe luovattiin korjata. Tarkastelussa ilmeni myös, ettei kaikille päämuuntajille ole syötetty laskentajännitettä. Tästä johtuen Hirvensalon ja Saramäen sähköasemilla maasulkuvirtalaskenta käyttää verkon pääjännitteenä päämuuntajan toisiojännitettä laskentajännitteen sijaan. Puutteesta ilmoitettiin Turku Energia Sähköverkkojen verkko-omaisuusasiantuntijalle, joka lisäsi laskentajännitteet verkkotietojärjestelmään.

Turku Energialla on 18 sähköasemaa, joista ainoastaan kahdella on käytössä sammutuskelat vaarajännitteiden ja keskeytyksien rajoittamiseksi. Näiden sammutuskelojen toiminta-alueet ovat 15 - 150 A ja niiden toisioihin on kytkettävissä kaksi kappaletta 5 Ω vastuksia. Sammutuskelat ovat mitoitettu siten että ne toimivat myös korvaustilanteissa. Korvaustilanteella tarkoitetaan tilannetta, jossa Hirvensalon päämuuntajan syöttämää verkkoa syötetään Ilpoisten sähköasemalta tai päinvastoin.

Tampereen Ilves hotelissa 16.2.–17.2.16 Jouko Sikanen Consulting Oy:n järjestämässä seminaarissa kävi ilmi että Turku Energialla käytössä olevan verkkotietojärjestelmän laskenta ilmoittaa sammutetulle verkolle liian pienen maasulkuvirran. Verkkotietojärjes-

telmä ei huomioi maasulkuvirrassa resistiivisiä komponentteja lainkaan vaan ilmoittaa laskentatuloksena kapasitiivisen maasulun jäännösvirran.

Työssä suoritetun tarkastelun perusteella Turku Energialla käytössä oleva verkkotietojärjestelmä laskee ensin sammutetun verkon kapasitiivisen maasulkuvirran, jonka jälkeen se kertoo tämän tuloksen sammutuskelalle syötetyllä kompensointi asteella, joka ilmoitetaan verkkotietojärjestelmässä prosentteina. Verkkotietojärjestelmään on ilmoitettu Hirvensalon ja Ilpoisten sähköasemilla kompensointiasteeksi 0,5 %, joka ei vastaa todellisuutta. Hirvensalon sähköaseman sammutuskelalle on todellisuudessa asetettu kompensointiasteeksi 17,6 % ja Ilpoisten sähköaseman sammutuskelalle 5,6 %. Hirvensalon sähköaseman sammutuskelan kompensointiasteen havaittiin olevan liian suuri ja se tullaan tiputtamaan viiteen prosenttiin. Jotta verkkotietojärjestelmän laskemat sammutetun verkon maasulkuvirrat olisivat SFS 6001 -n mukaisia, syötetään verkkotietojärjestelmään sammutuskelojen kompensointiasteeksi 10 %.

Verkkotietojärjestelmän avojohtoverkon maasulkuvirran laskentamenetelmää kysyttiin Tieto Oyj:ltä, mutta heiltä ei saatu vastausta. Tästä johtuen työssä ei vertailla avojohtoverkon laskennan toimivuutta.

2.3 Maasulkuvirran kasvun huomioiminen

Maasulkuvirrat ovat kasvussa joka puolella Suomea, kaikilla verkkoyhtiöllä. Maasulkuvirtojen kasvu tulee huomioida maadoitusjännitteen mitoitusvirrassa uusien maadoitusjärjestelmien rakentamisvaiheessa sekä korjattaessa vanhoja puutteellisia maadoituksia. Kasvuun vaikuttavat eniten sähköverkon laajeneminen ja ilmajohtojen maakaapelointi. Turku Energialla merkittävin maasulkuvirran kasvu syntyy ilmajohtoverkon maakaapeloinnista. Sähköverkon laajenemisen osuus on suhteellisen pieni, sillä laajeneminen on rajoitettua Turun alueella. Ilmajohtojen maakaapeloinnin vaikutus sijoittuu pääasiassa pohjoisessa ja etelässä sijaitseville sähköasemille. Kaupunkialueen sähköasemilla ja muilla pääosin maakaapeloiduilla sähköasemilla, maasulkuvirran kasvu on todella vähäistä. Turku Energian sammutettujen verkkojen mitoitusvirtana tullaan käyttämään 10 % sammutuskelan maksimivirrasta. Maasta erotetun verkon mitoitusvirrat tullaan laskemaan maasulkuvirran kasvun historian perusteella, tulevat maakaapelointisuunnitelmat ja laajennushankkeet huomioiden. (SFS 6001 2015, 93; Haastattelu 15.4.16, Kiviniemi M. verkko-omaisuusasiantuntija)

3 MAADOITUSJÄRJESTELMÄT JA VAATIMUKSET

Suurjänniteasennukset standardi SFS 6001 asettaa vaatimuksia maadoitusjärjestelmälle siten, että se toimii koko asennuksen odotettavissa olevan eliniän kaikissa tilanteissa ja varmistaa henkilöiden turvallisuuden kaikissa paikoissa, joihin henkilöiden pääsy ja kulku on sallittu. Standardi asettaa myös kriteerit, joilla varmistetaan että maadoitusjärjestelmään liitetyt ja sen läheisyydessä olevat laitteet säilyvät ehjinä. Standardin asettamat vaatimukset henkilöiden suhteen pohjautuvat uhkaan että henkilön sydämen kautta saattaa kulkea virta, joka voi aiheuttaa sydänkammiovärinän. Lisäksi standardi vaatii maadoitusjärjestelmältä riittävää korroosion kestävyyttä ja mekaanista lujuutta, sekä vikavirtojen kestämistä termisesti. (SFS 6001 2015, 91)

SFS 6001 -standardin asettamat vaatimukset selvitettiin perehtymällä standardiin huolellisesti. Epäselvistä kohdista lähetettiin kyselyjä sähköpostitse standardista vastaavalle Sesko ry:lle. Vaatimusten täytyminen Turku Energialla selvitettiin haastattelujen sekä oman pohdinnan ja käsin laskennan perusteella.

3.1 Korroosionkestävyys ja mekaaninen lujuus

Standardi esittää korroosionkestävyyden ja mekaanisen lujuuden mukaan vähimmäispoikkipinnat maadoitusjohtimille, potentiaalintasausjohtimille ja maadoituselektrodeille. Maadoituselektrodien vähimmäismitat ovat esitetty SFS 6001 -standardin liitteessä C, jonka mukaan kirkkaan kuparisen maadoituselektrodin tulee olla poikkipinnaltaan 25 mm². Maadoitus- ja potentiaalintasausjohtimien vähimmäismitat eri materiaaleille ovat:

- kupari: 16 mm²
- alumiini: 35 mm²
- teräs: 50 mm²

Turku Energialla on aikaisemmin käytetty 16, 25 ja 50 mm² kirkkaita kuparijohtimia maadoitusjohtimina, potentiaalintasausjohtimina, maadoituselektrodeina ja muuntamoiden yhdysjohtimina muuntamoiden välisissä kaapeliojissa. Nykyään 16 mm² johtimet ovat poistuneet kokonaan käytöstä. Maadoitusjohtimina, potentiaalintasausjohtimina ja maadoituselektrodeina käytetään 50 mm² ja kaapeliojissa 25 mm² kirkkaita kuparijohtimia. Turku Energian käyttämät maadoituselektrodit, -johtimet sekä potentiaalintasaus-

johtimet ja kaapeliojien yhdysjohtimet täyttävät korroosionkestävyyden ja mekaanisen lujuuden vaatimukset. (SFS 6001 2015, 92, 110; Haastattelu 6.4.16, Kotikivi T. verkosuunnittelija)

3.2 Terminen lujuus

SFS 6001 -standardin liitteessä D esitetään menetelmä alle 5 sekuntia kestävässä vioissa maadoituselektrodin ja –johtimen termisen kuormitettavuuden laskennalle. Laskennassa käytettävät virrat ovat määritetty SFS 6001 -standardin taulukossa 5. Taulukon mukaan virran jakautuminen voidaan ottaa huomioon, jos virralla on useita kulkuteitä. Laskenta virtana käytetään standardin EN 60909 mukaisesti laskettua kaksoismaasulkuvirtaa tai 85 % symmetrisen alkuoikosulkuvirran arvosta. Kapasitiivisen yksivaiheisen maasulkuvirran käyttö laskennassa on myös mahdollista, jos maasulku kytketään pois alle 1 sekunnissa. Poiskytkentäaikana käytetään ekvivalenttista poiskytkentäaikaa. Liitteessä D on myös esitetty kuva D.2, jossa määritetään sallitut poikkipinnat yli 5 sekuntia kestäville vioille. Sammutetussa verkossa sammutuskelan maadoitusjohdin tulee mitoittaa kelan maksimivirran mukaan. Johtimien mitoituksessa tulee myös huomioida SFS 6001 standardin liitteen C sekä standardin kohdan 10.3.2 mukaiset vähimmäispoikkipinnat. (SFS 6001 2015, 94, 111, 113)

SFS 6001 -standardin kuvan D.2 mukaan 50 mm² pyöreä maadoitusjohdin tai –elektrodi kestää yli 400 A jatkuvan virran, joka ei ylity yksivaiheisissa maasuluissa Turku Energian maadoitusjärjestelmissä, joissa on hälyttävä suojaus. Turku Energiolla suurin kapasitiivinen maasulkuvirta on 81,1 A Hirvensalon sähköasemalla 20 kV ilmajohtoverkossa. Tämä takaa maadoitusjärjestelmien termisen lujuuden hälyttävien suojausten osalta yksivaiheisissa maasuluissa.

Kaksoismaasulussa vikavirrat kasvavat niin suuriksi että suojauksena toimii ylivirtareleen ylempi porras. Turku Energiolla pisin laukaisuaika ylivirtareleiden ylemmille portaille on 0,3 sekuntia. Tällöin vähimmäispoikkipinnat voidaan laskea SFS 6001 -standardin liitteen D esittämän alle 5 sekunnin laukaisuajan kaavan mukaisesti (Kaava 5). Kaavan suureet K ja β luetaan SFS 6001 -standardin taulukosta D.1. (SFS 6001 2015, 111)

$$A = \frac{I}{K} \cdot \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}} \quad (5)$$

, jossa

A on poikkipinta [mm^2]

I on SFS 6001 -standardin taulukon 5 mukaan määritetty virta [A]

K on virrallisen osan materiaalista riippuva vakio

t_f on vikavirran kesto-aika [s]

θ_f on loppulämpötila [$^{\circ}\text{C}$]

θ_i on alkulämpötila [$^{\circ}\text{C}$]

β on virrallisen osan resistanssin lämpötilakertoimen käänteisarvo lämpötilassa 0°C

Esimerkkinä laskettiin Pakkarin sähköaseman ja Amiraalistonkatu 8 muuntamon välisen maadoitusten yhdysjohtimen vähimmäispoikkipinta. Lähdön ylivirtareleen ylemmän portaan toiminta-aika on 0,3 sekuntia, joka vaatii toimiakseen 3200 A virran. Lähdön kaksivaiheinen symmetrinen alkuoikosulkuvirta on verkkotietojärjestelmän laskennan mukaan 6541,5 A ja täten maksimi kaksoismaasulkuvirran oletetaan olevan 5560,3 A. SFS 6001 -standardin taulukon D.1 mukaan virrallisen osan materiaalista riippuva vakio on $234,5^{\circ}\text{C}$ ja virrallisen osan resistanssin lämpötilakertoimen käänteisarvo $226 \text{ A} \cdot \sqrt{\text{s}} \cdot \text{mm}^2$. Alkulämpötilaksi oletetaan 20°C ja loppulämpötilaksi 300°C . Kun nämä arvot sijoitetaan kaavaan 5, saadaan maadoitusjohtimen vähimmäispoikkipinnaksi $15,6 \text{ mm}^2$. Turku Energialla käytössä oleva 25 mm^2 poikkipinta täyttää jo yksinään lasketun vaatimuksen sekä SFS 6001 -standardin liitteen C ja kohdan 10.3.2 vaatimukset. Lisäksi olisi mahdollista huomioida virran muut mahdolliset kulkutiet, jolloin laskettu vähimmäispoikkipinta olisi vielä pienempi, virran jakautumisesta johtuen. Turku Energialla on maadoituselektrodeille ja -johtimille suoritettu vastaavat, kattavat laskennat ja täten todettu myös 50 mm^2 poikkipinnan olevan riittävä maadoitusjohtimille, -elektrodeille ja potentiaalintasausjohtimille. (Haastattelu 26.4.16, Rantanen J. rakennuttamispäällikkö)

$$A = \frac{5560,3 \text{ A}}{226 [\text{A} \cdot \sqrt{\text{s}} \cdot \text{mm}^2]} \cdot \sqrt{\frac{0,3 \text{ s}}{\ln \frac{300^{\circ}\text{C} + 234,5^{\circ}\text{C}}{20^{\circ}\text{C} + 234,5^{\circ}\text{C}}}} = 15,6 \text{ mm}^2$$

3.3 Maadoitus-, kosketus- ja askeljännitteet

3.3.1 Maadoitusresistanssi ja -jännite

Maadoitusjärjestelmällä ja sen osilla on maadoitusimpedanssi, jonka reaaliosa on maadoitusresistanssi, joka voidaan määrittää mittaamalla. SFS 6001 -standardi määrittää että maadoitusimpedanssissa otetaan huomioon suoraan kytketyt maadoituselektrodit, ilmajohtojen ukkosjohtimet ja maadoitukset, maadoituselektrodeina toimivat maakaapelit ja muut maadoitusjärjestelmät, jotka kytkeytyvät kyseiseen maadoitusjärjestelmään johtavien kaapelivaippojen, kosketussuojien ja PEN-johtimien välityksellä tai muulla tavalla. Maadoitusjännitteen muodostaa maadoitusimpedanssi ja maasulusta aiheutunut maasulkuvirta kaavan 6 mukaisesti. (SFS 6001 2015, 22)

$$\underline{U}_E = \underline{Z}_E \cdot \underline{I}_E \quad (6)$$

, jossa

\underline{U}_E on maadoitusjännite

\underline{Z}_E on maadoitusimpedanssi

\underline{I}_E on kappaleessa 2 käsitelty maasulkuvirta

SFS 6001 -standardi esittää maadoitusimpedanssin määrittämiselle kaksi eri menetelmää. Ensimmäinen on voltti-ampeerimenetelmä, joka ei Turku Energialla ole käytössä. Toinen on yksittäisiin resistansseihin perustuva menetelmä, jota käytetään Turku Energialla. Tässä menetelmässä kunkin maadoituselektrodin maadoitusresistanssi mitataan käännepestemenetelmällä yhdysjohtimien ollessa irti kytkettyinä. Tämän jälkeen yhdysjohtimien impedanssit lasketaan ja maadoitusimpedanssi määritetään maadoitusresistanssin ja liitosjohtimien impedanssien muodostamasta ekvivalenttipiiristä.

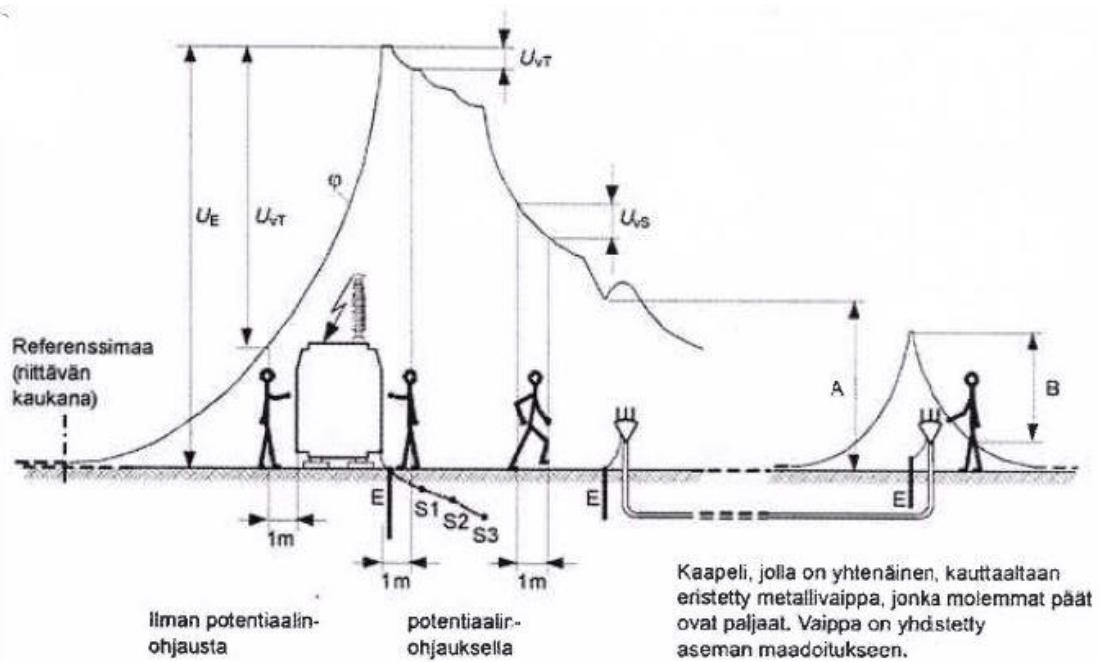
Turku Energialla suoritetaan vastaavat käännepestemenetelmä mittaukset, mutta liitosjohtimet jätetään huomioimatta siten että ennen maadoitusresistanssin mittaamista maadoituselektrodi irrotetaan muusta maadoitusjärjestelmästä. Kun maadoitusjännitteen laskennassa käytetty maadoitusresistanssi määritetään pelkän maadoituselektrodin perusteella, on maadoitusjännitteen arvo suurempi kuin todellinen maadoitusjännite. Tällöin varmistutaan sallittujen kosketusjänniterajojen täyttymisestä. Maadoitusmittaustietojen nykyistä hallintaa käsitellään kappaleessa 5. (SFS 6001 2015, 130)

3.3.2 Kosketus- ja askeljännitteet

Maasulkuvirrasta aiheutunut maadoitusjännite muodostaa potentiaalieron sähköasennuksen suojamaadoitetun osan ja maan välille. Jos henkilö tällaisessa tilanteessa koskettaa suojamaadoitettua osaa, kulkee hänen kehonsa läpi virta, joka muodostaa kosketusjännitteen. Tämä kosketusjännite voi korkeintaan olla maadoitusjännitteen suuruinen.

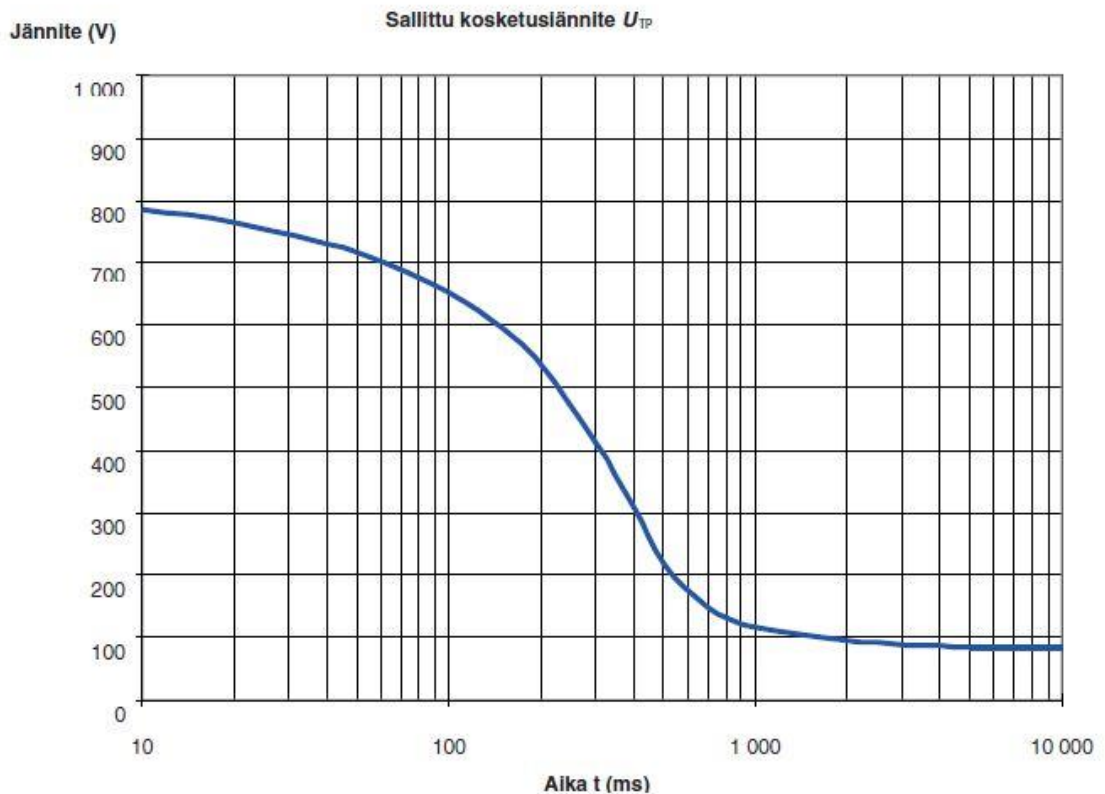
Maasulkuvirran levitessä maahan, maadoituselektrodin läheisyydessä syntyy maaperään potentiaalienttä. Henkilön kävellessä tällä potentiaalientällä, muodostuu hänen jalkojensa välille potentiaali-ero, jota kutsutaan askeljännitteeksi. Askeljännitteiden oletetaan olevan riittävän pieniä, kun sallitut kosketusjännite rajat täyttyvät, sillä askeljännitteiden raja-arvot ovat paljon suurempia kuin kosketusjännitteiden raja-arvot, koska virtatie kehon läpi on erilainen. Täten askeljännitteiden erillistä tarkastelua ei vaadita. (SFS 6001 2015, 91)

Kuvassa 5 on esitetty esimerkki tilanne jakelumuuntamolla sattuneesta maasulusta ja siitä aiheutuneista maadoitus-, kosketus-, ja askeljännitteistä. Maadoituselektrodit ovat esitetty kuvassa kirjaimella E, maadoitusjännite kirjaimella U_E , kosketusjännite kirjaimella U_{VT} ja askeljännite kirjaimella U_{VS} . Kuvassa on myös esitetty kuinka siirtyvästä potentiaalista johtuva kosketusjännite muodostuu, jos asennuksen toinen pää on maadoitettu maasulkuvikapaikan vaikutusalueella. Potentiaalinohjauselektrodit ovat esitetty kuvassa merkeillä S1, S2 ja S3. Kuvasta käy ilmi näiden merkittävä vaikutus kosketusjännitteen suuruuteen.



Kuva 5, Maan potentiaaliprofiili ja vaarajännitteet maasulussa (SFS 6001, 26)

SFS 6001 -standardi määrittää sallitut kosketusjännite raja-arvot, jotka ovat esitetty kuvassa 6. Kuvassa x-akselin aika on suojaavan laukaisun toiminta-aika ja y-akselin jännite laukaisuaikaa vastaava sallittu kosketusjännite. Jos suojaus ei ole laukaiseva, käytetään sallittuna kosketusjännitteenä 80 V.



Kuva 6, Sallitut kosketusjännite raja-arvot (SFS 6001 2015, 97)

SFS 6001 -standardin mukaan kosketusjännitteiden tarkastelussa voidaan huomioida lisäresistansseja, jolloin kyseessä on prospektiivinen kosketusjännite. Tässä työssä lisäresistansseja ei kuitenkaan huomioida vaan pyritään tilanteeseen, jossa lisäresistanssitomat sallitut kosketusjännite raja-arvot täyttyvät.

SFS 6001 -standardi määrittää sallittujen kosketusjännite rajojen täyttymiselle tarkat ehdot. Näiden raja-arvojen katsotaan toteutuvan, jos kyseessä oleva asennus kuuluu laajaan maadoitusjärjestelmään tai jos mittauksin tai laskennallisesti määritetty maadoitusjännite ei ole suurempi kuin kuvan 6 mukaisen sallitun kosketusjännitteen arvo kaksinkertaisena. Maadoitusjännite on myös mahdollista olla nelin- tai viisinkertainen sallittuun kosketusjännitteeseen nähden, jos SFS 6001 standardin liitteiden E ja NA mukaiset erityisvaatimukset ja ehdot täyttyvät. Kosketusjännitteitä voidaan pienentää esimerkiksi potentiaalinojauselektrodeilla tai lisäämällä asennukseen maadoituselektrodeja. Sallittujen kosketusjännitteiden täyttymistä Turku Energialla käsitellään kappaleessa 5 (SFS 6001 2015, 26, 95,97)

3.3.3 Siirtyvät jännitteet

Jo maadoitusjärjestelmän suunnitteluvaiheessa tulee myös huomioida, että osa suurjännitejärjestelmän maadoitusjännitteestä voi esiintyä pienjännitejärjestelmässä, kun kyseessä ei ole laaja maadoitusjärjestelmä. Tällaisiin tapauksiin käytetään nykyään kahta menettelytapaa. Ensimmäinen tapa on kaikkien suur- ja pienjännitemaadoitusten yhdistäminen ja toinen suurjännite maadoitusten erottaminen pienjännitemaadoituksista. Kummassakin tapauksessa askeljännitteitä, kosketusjännitteitä ja siirtyviä jännitteitä koskevien vaatimusten on täyttyvä sähköasemalla, muuntamolla ja tältä syötetyssä pienjänniteasennuksessa. Maadoitusten yhdistämistä suositellaan, mikäli se on mahdollista. Jos pienjännitejärjestelmä rajoittuu kokonaan suurjännitemaadoituksen kattamalle alueelle, molemmat maadoitusjärjestelmät tulee kytkeä yhteen vaikka kyseessä ei olisi-kaan laaja maadoitusjärjestelmä. (SFS 6001 2015, 99)

SFS 6001 -standardin esittämät vaatimukset siirtyvistä jännitteistä täyttyvät, jos suurjänniteasennuksen maadoitus on osa laajaa maadoitusjärjestelmää tai se on liitetty useassa pisteessä maadoitettuun suurjännitepuolen keskipistejohtimeen symmetrisessä järjestelmässä. Jos kyseessä ei ole laaja maadoitusjärjestelmä, tulee soveltaa standardin SFS 6001 taulukkoa 6, jossa on esitetty maadoitusjänniterajoihin perustuvat vähim-

mäisvaatimukset pienjännite- ja suurjännitemaadoitusten yhdistämiselle. (SFS 6001 2015, 99)

Erityistä huomiota tulee kiinnittää esimerkiksi katuvaloihin, jotka ovat suurjännitejärjestelmän vaikutus alueella. Tällaisissa paikoissa suurjännitejärjestelmän viasta aiheutunut jännite voi siirtyä katuvalotolpan runkoon. Tällaisissa tai tätä vastaavissa tilanteissa on suositeltavaa käyttää potentiaalinojauselektrodeja, jotka huomattavasti pienentävät kosketusjännitteitä.

Turku Energialla on kaikki suur- ja pienjännitemaadoitukset yhdistetty. Sähköasemilla ja jakelumuuntamoilla pienjänniteasennusten maadoitukset ovat yhdistetty johtimilla suurjänniteasennusten potentiaaliskoon. (Haastattelu 14.4.2016, Sanevuori K. verkostotarkastaja)

3.4 Laaja maadoitusjärjestelmä

Laajaa maadoitusjärjestelmää käytetään turvallisuussyistä. Laaja maadoitusjärjestelmä pienentää maasulusta aiheutuneita kosketusjännitteitä jakamalla maasulkuvirran koko järjestelmän maadoituselektrodeille. Pienistä kosketusjännitteistä johtuen, laajassa maadoitusjärjestelmässä ei tarvitse erikseen tarkastella jakelumuuntamoiden, erotinasemien tms. kosketusjännitteitä. Laajasta maadoitusjärjestelmästä tulee kuitenkin olla riittävät dokumentoinnit, jossa sen yhtenäisyys on todettu.

Laaja maadoitusjärjestelmä on yhtenäinen maadoitusjärjestelmä, joka on toteutettu kytkemällä verkkomaisesti yhteen paikalliset maadoitusjärjestelmät. Yhteen kytkettyjen paikallisten maadoitusjärjestelmien läheisyys takaa sen, ettei vaarallisia kosketusjännitteitä esiinny. Tyypillisiä laajan maadoitusjärjestelmän alueita ovat tiheästi asutut kaupunkien keskusta alueet ja niitä vastaavat alueet, sekä laajat teollisuusalueet, joilla on muuntamoita tiheänä verkkona ja kunkin muuntamon maadoitukset on yhdistetty vähintään kahden muun muuntamon maadoitukseen myös muulla tavalla esimerkiksi pienjänniteverkon kautta. Yhdistäminen voidaan toteuttaa erillisellä johtimella, kaapelin keskusköydellä tai riittävän suuruisen poikkipinnan omaavan kaapelin vaipalla tai vastaavalla tavalla.

Laajan maadoitusjärjestelmän sisäpuolella SFS 6001 -standardin esittämä maadoitusjärjestelmän perussuunnitelma on riittävä, eikä maadoitusresistanssin tai maadoitusjännitteen todentaminen ole tarpeen. Kuitenkin on todennettava mittauksin, että yksittäiset maadoitukset on yhdistetty laajaan maadoitusjärjestelmään ja mittaustulokset on dokumentoitava. Dokumenttien tulee sisältää perusteet laajan maadoituksen käytöstä mukaan lukien järjestelmään liittyvät kohteet, kohteiden väliset maadoitusten yhdistämiset ja tulokset yhdistysten tarkistamisesta sekä selvitys siitä, että potentiaalierot ovat riittävän pieniä. (SFS 6001 2015, 134, 136, 150)

Laajan maadoitusjärjestelmän määritelmät ja vaatimukset ovat tiukentuneet SFS 6001 -standardin uudessa painoksessa. Vanhassa painoksessa ei ollut velvoittavia kohtia laajan maadoitusjärjestelmän määrittämiseen toisin kuin uudessa painoksessa. Aiemman painoksen opastavan liitteen P mukaan riitti että tarkistettiin yksittäisen maadoituksen liittymisen koko maadoitusjärjestelmään. (SFS 6001 2009, 111)

Turku Energiolla on maadoitusten rakentamisvaiheessa tehty tarkistukset yksittäisten maadoitusten liittymisestä koko maadoitusjärjestelmään. Yhteyksiksi ei ole laskettu katuvalo tai pienjännite-avojohtoyhteyksiä, vaikka se olisi sallittua. Yhteyksiksi on laskettu muuntamoiden väliset maadoitusten yhdysköydet, sekä kaapelien keskusköydet tai vaipat. Vaatimuksena on ollut että yksittäinen maadoitus liittyy muuhun maadoitusjärjestelmään vähintään kolmen yhteyden kautta. (Haastattelu 01.02.16, Sanevuori K. verkotarkastaja)

3.5 Paikallinen maadoitusjärjestelmä

Laajaan maadoitusjärjestelmään kuulumattomissa paikallisissa maadoitusjärjestelmissä tulee aina todeta sallittujen kosketusjännite raja-arvojen täytyminen, joko mittaamalla tai laskennallisesti.

Turku Energiolla on vielä paljon muuntamoita ja erotinasemia, joita ei ole liitetty laajaan maadoitusjärjestelmään. Verkon laajetessa näitä kohteita pyritään liittämään laajaan maadoitusjärjestelmään mahdollisuuksien mukaan.

4 MAADOITUSMITTAUKSET JA DOKUMENTOINTI

4.1 Maaperän resistiivisyysmittaukset

Maaperän resistiivisyysmittaukset suoritetaan maadoitusresistanssin tai impedanssin alustavaa määrittämistä varten ja niitä voidaan hyödyntää maadoitusjärjestelmien suunnittelussa. Kyseiset mittaukset tulee suorittaa neljän piikin menetelmällä esimerkiksi Wenner-menetelmällä. (SFS 6001 2015, 129)

Wennerin neljän piikin menetelmässä asetetaan neljä elektrodia maahan riviin tasaisin välein. Virtaa syötetään uloimpien elektrodien kautta maahan ja samalla mitataan sisimpien elektrodien välistä potentiaaliero, joka riippuu maaperän resistiivisyydestä. Elektrodeja asentaessa täytyy huomioida että kahden elektrodin välisen etäisyyden tulee olla vähintään kolminkertainen elektrodin asennussyvyyteen nähden. Homogeenisessä maaperässä maaperän resistiivisyys voidaan laskea kaavalla 7. (Fluke, Soil Resistivity Measurement)

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot A \cdot \frac{U}{I} \quad (7)$$

, jossa

ρ on maaperän resistiivisyys

A on kahden elektrodin välinen etäisyys

U on sisimmäisten elektrodien potentiaaliero

I on uloimpien elektrodien kautta maahan syötetty virta

Turku Energialla ei ole tarvinnut suorittaa maaperän resistiivisyysmittauksia, sillä maaperä on Turussa pääosin hyvin johtavaa ja kokemuksen perusteella tiedetään kohteet, joissa tarvitaan kattavammat maadoitukset. (Haastattelu 26.4.16, Sanevuori K. verkostotarkastaja)

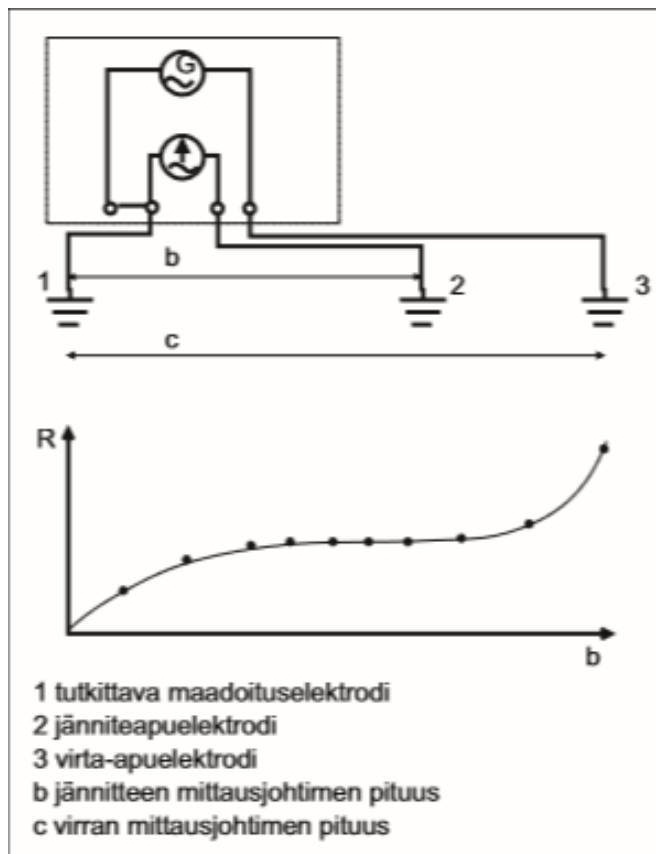
4.2 Maadoitusresistanssin mittaus

Kuten kappaleessa 3.2.1 on mainittu, SFS 6001 -standardi vaatii maadoitusresistanssin mittaamista käänne pistemenetelmällä, jotta voidaan määrittää maadoitusimpedanssi. Standardi suosittelee ohjeaikoja paikallisten maadoitusjärjestelmien maadoitusresistanssien mittaukselle. Suositeltavat aika välit ovat 6 vuotta, kun maadoitus on yhden maadoitusjohtimen varassa ja 12 vuotta, kun maadoitus on useamman kuin yhden maadoitusjohtimen varassa. (SFS 6001 2015, 147)

Turku Energialla maadoitusmittaukset ovat suoritettu 6 vuoden välein. Turku on maantieteellisesti jaettu kuuteen osa-alueeseen. Kunnossapito-ohjelman mukaan maadoitusresistanssimittaukset suoritetaan yhden alueen maadoitusjärjestelmille per vuosi, jolloin standardin suosittama 6 vuoden mittausväli toteutuu syklisesti. (Haastattelu 01.02.16, Sanervuori K. verkostotarkastaja)

4.2.1 Käänne pistemenetelmä

Käänne pistemenetelmää käytetään yksittäisten maadoituselektrodien ja pienien tai keskikokoisten maadoitusjärjestelmien mittaamiseen. Esimerkkejä kohteista ovat saua-elektrodit, vaakaelektrodit, ilmajohtopylväiden elektrodit, sekä keskijänniteverkon maadoitusjärjestelmät ja erilliset pienjänniteverkon maadoitusjärjestelmät. Esimerkki tilanne käänne pistemenetelmä mittauksesta on esitetty kuvassa 7. (SFS 6001 2015, 129)



Kuva 7, Käänne pistemenetelmä (Elovaara, J. & Laiho, Y. 2001)

Työssä muokattiin Turku Energian käänne pistemenetelmän mittausohjetta vastaamaan SFS 6001 -standardia ja verkostosuosituksia sekä headpowerin ohjetta. Muokattu ohje on liitteessä 1.

4.3 Kosketusjännitteiden mittaus

Kosketusjännitteiden mittaamiseen tulee käyttää voltti-ampeerimittarimenetelmää. Kosketusjännitettä määrittäessä on huomioitava kehon vastus, jonka oletetaan olevan $1\text{ k}\Omega$. Kun lisäresistansseja ei huomioida, voidaan maadoituselektrodin sijaan käyttää maahan vähintään 20 cm syvyydelle upotettua piikkiä, joka on sijoitettava aina yhden metrin etäisyydelle jännitteelle alttiista osasta. Betonin päällä tai muuten kuivassa maaperässä elektrodi suositellaan sijoitettavaksi märän kankaan tai vesikalvon päälle. Jännitemittarin toinen liitin yhdistetään käsielektrodiin, jonka on luotettavasti lävistettävä mahdollinen maalikerros, ja toinen liitin jalkaelektrodiin. Turku Energialla ei tähän mennessä ole ollut tarvetta kosketusjännitteiden mittaamiselle (SFS 6001 2015, 120; Haastattelu 26.4.16, Sanevuori K. verkostotarkastaja)

4.4 Laajan maadoitusjärjestelmän mittaukset

4.4.1 Uuden muuntamon liittyminen laajaan maadoitusjärjestelmään

Uuden muuntamon liittyminen laajaan maadoitusjärjestelmään tulee varmistaa vastusmittauksella. Mittaus suoritetaan ennen jännitteen kytkentää uuteen muuntamoon. Kun uusi muuntamo liitetään keskijännite –kaapelilla, käytetään uuden kj –kaapelin keskusköyttä mittausjohtimena, jonka avulla mitataan miten hyvin muut yhteydet on liitetty laajaan maadoitusjärjestelmään. Jos muiden yhteyksien kautta syntyy hyvä pieniohminen yhteys, kytketään myös mittausjohtimena toimiva keskusköysi kj –kojeiston maadoituskiskoon suunnitelman mukaisesti. (Verkostosuositus TJ 1:05, 18)

4.4.2 Kuntotarkastus

Verkostosuosituksen TJ 1-05 mukaan laajan maadoitusjärjestelmän kuntotarkastus suoritetaan mittaamalla pihtimittarityyppisellä ”maadoitustesterillä” esimerkiksi kaapeliliitäntäisen muuntamon maadoituskiskoon liitetyn jokaisen maasta nousevan maadoitusjohtimen maadoitusresistanssi. Samalla mittauksella tulee testatuksi maadoitusjohtimien, elektrodien ja myös maadoituskiskon liitokset. (Verkostosuositus TJ 1:05, 19)

Turku Energialla mittaukset tulee suorittaa jokaiseen yhdyskaapeliin, vaippaan, keskusköyteen ja maadoituselektrodiin, joka on yhteydessä laajaan maadoitusjärjestelmään. Mittaustulos ja mittaussuunta tulee kirjata tarkasti ylös. Jos mittaustulos poikkeaa normaalista (1-2 Ω), tulee selvittää mistä poikkeama johtuu. Mahdollisia poikkeaman aiheuttajia ovat esimerkiksi huonot liitokset ja maadoitusjohtimien galvaaninen yhteys peltimuuntamon runkoon. Jos yhteys on kokonaan poikki, testeri näyttää ”yli alueen”. Tällaisessa tapauksessa tulee aloittaa vian selvitys. Mittaukset tulee suorittaa niihin tarkoitettulla maadoitusvastustesterillä (pihtimittari).

4.5 Maadoitusjärjestelmien dokumentointi

Maadoitusjärjestelmästä tulee olla käytettävissä asemapiirros, josta selviää maadoitus-elektrodien materiaali ja sijainti, elektrodien haaroituspisteet sekä asennussyvyys. Ennen asennuksen vastaanottoa tulee laatia raportti, josta ilmenee että kaikki tämän standardin vaatimukset täyttyvät. Laajan maadoitusjärjestelmän ulkopuolella olevien asennusten maadoitusresistanssit on laskettava tai mitattava järjestelmällisesti ja maadoitusjännite laskettava tai mitattava. Kosketusjännitteiden tarkistukset on tarvittaessa tehtävä mittauksin tai laskelmin. Jos mittaukset ennen järjestelmän käyttöönottoa ei esimerkiksi roudan takia ole mahdollista, voidaan järjestelmä kuitenkin ottaa käyttöön sillä ehdolla että mittaukset suoritetaan heti roudan sulettua tai viimeistään vuoden kuluttua käyttöönotosta (SFS 6001 2015, 134, 147)

Jos sallittujen kosketusjänniterajojen saavuttamiseksi tarvitaan erityistoimenpiteitä, ne on sisällytettävä asemapiirrokseen ja kuvattava dokumenteissa. (SFS 6001 2015, 134)

5 MAADOITUSMITTAUSTIETOJEN HALLINNAN NYKYTILA

5.1 Access -tietokanta

Turku Energialla on maadoitusmittaustietojen säilyttämiseen käytössä Access – tietokanta, joka sisältää maadoitusmittaustietoja 1990 – luvulta alkaen. Tietokanta sisältää myös tiedot muun muassa jakelumuuntamoiden ja erotinasemien maadoitusresistansseista, laajasta maadoitusjärjestelmästä, sekä maasulkuvirroista.

Maadoitusmittaustietoja kerätään, tallennetaan ja hallitaan, jotta voidaan varmistua että SFS 6001 -standardin ja sähköturvallisuuslain asettamat turvallisuusvaatimukset täyttyvät. Tämän opinnäytetyön pääpainona on uusitun SFS 6001 -standardin vaatimusten täytyminen keskijänniteverkon maadoitusten suunnittelun osalta sekä laskennan toimivuuden ja sallittujen kosketusjännite raja-arvojen täyttymisen varmistaminen. Jotta vaatimusten täytyminen voidaan todeta luotettavasti, on verkkotietojärjestelmän ja Access -tietokannan laskentaominaisuuksien vastattava SFS 6001 -standardissa esitettyjä laskentamenetelmiä maasulkuvirtojen, maadoitusjännitteiden ja kosketusjännitteiden osalta.

5.1.1 Maasulkuvirrat

Access-tietokannassa säilytetään verkkotietojärjestelmän laskemia maasulkuvirtoja. Maasulkuvirrat tarkistetaan verkkotietojärjestelmästä ja ne päivitetään käsin Accessiin. Kuvassa 8 on Accessin esitystapa maasulkuvirroista. Kuvassa on vasemmalla kiskon tunnus, keskellä verkkotietojärjestelmän laskema maasulkuvirta ja oikealla mitoitusvirta, jota käytetään maadoitusjärjestelmiä suunniteltaessa.

Kiskon tunnus	Maasulkuvirta	Mitoitusvirta
ART 1	28,5 A	64,1 A
HHK 1	18,0 A	34,6 A
HHK 2	28,3 A	46,3 A
HRV 1	68,3 A	67,7 A
ILP 10 KV	54,7 A	95,5 A
ILP 20 KV	37,0 A	40,0 A
IITH 1	36,1 A	120,5 A
IITH 2	23,8 A	60,4 A
KMP 1	25,8 A	33,0 A
KMP 2	25,9 A	49,1 A
KNN 1	28,4 A	60,2 A
KNN 2	23,9 A	39,1 A
MIA 1	29,2 A	47,8 A
MIA 2	A	A
MLL 1	37,1 A	79,6 A
MLL 2	49,3 A	96,2 A
MNT 1	32,8 A	65,3 A
MNT 2	21,3 A	55,2 A
PKK 1	41,0 A	70,1 A

Tietue: 1 / 27 Ei suodatusta Haku

Kuva 8, Maasulkuvirrat Accessissa

Accessiin syötettyjä maasulkuvirtoja ja verkkotietojärjestelmän laskemia maasulkuvirtoja vertaillaessa huomattiin, että maasulkuvirtoja ei ole päivitetty tarpeeksi usein. Työssä tarkastettiin Turku Energian jokaisen päämuuntajan maasulkuvirrat verkkotietojärjestelmästä ja verrattiin näitä Accessissa oleviin arvoihin. Turku Energian 26 päämuuntajasta 11:sta oli Accessissa liian pieni maasulkuvirta ja suurin ero oli Hirvensalon päämuuntajassa, jossa Accessiin syötetty maasulkuvirta oli 68,3 A ja verkkotietojärjestelmän laskema maasulkuvirta 81,1 A. Tämä ei kuitenkaan ole vaikuttanut verkkoon normaalissa käyttötilanteessa, sillä Hirvensalon päämuuntajalla on sammutuskela. Haastattelun ja työssä tehdyn selvityksen perusteella maasulkuvirrat tulisi päivittää Accessiin vähintään kerran tai kaksi vuodessa. Taulukossa 6 on esitetty päivitetty ja päivittämättömät maasulkuvirrat. (Haastattelu 22.4.16, Salminen H. käyttöpäällikkö)

Taulukko 6, Maasulkuvirrat päämuuntajittain

Kiskon tunnus	Päivittämätön maasulkuvirta	Päivitetty maasulkuvirta
ART1	28,5	28,3
HHK1	18,0	18,0
HHK2	28,3	28,3
HRV1	68,3	< 81,1
ILP 10 KV	54,7	54,7
ILP 20 KV	37,0	36,0
ITH 1	36,1	31,9
ITH 2	23,8	< 29,0
KMP 1	25,8	25,7
KMP 2	25,9	< 26,2
KNN 1	28,4	25,7
KNN 2	23,9	20,8
MIA 1	29,2	< 31,7
MLL 1	37,1	35,0
MLL 2	49,3	< 52,2
MNT 1	32,8	< 36,6
MNT 2	21,3	20,1
PKK 1	41,0	< 43,3
PKK 2	5,5	5,5
PKK 3	24,7	< 26,7
PSK 1	48,9	< 55,0
RHN 1	51,3	< 55,7
RHN 2	6,3	< 7,4
RNS 1	21,7	21,2
RNS 2	35,2	31,7
SARA 1	0,7	0,7

Accessiin syötetyt mitoitus virratkaan eivät ole ajan tasalla. Esimerkiksi Hirvensalon päämuuntajalla verkkotietojärjestelmän laskema tämän hetkinen maasulkuvirta on ylittänyt Accessiin syötetyn mitoitusvirran. Mitoitusvirrat on päivitetty viime vuosikymmenellä, joten ne tullaan laskemaan uudestaan kappaleen 2.1.3 mukaisesti. Maasulkuvirtojen käsittelystä Accessissa tullaan pääsemään eroon, kun maadoitusmittaustietojen hallinta on kokonaisuudessaan siirtynyt verkkotietojärjestelmään.

5.1.2 Maadoitusresistanssit

Kuten kappaleessa 4.2.1 on mainittu, Turku Energialla maadoitusresistansseja mitataan jakelumuuntamoilla ja erotinasemilla 6 vuoden välein kunnossapito-ohjelman mukaisesti. Käännepistemenetelmällä mitatut resistanssit syötetään headpower portaalista ladattuun maadoituskorttiin, joka on esitetty liitteessä 2. Maadoituskortti piirtää automaattisesti mittaustuloksista käyrän, josta käännepiste luetaan. Tämä käännepiste on elektrodin maadoitusresistanssi, joka syötetään Access –tietokantaan. Kuvassa 9 on esitetty Accessin muuntamo -lomake. Lomakkeessa on muuntamon perustietojen lisäksi näkyvillä maadoitusresistanssi arvojen tiedot. ”Maadoitus Rm” on käännepistemenetelmällä määritetty maadoitusresistanssi, ”Rm vaatimus” on muuntamon maadoitusresistanssin vaadittu arvo, jolla täytetään sallittu kosketusjännite raja. ”Mitoitus Rm” on vaadittu arvo, jolla täytetään sallittu kosketusjännite raja, kun otetaan huomioon maasulkuvirran kasvu. Lomakkeessa on myös ”Maad. huomautus” –kenttä, johon tulee tieto täyttääkö muuntamon maadoitusresistanssi sallitun kosketusjännite rajan asettaman vaatimuksen.

The screenshot shows a web-based form titled "Muuntamot" with the following fields and values:

- Muuntamon Nro:** 0037
- Muuntamon nimi:** KONTIONKATU 21
- Omistaja:** Turku Energia
- Käyttöjännite:** 10 KV
- Käyttöönottopvm:** 27.8.1986
- Rakennusvuosi:** 1986
- Kj-lähtö:** HHK-J02
- Maad. mittausalue:** 6
- Maadoitusryhmä:** 2Tp
- Laaja maadoitusjärjestelmä:** Ei Kyllä
- Yhdistetty maadoitukseen:** Muuntamo
- Maasulkusuojaus:** Hälytys Laukaisu
- Yhdistetty maadoitukseen:** 0000
- Huomautuksia:** (Empty text area)

Below the main form, there is a section for measurements:

- MAADOITUS**
- Maadoitus Rm:** 0,04 Ω
- Mittauspäivä:** 21.11.2007
- Rm vaatimus:** 3,24 Ω
- Maad. huomautus:** Maadoitus kunnossa
- Mitoitus Rm:** 3,24 Ω

At the bottom, there are navigation buttons: Uusi muuntamo, Muuta tietoja, Tallenna, Etsi muuntamo, Selaa a,b,c..., Selaa 1,2,3..., and Sulje lomake. A status bar at the very bottom shows "Tietue: 31 / 1226" and "Suodattamaton Haku".

Kuva 9, Kontionkatu 21 muuntamo lomake

Verkostotarkastajaa haastatellessa kävi ilmi, etteivät kaikkien muuntamoiden maadoitusresistanssit vastaa todellisuutta. Kuvan 9 Kontionkatu 21 muuntamo on tästä hyvä esimerkki. Lomakkeessa maadoitusresistanssiksi on ilmoitettu 0,04 Ω . Tämä arvo on saatu todennäköisesti virheellisellä mittauksella. Mittauksessa on luultavasti huomioitu muitakin maadoitusjärjestelmän osia maadoituselektrodin lisäksi, mistä johtuen mittaus-tulos on erittäin pieni. Muuntamo lomakkeita tutkiessa ilmeni samanlaisia virheitä useil-la muuntamoilla. Tulevissa maadoitusresistanssimittauksissa tulisi kiinnittää erityistä huomioita maadoituselektrodin erottamiseen muusta järjestelmästä sekä mittaustulok-sien arvioimiseen. Jos mittaustulokset vaikuttavat todella pieniltä, tulee mittaukset suo-rittaa uudestaan. Tulevien mittausten virheiden eliminoimiseksi laadittiin päivitetty ver-sio käännepestemenetelmän ohjeesta vastaamaan standardia ja verkostosuosituksia. (Haastattelu 01.02.16, Sanevuori K. verkostotarkastaja)

Koska työssä oli tarkoituksena varmistaa laskennan toimivuus eikä ”Rm vaatimus” ken-tän laskentamenetelmästä ollut tarkkaa tietoa, työssä selvitettiin käsin laskennalla SFS 6001 -standardin esittämien kaavojen 8-10 mukaisesti, kuinka Access laskee kyseisen arvon. Selvityksen perusteella Access käyttää hälyttävässä maasulkusuojauksessa noin 75 V sallittua kosketusjännitettä ja laukaisevassa maasulkusuojauksessa noin 100 V sallittua kosketusjännitettä. Hälyttävässä suojauksessa käytetty 75 V sallittu kosketus-jännite täyttää SFS 6001 -standardin määrittämän 80 V sallitun kosketusjännitteen vaa-timuksen. Accessissa käytetty 75 V perustuu vanhaan standardiin, jossa hälyttävän suo-jauksen sallittu kosketusjännite raja oli 75 V. Accessissa käytetty laukaisevan hälytyk-sen sallittu kosketusjännite 100 V on luultavasti perustunut vanhoihin releasetteluihin. SFS 6001 -standardin mukaan 100 V sallittu kosketusjännite vaatii noin 1,1 sekunnin laukaisuaajan. Turku Energiolla pisin laukaisuaika on 0,8 sekuntia, mikä tarkoittaa että Accessin esittämät maadoitusresistanssi laskennat vastaavat SFS 6001 -standardin esit-tämiä laskentamenetelmiä ja että standardin vaatimukset täyttyvät.

$$\underline{U}_E = \underline{Z}_E \cdot \underline{I}_E \quad (8)$$

$$\underline{U}_E = F \cdot U_{Tp} \quad (9)$$

$$\underline{Z}_E = \frac{F \cdot U_{Tp}}{\underline{I}_E} \rightarrow U_{Tp} = \frac{\underline{Z}_E \cdot \underline{I}_E}{F} \quad (10)$$

, kaavoissa

\underline{U}_E on maadoitusjännite

\underline{Z}_E on vaadittu maadoitusresistanssin arvo, lomakkeessa ”Rm vaatimus”

\underline{I}_E on SFS 6001 -standardin mukainen maasulkuvirta

F on sallitun kosketusjännite arvon kerroin

U_{Tp} on sallittu kosketusjännite

Accessin maadoitusresistanssin vaatimuslaskennan selvittämistä varten luotiin Exceliin laskentaohjelma, joka perustuu kaavoihin 8-10. Selvityksessä käytiin läpi useita muuntamoja, jokaiselta Turku Energian päämuuntajalta. Esimerkkeinä Kulkkilanranta, Papinsalmenkatu 14, Paimalantie 189 ja Poikola, joiden tiedot ovat esitetty taulukoissa 6-9. Esimerkki laskuna on Kulkkilanranta.

$$U_{Tp} = \frac{2,92 \Omega \cdot 68,3 A}{2} = 99,718 V$$

Taulukko 7, Kulkkilanranta

Muuntamo	0001 Kulkkilanranta
Maasulkusuojaus	Laukaisu
Rm vaatimus (Ω)	2,92
Maasulkuvirta (A)	68,3
Sallitun kosketusjännitteen kerroin	2
Sallittukosketusjännite (V)	100

Taulukko 8, Papinsalmenkatu 14

Muuntamo	0722 Papinsalmenkatu 14
Maasulkusuojaus	Laukaisu
Rm vaatimus (Ω)	10,78
Maasulkuvirta (A)	37
Sallitun kosketusjännitteen kerroin	4
Sallittukosketusjännite (V)	100

Taulukko 9, Paimalantie 189

Muuntamo	0008 Paimalantie 189
Maasulkusuojaus	Hälytys
Rm vaatimus (Ω)	4,57
Maasulkuvirta (A)	32,8
Sallitun kosketusjännitteen kerroin	2
Sallittukosketusjännite (V)	75

Taulukko 10, Poikola

Muuntamo	9596 Poikola
Maasulkusuojaus	Hälytys
Rm vaatimus (Ω)	12,61
Maasulkuvirta (A)	23,8
Sallitun kosketusjännitteen kerroin	4
Sallittukosketusjännite (V)	75

Tarkastelussa selvisi että Access käyttää osissa muuntamoista väärää maasulkuvirtaa. Esimerkiksi Access käyttää Myllyhahteen PT2 päämuuntajan maasulkuvirtaa osissa PT1 päämuuntajan syöttämissä muuntamoissa ja päinvastoin. Sama virhe tapahtuu muidenkin sähköasemien syöttämällä muuntamoilla. Nämä virheet johtuvat siitä, että Accessin laskentaan ei ole tehty muutoksia, kun todellisia kytkentätilanteita on muutettu. Ongelma ratkaistiin työssä yhdistämällä päämuuntajien maasulkuvirrat sähköasemilla, joilla on useampi kuin 1 päämuuntaja. Tällä muutoksella varmistutaan myös sallittujen kosketusjännite vaatimusten täyttymisestä päämuuntajien korvaustilanteissa, joissa toinen sähköaseman päämuuntajista syöttää koko sähköaseman takaista verkkoa. Toinen vaihtoehto sallittujen kosketusjännite vaatimusten täyttymiseen korvaustilanteessa on määrittää suojareille nopeammat toiminta-ajat. Tämän ei kuitenkaan katsottu olevan hyvä tapa, sillä on mahdollista että asetteluarvojen muutokset unohdetaan tehdä. Myös muissa päämuuntajien korvaus tilanteissa tulee laskea suojareille sallitut kosketusjänniterajat täyttävät asetteluarvot jo korvaustilanteen suunnitteluvaiheessa. Asetteluarvot tulee määrittää SFS 6001 -standardin kuvan 15 mukaan. Noin puoliin Turku Energian verkon maasulkusuojareista olisi mahdollista asettaa kaksi asetteluarvoa, toinen normaalikäyttöön ja toinen tilanteeseen, jossa kiskokatkaisija olisi kiinni. Releet osaisivat automaattisesti valita asetteluarvon, jos kiskokatkaisijalta tuotaisiin kosketintieto releelle. Tällainen menettely tapa olisi kannattava paikoissa, joissa on huonot maadoitusolosuhteet. Turku Energian sammutetuissa verkoissa on suojareilla käytössä kaksi asetteluarvoa. Toinen asettelu on käytössä normaalissa käyttötilanteessa ja toinen kun sammutuskela ei ole käytössä.

Tietokannasta on saatavilla lista muuntamoista ja erottimista, joiden maadoitusarvot eivät täytä standardin sallittuja kosketusjännite raja-arvoja. Tämä lista perustuu kuvassa 9 esitettyjen ”Rm vaatimus” ja ”Maadoitus Rm” arvojen automaattiseen vertailuun. Access lisää puutteellisen kohteen parannettavien maadoitusten listalle, jos kohde ei kuulu laajaan maadoitusjärjestelmään ja sen mitattu ”Maadoitus Rm” arvo ylittää lasketun ”Rm vaatimus” arvon. Esimerkki parannettavat maadoitukset listasta on esitetty kuvassa 10. Koska Access ei osaa laskennassaan huomioida releiden asetteluajoja, sen ”Rm vaatimus” arvot ovat korkeammat kuin todelliset sallitut maadoitusresistanssiarvot. Tästä johtuen listalle tulostuu myös muuntamoja jotka todellisuudessa täyttävät SFS 6001 -standardin asettamat sallitut kosketusjännite rajat.

TURKU ENERGIA
Sähköverkot, Käyttötoimisto

5. helmikuuta 2016

Sivu 1 / 2

PARANNETTAVAT MAADOITUKSET

Muuntamot: Mittausalue 1

Tunnus	Muuntamon nimi	Pvm	Edellinen mittaus		Mittaus parannuksen jälkeen			Huom.
			Rm	Rm vaatim.	Elektr.	Rm 1	Sarjamitt.	
0081	AHO	#####	14,96 Ω	2,92 Ω				
0854	ERIKVALLA	11.8.2014	7,50 Ω	2,92 Ω				
0829	FRISKALANTIE	#####	7,26 Ω	2,92 Ω				
0571	HAARLA	22.7.2014	5,54 Ω	2,92 Ω				
1130	HALSSINPELLONTIE 24	21.8.2014	7,63 Ω	5,84 Ω				
0761	HENNALA	17.9.2014	3,78 Ω	2,92 Ω				
0607	HIETARANTA	7.5.2014	27,10 Ω	2,92 Ω				
0292	ITÄTALO	22.7.2014	19,20 Ω	5,84 Ω				
0845	JÄNISSAARII	3.6.2014	7,40 Ω	2,92 Ω				
0713	KEERLA	#####	29,80 Ω	2,92 Ω				
0577	KOLLI	27.8.2014	4,73 Ω	2,92 Ω				
0570	KOTIAHO	1.9.2008	5,80 Ω	2,92 Ω				
0528	KULHO	26.9.2008	11,26 Ω	5,39 Ω				
0053	KULKKILA	4.4.2014	4,43 Ω	2,92 Ω				
0001	KULKKILANRANTA	2.4.2014	3,06 Ω	2,92 Ω				
0675	KÄYRÄNMÄKI	17.9.2014	30,10 Ω	2,92 Ω				
0563	LAAKSOLUKKO	#####	21,60 Ω	5,39 Ω				
0128	LEHTIKUNNAS	#####	6,20 Ω	2,92 Ω				

Sivu 1

Kuva 10, Parannettavat maadoitukset

5.1.3 Laaja maadoitusjärjestelmä

Access –tietokannassa on muuntamoilla ja erotinasemilla merkintä laajaan maadoitusjärjestelmään kuulumisesta. Laajaa maadoitusjärjestelmää aloitetaan dokumentoimaan uuden standardin painoksen mukaiseksi. Jos dokumentointi aloitetaan ennen kuin maadoitusmittaustietojen hallinta siirtyy verkkotietojärjestelmään, voidaan Access –tietokannan muuntamo- tai erotinasemalomakkeiden ”Huomautuksia” –kenttiä hyödyntää. Kenttää tulee merkitä ylös mittaustulos, sekä mittaussuunta.

6 MAADOITUSMITTAUSTIETOJEN HALLINNAN JA LASKENNAN MAHDOLLISUUDET VERKKOTIETOJÄRJESTELMÄSSÄ

Koska työn tavoitteena oli poistaa päällekkäisyydet eri järjestelmien välillä, tutkittiin maadoitusmittaustietojen hallinnan ja laskennan mahdollisuuksia verkkotietojärjestelmässä. Tarkoituksena oli selvittää onko jakelumuuntamoiden ja erotinasemien maadoitusresistanssien mitatut arvot mahdollista esittää verkkotietojärjestelmässä ja voidaanko sallitut kosketusjännite raja-arvot täyttävät maadoitusresistanssi vaatimukset mahdollista laskea verkkotietojärjestelmässä automaattisesti. Selvitystä tehtiin tutkimalla verkkotietojärjestelmää ja sen ohjeita sekä haastattelemalla Turku Energian verkko-omaisuusasiantuntijaa ja Tieto Oyj:n asiantuntijaa, joka vastaa verkkotietojärjestelmän laskennasta.

6.1 Maadoitusmittauskäsittely verkkotietojärjestelmässä

Maadoitusmittauskäsittelyllä tarkoitetaan maadoitusmittauspisteen, maadoitusmittausten, maadoituselektrodien ja näihin liittyvien laitteiden kokonaisuutta. Maadoitusmittauksella on verkkotietojärjestelmässä oma geometria ja käyttöliittymä, jonka avulla maadoituskäsittelyä hallitaan.

Työssä tehdyssä tutkimuksessa selvisi että verkkotietojärjestelmässä on maadoitusmittauspisteet muuntamoilla ja erotinasemilla. Maadoitusmittauspisteeseen voi liittyä maadoituselektrodeja, määriteltäviä laitteita, sekä maadoitusmittauksia. Näitä relaatioita hallitaan maadoitusmittauksen käyttöliittymällä, jossa on toiminnallisuudet maadoitusmittauspisteen sijainnin, maadoitusmittausten ja pisteeseen liittyvien laitteiden hallintaan.

Maadoitusmittauspisteellä voidaan asettaa sijainti- ja attribuuttitietoja maadoituselektrodille. Sijainti asetetaan verkkotietojärjestelmän käyttöliittymällä joko apugeometriaa tai jo olemassa olevan kohteen sijaintia hyväksi käyttäen. Sijainti voidaan määritellä esimerkiksi valitsemalla maadoitus aktiiviseksi, jolloin mittauspisteen sijainniksi tulee sama kuin maadoituselektrodilla on.

Maadoitusmittaukselle voidaan maadoitusmittauspisteen käyttöliittymällä asettaa attribuuttitietoja. Maadoitusmittaus lisätään käyttöliittymän toiminnoilla ja mittaukselle an-

netaan mittausravot sekä mittaajan nimi ja mittauspäivämäärä. Viimeisin mittaustulos toimii koko maadoituksen mittaustietona.

Maadoitusmittauspisteeltä on relaatio maadoituselektrodeihin, haluttuihin kohteisiin ja maadoitusmittauksiin. Tämän relaation kautta saadaan laskentaan vaaditut maadoitus-tiedot kunkin kohteen osalta. Relaatiot näihin kohteisiin hoidetaan käyttöliittymän kaut-ta, jossa näkyy kaikki liitetyt kohteet ja niiden tunnuksot. (PowerGrid, Maadoitusmit-tauskysely)

Kuvassa 11 on esitetty verkkokuvaan digitoitu maadoitusmittauspiste ruskealla nuolella. Nuolen kärki osoittaa suunnan, johon maadoitusresistanssi mittaukset ovat käännepis-temenetelmällä tehty. Tätä suuntaa hyödynnetään muuntamon tulevissa maadoitusresis-tanssimittauksissa.



Kuva 11, Maadoitusmittauspiste

Tutkimuksissa kävi ilmi, ettei jokaiselle muuntamolle ja erotinasemalle ole digitoitu kyseisiä maadoitusmittauspisteitä. Verkkotietojärjestelmästä löytyi myös ylimääräisiä maadoitusmittauspisteitä. Ennen kuin Access –tietokannasta aletaan siirtää maadoitus-mittaustietoja verkkotietojärjestelmään, tulee puuttuvat maadoitusmittauspisteet lisätä ja ylimääräiset pisteet poistaa verkkotietojärjestelmästä. Lisäksi tutkimuksissa huomattiin, ettei kaikilla erotinasemilla ja maadoitusmittauspisteillä ole tunnusta. Puutteelliset koh-teet tulee selvittää ja niille on luotava tunnuksot, jotta maadoitusmittaustietojen hallinta verkkotietojärjestelmässä olisi mahdollista.

Kuvassa 12 on esitetty maadoitusmittauspisteen käyttöliittymä. Käyttöliittymällä on nähtävissä maadoitusmittauspisteeseen liitettyjen laitteiden ja muiden attribuuttien lisäksi sallitut kosketusjännite raja-arvot täyttävä, verkkotietojärjestelmän laskema, maadoitusresistanssin arvo, joka on esitetty tekstillä ”Vaadittu arvo”. Verkkotietojärjestelmä laskee vaaditun arvon kaavojen 8-10 mukaisesti. Accessin laskentaan verrattuna verkkotietojärjestelmän laskenta toimii luotettavammin ja paremmin. Laskenta osaa huomioida suoja-alueen toiminta-ajan, todellisen maasulkuvirran sekä sallitun kosketusjännitteen kertoimen, jota on käyttöliittymässä esitetty tekstillä ”Ryhmä”.

Maadoitusmittauspiste (0001)

Tiedosto Työkalut

Mittauspiste Mittaukset

Liitetty laitteet:

Laite	Tunnus
Muuntamo	0001

Tunnus: 0001

Maadoitusjärjestelmä: Yhdistetty maadoitus

Tyyppi	Ryhmä	Vaadittu arvo	
Pj-verkon maad./Rpj		0.000	Ω
Suojamaadoitus/Rs		0.000	Ω
Yhd.maadoitus/Ry	2xUTP	587.6	Ω

Maadoitustyyppien lkm rakenteittain:

Tyyppi/Rak:	Vaaka	Pysty	Rengas	Verkko
Käyttöm.	0	0	0	0
Suojam.	0	0	0	0

Ok

Kuva 12, Maadoitusmittauspisteen käyttöliittymä

Kuvassa 13 on esitetty maadoitusmittauspisteen käyttöliittymän mittaukset välilehti. Kyseiselle välilehdelle syötetään maadoitusresistanssimittausten tulokset, mittaustapa, mittauspäivämäärä sekä mittaaajan nimi.

Maadoitusmittauspiste (0001)

Tiedosto Työkalut

Mittauspiste Mittaukset

Maadoitusarvot: (ohm)

R _{pj}	R _s	R _z
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
R _y	Mittaustapa	Info
0.9900	<input type="text"/>	<input type="text"/>
R _{silm}	Suunta	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	
R _{silm 2}	Suunta	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Mittauspvm	Mittaaja	
13.08.2002	SUr	

Maadoitusajopvm Mittausjohtimen pituus (m) 0.000

Maadoitusmittaukset

Maadoitusmittaus	Mittauspvm	Viimeisin
Maadoitusmittaus	13.08.2002	Ok
Maadoitusmittaus	01.08.1996	

Resistanssi Etäisyys

Maadoitusarvon lisätiedot

Resistanssi	Etäisyys
Ei näytettävää	

Ok

Kuva 13, Maadoitusmittauspisteen mittaukset välilehti

6.2 Laajan maadoitusjärjestelmän dokumentointi

Laajan maadoitusjärjestelmän dokumentointi tullaan päivittämään verkkotietojärjestelmään vastaamaan SFS 6001 -standardin uutta painosta. Aluksi verkkotietojärjestelmästä selvitetään ne solmuvälit, joilla on maadoitusyhteyden muodostava kaapelityyppi ja tarkastetaan fyysisesti onko nämä maadoitusyhteydet kytketty, sillä etenkin vanhemmissa kaapelityypeissä ne ovat kuormitettavuuden parantamiseksi jätetty kytkemättä. Tä-

män jälkeen kerätään tiedot muista maadoitusverkoksi koodattavista laajemmista kohteista. Näistä yhteyksistä tullaan koodaamaan verkkokuva, johon on rajattu laajaan maadoitusjärjestelmään kuuluvat kohteet. Tästä kuvasta tulee selviämään SFS 6001 -standardin vaatimuksen mukaisesti laajaan maadoitusjärjestelmään liittyvät kohteet ja kohteiden väliset maadoitusten yhdistämiset. (Haastattelu 2.5.16, Kiviniemi M. verkko-omaisuus asiantuntija)

Laajan maadoitusjärjestelmän dokumenteista tulee myös selvittää eheysmittausten tulokset, joiden esitystapojen mahdollisuuksia verkkotietojärjestelmässä tutkittiin. Verkkotietojärjestelmän tarjoamat mahdollisuudet ovat erittäin rajatut, sillä maadoitusmittauspisteen käyttöliittymä vastaa SFS 6001 -standardin vanhaa painosta, jossa kyseisten mittaustulosten esittämistä ei vaadittu. Kuvassa 13 on nähtävillä kohdat ”Rsilm” ja ”Rsilm 2”, joihin mittaustuloksia olisi mahdollista tallentaa. Näiden jälkeisiin ”Suunta” -lokeroihin kirjattaisiin ylös minkä muuntamon tai erotinaseman suuntaan kyseinen mittaustulos on tehty. Kuten kappaleessa 3.4 on mainittu, standardi vaatii että yksittäisen muuntamon maadoituksen on liityttävä vähintään kahden muun muuntamon maadoitukseen ja myös muulla tavalla esimerkiksi pienjänniteverkon kautta. Tämä tarkoittaa että yhden muuntamon dokumenteissa tulisi olla tallennettuna vähintään 3 mittaustulosta, mikä ei maadoitusmittauspisteellä ole tällä hetkellä mahdollista.

Verkkotietojärjestelmän ohjeen mukaan maadoitusmittauspisteellä pitäisi ohjeen mukaan olla mahdollisuus valita maadoitusryhmäksi ”Laaja”, jolloin se osaisi laskennassaan huomioida laajaan maadoitusjärjestelmään kuulumisen. Verkkotietojärjestelmää tutkiessa kuitenkin selvisi, ettei kyseistä kohtaa ole mahdollista valita.

Laajan maadoitusjärjestelmän dokumentoinnin puutteista ilmoitettiin verkkotietojärjestelmästä vastaavalle Tieto Oyj:lle, jolta ei saatu vastauksia työn aikana.

6.3 Verkkotietojärjestelmän erikoiskyselyt

Verkkotietojärjestelmällä voidaan tehdä erikoiskyselyjä. Kysely voidaan tehdä esimerkiksi muuntamoiden tai erotinasemien maadoitusresistanssi vaatimusten täyttymisestä. Kysely vertailee mitattuja maadoitusresistanssi arvoja laskettuihin vaatimuservoihin ja tämän perusteella tulostaa listalle muuntamot joiden vaatimukset ei täyty. Ominaisuutta verkko-omaisuusasiantuntijan kanssa tutkiessa selvisi että verkkotietojärjestelmä tulostaa listalle myös kohteita, joilla mitattu maadoitusresistanssi on pienempi kuin laskettu vaadittu arvo. Verkkotietojärjestelmästä tai sen ohjeista ei myöskään selvinnyt osaako kysely huomioida laajaan maadoitusjärjestelmään kuulumisen. Ongelmiin yritettiin saada vastauksia verkkotietojärjestelmästä vastaavalta Tieto Oyj:ltä, mutta niitä ei saatu.

7 POHDINTA

Keskijänniteverkon maadoitusten tärkeys ja kosketusjännitteiden vakavuus on korostunut lähivuosina. Tämä käy ilmi SFS 6001 -standardin uudesta 4. painoksesta, jossa vaatimukset maadoitusten ja sallittujen kosketusjännitteiden suhteen ovat tiukentuneet. Vaatimusten tiukentuessa Turku Energialle tuli ajankohtaiseksi kartoittaa maadoitusmittaustietojen hallinnan ja hyödyntämisen nykytila ja standardin esittämien vaatimusten täytyminen.

Työn tarkoituksena oli selvittää SFS 6001 -standardin uuden painoksen vaatimukset maadoitusjärjestelmien suunnitteluun ja vaarajännitelaskentaan liittyen sekä varmistaa niiden täytyminen Turku Energialla. Työ aloitettiin kertaamalla maadoituksiin ja maasulkuihin liittyvä teoria aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta. Tämän jälkeen perehdyttiin SFS 6001 -standardiin ja verrattiin tämän vaatimuksia Turku Energian nykytilaan. Turku Energian maadoitusmittaustietojen hallinnan ja hyödyntämisen nykytila selvitettiin haastatteleamalla Turku Energian henkilöstöä ja perehtymällä käytössä olevaan verkkotietojärjestelmään ja sen laskentaominaisuuksiin sekä maadoitusmittaustietojen hallintaan käytettyyn Access -tietokantaan ja sen suorittamaan laskentaan. Laskentojen toimivuus varmistettiin käsin laskien käyttämällä SFS 6001 -standardin esittämiä menetelmiä.

Työssä löydettiin puutteita Turku Energian maadoitusmittaustietojen hallinnassa sekä virheitä verkkotietojärjestelmästä ja Access -tietokannasta. Turku Energiasta riippuvat puutteet ja virheet saatiin työssä pääosin korjattua ja korjaamattomiin virheisiin löydettiin ratkaisut. Turku Energiasta riippumattomista puutteista ilmoitettiin niistä vastaavalle taholle. Verkkotietojärjestelmän maasulkuvirtalaskenta todettiin toimivan standardin mukaisesti, mutta Accessin laskennasta löydettiin puutteita.

Työn tavoitteena oli poistaa eri järjestelmien päällekkäisyydet maadoitusmittaustietojen hallinnassa ja hyödyntämisessä. Tällä hetkellä päällekkäisyyttä aiheuttaa Access -tietokanta, jossa säilytetään maadoitusmittaustietoja sekä suoritetaan maadoitusresistanssi vaatimusten laskennat, joilla täytetään SFS 6001 -standardin sallitut kosketusjänniterajat. Työssä tehdyn tutkimuksen perusteella Accessin käyttö olisi pitänyt ohjeistaa ja dokumentoida paremmin ennen sen laatijan eläkkeelle lähtöä. Puutteellisesta ohjeituksesta johtuen tietokannan ylläpito on ollut haasteellista. Accessin käyttö laskentatyö-

kaluna ei ole ollut paras mahdollinen vaihtoehto. Se ei osaa huomioida releiden asetteluarvoja lainkaan, eikä maasulkuvirran muutoksia ellei niitä päivitetä tietokantaan manuaalisesti. Tietokanta ei myöskään osaa huomioida kytkentätilojen muutoksia. Työssä tutkittiin tavoitteen täyttämiseksi maadoitusmittaustietojen hallinnan ja hyödyntämisen mahdollisuuksia verkkotietojärjestelmässä. Verkkotietojärjestelmässä olisi mahdollista säilyttää maadoitusresistanssimittausten tuloksia sekä suorittaa sallitut kosketusjännite-rajat täyttävät maadoitusresistanssivaatimuslaskennat. Verkkotietojärjestelmän laskentaominaisuus olisi parempi kuin Accessissa tällä hetkellä suoritettu laskenta, sillä se osaisi huomioida kaikki aiemmin mainitut Accessin laskennan puutteet. Pääallekkäisyydestä luopuminen ei kuitenkaan ole vielä mahdollista, sillä verkkotietojärjestelmän maadoitusresistanssin mittaustuloksen ja lasketun vaaditun maadoitusresistanssi arvon vertailu ominaisuus ei toimi oikein. Myöskään laajan maadoitusjärjestelmän dokumentoinnin mahdollisuudet verkkotietojärjestelmässä ei täytä standardin uuden painoksen esittämiä vaatimuksia. Kun nämä puutteet verkkotietojärjestelmässä on korjattu, voidaan luopua maadoitusmittaustietojen hallinnasta ja hyödyntämisestä Access – tietokannassa.

LÄHTEET

Adato Oy. Verkostosuositus TJ 1:05

Elovaara, J. & Laiho, Y. 1988. Sähkölaitostekniikan perusteet. 4. jatkopainos. Helsinki: Otatieto Oy

Soil Resistivity Measurement. Fluke. Luettu 1.2.16.

<http://www.fluke.com/fluke/caen/solutions/earthground/soil-resistivity-method>

Kiviniemi, M. verkko-omaisuusasiantuntija. 2016. Haastattelu 15.4.16. Haastattelija Rautasalo, M. Turku

Kiviniemi, M. verkko-omaisuusasiantuntija. 2016. Haastattelu 2.5.16. Haastattelija Rautasalo, M. Turku

Kotikivi, T. verkostosuunnittelija. 2016. Haastattelu 6.4.16. Haastattelija Rautasalo, M. Turku

PowerGrid. Maadoitusmittauskysely. Käyttöohje. Käyttöohje. Luettu 29.4.16

Rantanen, J. rakennuttamispäällikkö. 2016. Haastattelu 26.4.16. Haastattelija Rautasalo, M. Turku

Salminen, H. käyttöpäällikkö. 2016. Haastattelu 22.4.16. Haastattelija Rautasalo, M. Turku

Sanevuori, K. verkostotarkastaja. 2016. Haastattelu 1.2.16. Haastattelija Rautasalo, M. Turku

Sanevuori, K. verkostotarkastaja. 2016. Haastattelu 14.4.16. Haastattelija Rautasalo, M. Turku

Sanevuori, K. verkostotarkastaja. 2016. Haastattelu 26.4.16. Haastattelija Rautasalo, M. Turku

SFS ry. 2009. SFS 6001 -standardi, 3. Painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS ry. 2015. SFS 6001 -standardi, 4. Painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Suomalaiset ABB-yhtiöt. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita. 9. Painos Vaasa: Vaasa Oy

Tarkiainen, H. lehtori. 2016. Haastattelu 14.1.16. Haastattelija Rautasalo, M. Tampere

LIITTEET

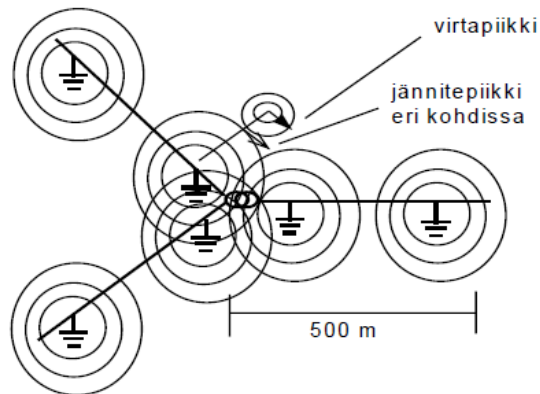
Liite 1. Käännepistemenetelmän mittausohje 2016

Maadoitusresistanssimittaukset

- SFS 6001 mukaan mittaus on tehtävä ennen käyttöönottoa.
- Mikäli maa on roudassa, tehdään heti keväällä roudan sulettua.
- Käyttöönottomittausten jälkeen mittausväli 6 vuotta
- Mittaustapa on käännepistemenetelmä.
- Jos mahdollista, niin mittaajille tieto edellisen mittauksen suunnasta esim. verkkotietojärjestelmästä.
- Mittaukset tulee suorittaa samaan suuntaan kuin edellinen mittaus, jos se on mahdollista.
- Ensimmäinen mittaus aina 200m johdoilla, mikäli maasto sen mahdollistaa.
- Virta- ja jännitejohtimet kelalta ulos maastoon (etäisyys toisistaan n. 1 m).
- Irrotetaan mitattava elektrodi muusta järjestelmä
- Upotetaan mittauselektrodit maahan väh. 0.5 m syvyyteen, jos se on mahdollista. Huonosti johtavilla mailla käytetään kahta rinnan kytkettyä piikkiä.
- Mitattavan maadoituselektrodin, jännitepiikin ja virtapiikin tulee olla suorassa linjassa
- Jännitepiikin etäisyys mitattavasta maadoituselektrodista väh. 2,5 x maad.elektrodin enimmäispituus (mittaussuunnassa), kuitenkin väh. 20m.
- Virtapiikin etäisyys väh. 4 x maad.elektrodin enimmäispituus, kuitenkin väh. 40m.
- Kiinnitetään johtimet maahan upotettuihin metallipiikkoihin luotettavasti.
- Liitetään mittari em. johtimiin ja mitattavaan elektrodiin (maad.kiskoon).
- Suoritetaan mittaus ja merkitään tulos muistiin (headpower maadoituskorttiin).
- Jännitejohdinta kelataan takaisin kelalle 20m ja suoritetaan uusi mittaus.
- Näin jatketaan kunnes viimeinen mittaustulos 20 m kohdalta on kirjattu muistiin (huom väh. 2,5 x mitattavan elektrodin enimmäispituus (mittaussuunnassa)).
- Tuloksista piirretään käyrä.
- Mikäli käyrämuoto ei ole oikea, vaihdetaan mittaussuunta tai –paikka, kunnes saadaan käyrä, jolta löytyy vaakaosuus tai käännepiste.
- Käyrästä etsitään käännepistekohta tai myös käyrän suoralta osalta voidaan lukea tulos. Myös 63 % sääntö on kelvollinen.
- Tulokset kirjataan muuntamon/linjaerottimen maadoituskorttiin ja verkkotietojärjestelmään
- Saatua tulosta verrataan sallittuun maadoitusresistanssiarvoon ja maadoitusta parannetaan tarpeen mukaan.
- Jos on maastotallennin käytössä, tulos tallennetaan sille ja siirretään myöhemmin verkkotietojärjestelmään. Verkkotietojärjestelmään nuoli mittaussuuntaan päin.
- **HUOM! UKONILMALLA EI MITATA!**
- **HUOM! 200m johdot vaativat sujuvaa yhteydenottoa varten radiopuhelimet.**
- **HUOM! Kuva 1 ja 2**
- **HUOM! Sähköasemien maadoitusresistansseja mitattaessa tulee noudattaa verkostosuosituksia TJ: 1-05**
- **HUOM! Mittaustaajuus ei saa olla 50 Hz kerrannainen**

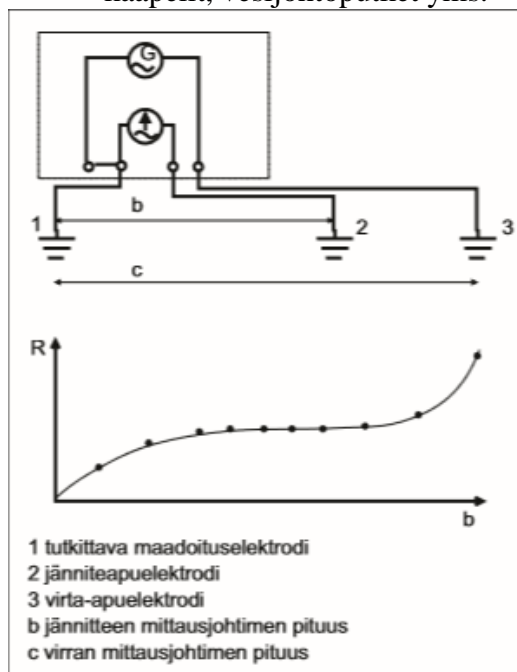
Maadoitusmittauksista lisää:

- Pot.tasausrenkaan eheyden tarkastusmittaus voidaan suorittaa vastusmittarilla, asennustesterillä tai myös maadoitusresistanssimittarilla.
- Renkaan toinen pää irrotetaan ja mittaus suoritetaan.
- Maadoituspihtimittarilla mitataan maadoitusjohtimesta ja kaikista KJ-kaapeleiden mukana tulevista CU-köysistä maadoitusarvot.
- **Huom! Yksittäistä maadoituselektrodia ei ko. pihdillä voi mitata.**



Kuva 14, Verkostosuositus TJ:1-05

- Kuvan 1 mukaisessa tilanteessa 200 metrin mittasuoralla voi olla vaikeuksia löytää neutraalimaata eli jännitepiikillä potentiaalirenkaiden välistä neutraalivyöhykettä.
- Pyritään valitsemaan mittaussuunta siten ettei se osu muiden elektrodien vaikutusalueelle
- Tulee myös huomioida että mittaustuloksiin voi vaikuttaa mittareitillä olevat kaapelit, vesijohtoputket yms.



Kuva 15, Käännepistemenetelmä

