



**LAAJAN MAADOITUSJÄRJESTELMÄN MÄÄRITTELY JA  
DOKUMENTOINTI SAVON VOIMA VERKKO OY:N  
SÄHKÖVERKOSSA**

**Opinnäytetyö**

**Mika Rautaparta**

**Sähkötekniikan koulutusohjelma**  
Teollisuuden sähkö- ja automaatiotekniikka

Hyväksytty \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_ \_\_\_\_\_

**SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU TEKNIikka KUOPIO**

Koulutusohjelma

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Tekijä

Mika Rautaparta

Työn nimi

Laajan maadoitusjärjestelmän määrittely ja dokumentointi Savon Voima Verkko Oy:n sähköverkossa

Työn laji

Opinnäytetyö

Päiväys

19.3.2010

Sivumäärä

58

Työn valvoja

Yliopettaja Juhani Rouvali

Yrityksen yhdyshenkilö

Käyttöpäällikkö Pekka Miettinen

Yritys

Savon Voima Verkko Oy

Tiivistelmä

Tämän insinöörityön aiheena oli määrittellä laaja maadoitusjärjestelmä Savon Voima Verkko Oy:n tarpeisiin sekä dokumentoida esimerkkikohteen laajat maadoitusjärjestelmät verkkotietojärjestelmään. Työssä selvitettiin myös laajojen maadoitusjärjestelmien luoma säästöpotentiaali maadoitusmittausten tarpeen poistumisen kannalta.

Laaja maadoitusjärjestelmä määriteltiin standardin SFS 6001, standardiluonnoksen prEN 50522 ja muiden maadoituksia käsittelevien tekstien perusteella. Määritelmän perusteella dokumentoitiin Suomenjoen kaupungin alueella sijaitsevat mahdolliset laajan maadoitusjärjestelmän alueet Tieto Oy:n PowerGrid-verkkotietojärjestelmään. Työn aikana todettiin, ettei Suomenjoella nykyisellään ole yhtään laajan maadoitusjärjestelmän aluetta, mutta verkon muutoksilla semmoisia voitaisiin rakentaa.

Savon Voima Verkko Oy:n verkkoalueella laajoja maadoitusjärjestelmiä nykyisellään sijaitsee Iisalmen, Varkauden sekä Pieksämäen kaupunkien keskustoissa. Työssä todettiin, että mikäli näiden kaupunkien maadoitukset dokumentoitaisiin laajoina maadoitusjärjestelminä, saataisiin maadoitusmittauksista säästöjä kuusivuositain noin 9 000 € ja 24 vuoden aikana nykyarvoon diskontattuna hieman vajaat 22 000 €. Pitkien takaisinmaksuaikojen ja pienten säästöjen vuoksi maadoitusten yhdistäminen laajan maadoitusjärjestelmän luomiseksi ei ole kannattavaa, ainakaan pelkkien maadoitusmittauksien tarpeen poistamiseksi. Laajan maadoitusjärjestelmän mukanaan tuoman paremman maadoituksen edut täytyy erikseen ottaa huomioon arvioitaessa muutosten tuomia hyötyjä.

Työn aikana arvioitiin myös PowerGrid-verkkotietojärjestelmän soveltuvuutta maadoitusjärjestelmien dokumentointiin sekä tuotettiin dokumentointiohje Savon Voima Verkko Oy:n sisäiseen käyttöön.

Avainsanat

laaja maadoitusjärjestelmä, maadoitus

Luottamuksellisuus

julkinen

# SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme

Electrical Engineering

Author

Mika Rautaparta

Title of Project

Defining and Documenting of Global Earthing Systems in the Network of Savon Voima Verkko Oy

Type of Project

Final Project

Date

19 March 2010

Pages

58

Academic Supervisor

Mr Juhani Rouvali, Principal Lecturer

Company Supervisor

Mr Pekka Miettinen, BEng.

Company

Savon Voima Verkko Oy

Abstract

The aim of this thesis was to define global earthing systems for the use of Savon Voima Verkko Oy in Finland and to document an example site to the network information system.

The definition of global earthing systems was derived from the Finnish standard SFS 6001, CENELEC draft prEN 50522 and other books dealing with earthing. Based on this definition, possible global earthing systems in the city of Suonenjoki were digitised to Tieto Oy's PowerGrid network information system. It was found out that at the moment there are no global earthing systems in Suonenjoki, but there are possibilities to build one or more.

There are global earthing systems in city centres of Iisalmi, Varkaus and Pieksämäki in Savon Voima Verkko Oy's network. It was calculated that if the earthing systems of these cities were to be documented as global earthing systems, there would be savings of almost 9 000 € every six years, because the measurement of earthing systems would not be required. The present value of the sum of savings during 24 years, sums up to slightly less than 22 000 €. Restructuring the network to create a global earthing system, only to gain exemption to the requirement of earthing measurements, was not found to be cost-effective due to small amount of savings and long return on investment period. The benefits of good earthing, due to global earthing systems, must be taken into account when assessing the gains of restructuring.

In addition to this, the suitability of PowerGrid network information system for the documentation of earthing was assessed and a documentation guide was written for the internal use of Savon Voima Verkko Oy.

Keywords

global earthing system, earthing

Confidentiality

public

## Alkusanat

Tämä työ on tehty Savon Voima Verkko Oy:n antamasta aiheesta kesällä 2009. Haluan kiittää Savon Voiman henkilökuntaa viihtyisästä työilmapiiristä ja varsinkin käyttöpäällikkö Pekka Miettistä mielenkiintoisesta päättötyöaiheesta. Kiitokset kuuluvat myös kaikille opettajilleni, jotka ovat vuosien saatossa edesautta-  
neet koulutustani. Ei pidä myöskään unohtaman perhettä ja ystäviä, joiden tuki on aina kaikille tärkeää.

Laajan maadoitusjärjestelmän määrittely oli laaja ja mielenkiintoinen tutkimus-  
kohde. Tarkan määritelmän tuottaminen, mikäli yleensäkin mahdollista, vaa-  
tisi paljon enemmän aikaa ja resursseja. Maadoitukset kokonaisuudessaan ovat  
niin laaja tutkimuksen kohde, että syventymiseen saisi kulumaan aikaa vaikka  
vuosia. Mielestäni työn tavoitteet saavutettiin ja työn laajuus vastasi hyvin am-  
mattikorkeakoulun opinnäytetyön vaatimuksia.

Kuopiossa 19. maaliskuuta 2010

---

Rautaparta Mika

# SISÄLLYS

Symbolit, käsitteet ja lyhenteet	6
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 LAAJA MAADOITUSJÄRJESTELMÄ</b>	<b>8</b>
2.1 Laajan maadoitusjärjestelmän määrittely . . . . .	8
2.1.1 Standardit ja asetukset . . . . .	9
2.1.2 Lopullinen määritelmä . . . . .	18
2.2 Maadoitusjohtimien mitoitus . . . . .	20
2.2.1 Standardin vaatimukset . . . . .	21
2.2.2 Johtimen poikkipinnan likiarvon laskeminen . . . . .	23
2.2.3 Savon Voimalla käytössä olevat kaapelit . . . . .	25
2.3 Esimerkkikohte . . . . .	26
2.3.1 Esimerkkikohteen tarkoitus ja merkitys työlle . . . . .	26
2.3.2 Tietoa esimerkkikohteesta . . . . .	27
2.3.3 Esimerkkikohteen dokumentointi . . . . .	28
<b>3 POWERGRID-VERKKOTIETOJÄRJESTELMÄ</b>	<b>37</b>
3.1 PG:n valmiudet ja puutteet . . . . .	37
3.2 Maadoitusten dokumentointi . . . . .	42
<b>4 LAAJAN MAADOITUSJÄRJESTELMÄN TALOUDELLISET VAIKUTUKSET</b>	<b>44</b>
4.1 Tarkastelun perusteet . . . . .	44
4.2 Tarkastelun periaate . . . . .	44
4.3 Laskelmat . . . . .	47
<b>5 LAAJAN MAADOITUSJÄRJESTELMÄN MAHDOLLISUUDET SAVON VOIMAN VERKOSSA</b>	<b>53</b>
5.1 Lähtökohdat . . . . .	53
5.2 Taloustarkastelu . . . . .	54
5.3 Suositus . . . . .	55
<b>6 YHTEENVETO</b>	<b>57</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>58</b>

## Symbolit, käsitteet ja lyhenteet

$A$  johtimen poikkipinta-ala

$\beta$  virrallisen osan resistanssin lämpötilakertoimen käänteisarvo

$I$  virta

$K$  virrallisen osan materiaalista riippuva vakio

$l$  johtimen pituus

$P$  diskonttokerroin

$R$  vastus

$r$  vuosikorko

$\rho$  ominaisvastus

$T$  periodi

$t$  kesto aika

$\Theta_f$  loppulämpötila

$\Theta_i$  alkulämpötila

$U_E$  maadoitusjännite

$U_{Tp}$  sallittu kosketusjännite

SFS 6001:

”Nimellisjännitteeltään yli 1 kV vaihtojännitteisiä tai yli 1,5 kV tasajännitteisiä sähköasennuksia nimitetään suurjännitesähköasennuksiksi ja nimellisjännitteeltään enintään 1 kV vaihtojännitteisiä tai enintään 1,5 kV tasajännitteisiä asennuksia nimitetään pienjännitesähköasennuksiksi.”

”Tässä standardissa sähköasemalla tarkoitetaan sekä nimellisjännitteeltään vähintään 110 kV suurjännitesähköasemia että alle 110 kV ns. keskijännitteeseen liitettyjä jakelumuuntamoita ja kytkinlaitoksia (kojeistoja, erotinasemia ja yksittäin asennettuja johtoerottimia). Jos joku vaatimus koskee vain jakelumuuntamoita, keskijännitekytkinlaitoksia tai suurjännitesähköasemia, on siitä mainittu erikseen.” [1]

# 1 JOHDANTO

Standardissa SFS 6001 käytetään, mutta ei määritellä, termiä ”laaja maadoitusjärjestelmä”. Laajan maadoitusjärjestelmän määritelmä on kuitenkin verkkoyhtiöille tärkeä kyseistä standardia tulkittaessa. Mikäli jonkin alueen maadoitusjärjestelmä todetaan ja dokumentoidaan laajaksi maadoitusjärjestelmäksi, voi dokumentointi johtaa verkkoyhtiön kulujen pienentymiseen. Tämä johtuu siitä, että liitettäessä uusia maadoituksia olemassa olevaan laajaan maadoitusjärjestelmään, ei näille tarvitse suorittaa maadoitusmittauksia, vaan uusien järjestelmän osien laajaan maadoitusjärjestelmään liittymisen varmistaminen riittää. Myös maadoitusjärjestelmien määräväleihin (6–12 vuotta) suoritettavien tarkastusten ja mittausten tarve poistuu ja kunto voidaan todeta muilla tavoin. Mikäli taloudellisten säästöjen todetaan olevan tarpeeksi suuret, voi tulla jopa kannattavaksi muuttaa maadoitusverkon rakennetta siten, että järjestelmä saadaan laajan maadoitusjärjestelmän määritelmän mukaiseksi ja hyödyt käyttöön.

Tämän työn tavoitteena on määritellä standardin SFS 6001 asettamat vaatimukset laajan maadoitusjärjestelmän rakenteelle, käyttöönotolle ja kunnossapidolle sekä tuottaa ohjeistus kyseisen järjestelmän dokumentointia varten. Teoriaosuuksien lisäksi työhön kuuluu käytännön esimerkkikohteen maadoitusverkon rakenteen selvittäminen ja dokumentointi verkkotietojärjestelmään maastotarkastusten avulla. Samalla testataan Tieto Oy:n PowerGrid-ohjelmiston soveltuvuutta laajojen maadoitusjärjestelmien dokumentointiin. Työssä lasketaan myös mahdolliset säästöt, jotka järjestelmän määrittelyllä voitaisiin koko yhtiön alueella saavuttaa.

## 2 LAAJA MAADOITUSJÄRJESTELMÄ

### 2.1 Laajan maadoitusjärjestelmän määrittely

Suomessa sähköverkon käyttöä ja rakennuttamista säätelevät sähkömarkkina-laki, sähköturvallisuuslaki ja erinäiset säädökset. Standardit antavat suosituksia, joita seuraamalla saadaan aikaiseksi turvallinen ja helppokäyttöinen kokonaisuus, joka on lakien ja asetusten mukainen. Tässä työssä on keskitytty Suomen Standardisoimisliiton standardin *SFS 6001 Suurjännitesähköasennukset* laajalle maadoitusjärjestelmälle asettamiin vaatimuksiin. Lähteiksi on pyritty keräämään myös mahdollisimman tuoreita maadoituksia käsitteleviä julkaisuja työn kohteena olevan käsitteen suhteellisen uutuuden vuoksi. Laajoiksi maadoitusjärjestelmiksi luettavia kokonaisuuksia on toki ollut olemassa jo kauan, varsinkin suurilla teollisuusalueilla sekä taajamissa, mutta ne on alustavasti määritelty vasta 1990-luvun lopulla. Suomessa laajan maadoitusjärjestelmän käsite ilmestyi standardeihin vuonna 2001 SFS 6001:n mukana.

Työssä käytettiin lähteinä SFS 6001 -standardia [1], Energiateollisuus ry:n verkostosuosituksia, Maadoituskirjaa [2], CENELECin lausuntokierroksella käynytä standardiehdotusta prEN 50522:2008 [3], Savon Voima Verkko Oy:n sisäisiä menettelyohjeita sekä internetistä löytyneitä maadoituksia käsitteleviä oppaita ja tekstejä. Näistä koottiin laajaa maadoitusjärjestelmää koskevat osat; ne sekä niistä johdettu laajan maadoitusjärjestelmän määritelmä esitetään myöhemmin tässä opinnäytetyöraportissa.

Työn suoritusta suunniteltaessa harkittiin, miten laajan maadoitusjärjestelmän määrittely saataisiin parhaiten suoritettua. Vaihtoehtoisia työn suoritustapoja olisivat olleet ainakin

- standardien erillismaadoituksille asettamien vaatimusten soveltaminen laajalle maadoitusjärjestelmälle
- verkon laskennallisen tai tietokonemallin tuottaminen ja tutkiminen
- laajan maadoitusjärjestelmän toteaminen mittauksilla.

Aloituspalaverissa päädyttiin siihen, että opinnäytetyöhön sisältyvä laajan maadoitusverkon määrittely suoritetaan kirjallisuustutkimuksen mukaisesti. Määritelmä johdetaan standardien ja muiden lähteiden tekstien pohjalta.



Työssä keskityttiin kosketusjännitteiden ja yhteismaadoitusten asettamiin vaatimuksiin. Näiden lisäksi standardi SFS 6001 käsittelee maadoituksen mitoitus- ta korroosionkestävyyden ja mekaanisen lujuuden sekä termisen lujuuden perusteella. Standardi käsittelee maadoitusten rakennetta myös maadoituselektrodien ja -johtimien asentamisen, suurtaajuisten häiriöiden vaikutusten vähentämisen, siirtyvien jännitteiden, ukkossuojauksen sekä laitteiden ja asennusten maadoittamisen kannalta.

### 2.1.1 Standardit ja asetukset

Suomen Standardisoimisliitto SFS:n julkaiseman SFS 6001 -standardin laajan maadoitusjärjestelmän määritelmä on epämääräinen ja yksityiskohdaton. Käytännössä laajan maadoitusjärjestelmän määritelmää täytyy tarkentaa. Standardi SFS 6001 määrittelee käsitteelle *laaja maadoitusjärjestelmä* käännöksen *global earthing system*.

”Maadoitusjärjestelmä on tehty liittämällä useat paikalliset lähellä toisiaan olevat maadoitusjärjestelmät verkkomaisesti yhteen siten, että järjestelmä muodostaa lähes tasapotentiaalipinnan. Järjestelmän laajuus ja maadoitusverkon tiheys varmistavat sen, ettei kyseisellä alueella esiinny vaarallisia kosketusjännitteitä.

HUOM. Laajassa maadoitusjärjestelmässä yhdistetään kaikki lähellään toisiaan olevat eri jännitetasojen (syöttöasemien ja jakelumuuntamoiden) maadoitusverkot useasta eri kohdasta. Tyypillisiä esimerkkejä laajoista maadoitusjärjestelmistä ovat taajamat ja teollisuusalueet, joissa on lähellä toisiaan useita muuntamoita.”[1]

Kaikkien maadoitusjärjestelmien täytyy täyttää standardin maadoitusjärjestelmien rakenteelle asettamat neljä vaatimusta:

- a) riittävä mekaaninen lujuus ja korroosionkestävyys
- b) suurimman vikavirran kestävyys termisesti (suurin vikavirta saadaan tavallisesti laskemalla)
- c) omaisuuden ja laitteiden vaurioitumisen estäminen
- d) henkilöiden turvallisuuden varmistaminen suurimman maasulkuvirran aikana maadoitusjärjestelmissä esiintyvien jännitteiden suhteen. [1]

Kohdan a) tarkastelu tehdään samoin riippumatta käytettävästä maadoitusjärjestelmästä. Maadoitusjohtimien mitoitus on käsitelty osiossa 2.2. Vaatimusten b), c) ja d) täyttämiseen saadaan apua laajasta maadoitusjärjestelmästä:

- b) Useat maasulkuvirran virtatiet parantavat maadoituksen vikavirran termistä kestävyyttä.
- c) Tasapotentiaali jokaisen laitteen ja maadoitusjärjestelmän välillä vähentää laiterikkoja ja poistaa sähkömagneettisten kenttien aiheuttamia häiriöitä [4].
- d) Maadoituksen alueella ei esiinny henkilöille vaarallisia kosketus- ja askeljännitteitä [1].

”SFS 6001 edellyttää, että suurjännite- ja pienjänniteverkon maadoitukset yhdistetään aina, kun se on mahdollista. Muuntamolle rakennetaan yhteinen maadoituselektrodi keskijännitteelle alttiiden osien suojamaadoitukselle ja pienjänniteverkon maadoitukselle. Pienjänniteverkon maadoitukset rakennetaan standardin SFS 6000 mukaan ottaen huomioon SFS 6001:ssä esitetyt ehdot yhdistetyille maadoituksille. Määräävänä maadoitusimpedanssin arvona on muuntopiirissä resuloiva maadoitusimpedanssi (kaikkien muuntopiirin maadoitusten yhteisvaikutus).” [5] Helpoin tapa täyttää edellä mainitut yhdistettyjen maadoitusten ehdot on luoda laaja maadoitusjärjestelmä.

Jakeluverkon maadoitusten muodostaessa standardin mukaisen laajan maadoitusjärjestelmän, ei sen maadoitusvastusta tarvitse mitata muuta kuin siinä tapauksessa, että siihen liitetään uuden 100 kV sähköaseman maadoitus. Näin, koska maasulkuvirta 110 kV puolelta voi olla yli 100 kertaa suurempi kuin 20 kV maasulkuvirta. Mittaus tapahtuu sähköaseman maadoitusmittauksena ja kosketusjännitevaatimuksena voidaan pitää esim. vaatimusta  $U_E = 2 \times U_{Tp}$ , jossa  $U_E$  on maadoitusjännite ja  $U_{Tp}$  sallittu kosketusjännite. [6]

SFS 6001 opastavan liitteen P mukaan ”laajan maadoitusjärjestelmän ulkopuolella olevien asennusten maadoitusresistanssi on laskettava tai mitattava järjestelmällisesti – ja maadoitusjännite on laskettava tai mitattava. Kosketusjännitteen tarkastus on tarvittaessa tehtävä mittauksin tai laskelmin. Laajan maadoitusjärjestelmän sisäpuolella perussuunnitelma on riittävä, eikä ole tarvetta tarkastaa maadoitusresistanssia tai maadoitusjännitettä. Yksittäisen maadoituksen liittyminen koko maadoitusjärjestelmään on kuitenkin tarkistettava.” [1] Ei pidä kuitenkaan unohtaa itse laitteiston ja jännitteisten osien sekä jännitteisten osien ja maan välisten vähimmäisetaisyyskysien tai muidenkaan suojaetäisyyskysien ja merkintöjen tarkastuksia asennuksen yhteydessä.

Standardin mukaisesti sallittujen kosketusjännitteiden arvojen katsotaan toteutuvan, jos

- ehto C1 tai C2 toteutuu:
  - C1: asennus on osa **laajaa maadoitusjärjestelmää**.
  - C2: mittauksilla tai laskemalla määritetty **maadoitusjännite ei ole suurempi kuin** [standardin SFS 6001] **kuvan 9.1 mukaisen sallitun kosketusjännitteen arvo kaksinkertaisena.**

tai

- toteutetaan [standardin SFS 6001] liitteessä D kuvatut **erityistoimenpiteet M**, jotka riippuvat maadoitusjännitteen suuruudesta ja vian kestoajasta. [1]

”Askeljännitteiden sallitut arvot ovat vähän suurempia kuin sallitut kosketusjännitteet. Jos maadoitusjärjestelmässä toteutuvat kosketusjännitevaatimukset, voidaan olettaa, että vaarallisia askeljännitteitä ei yleensä esiinny.” [1, s. 73] Sekä kosketus- että askeljännitteiden vaatimukset siis täyttyvät laajan maadoitusjärjestelmän alueella.

Laajasta maadoitusjärjestelmästä on standardin mukaisesti hyötyä myös maasulkujen aikaisen käytön jatkamisen kannalta. ”Maasulusta on tultava hälytys, joka saatetaan verkon käyttöä valvovan henkilön tietoon. Vian selvittämiseen on ryhdyttävä välittömästi. Käyttöä maasulussa voidaan jatkaa yleensä enintään kahden tunnin ajan ellei ole ilmeistä, että maasulusta aiheutuu välitöntä vaaraa ihmisille tai omaisuudelle tai kohtuutonta häiriötä toiselle laitteistolle. Käyttöä maasulussa voidaan jatkaa pitempään vain, jos maasulun sijaintikohta on löydetty ja varmistetaan ettei siitä aiheudu vaaraa. *Jos maasulku sijaitsee jakelumuuntamolla, joka ei ole laajan maadoitusjärjestelmän alueella, ei käyttöä saa jatkaa.*” [1] Tällöin täytyy ottaa huomioon mahdollisesti laajaan maadoitusjärjestelmään kytkettyjen televerkkojen asettamat vaatimukset.

Laajasta maadoitusjärjestelmästä voi olla jakeluyhtiöille turvallisuuden ja käytövarmuuden lisäksi taloudellista hyötyä. Esimerkiksi jos uuden muuntopiirin voidaan todeta liittyvän luotettavasti ja usean yhteyden kautta laajaan maadoitusjärjestelmään, ei sille tarvitse suorittaa erillisiä maadoitusmittauksia. Laajaan maadoitusjärjestelmään liitetyn maadoituksen impedanssia ei myöskään tarvitse määrääjain mitata. ”Laajan maadoitusjärjestelmän ehtojen täyttymistä ei tarvitse kokonaisuutena tutkia silloin, kun olemassa olevaan laajaan maadoitusjärjestelmään liitetään uusia paikallisia maadoituksia (esim. uusia jakelumuuntamoita). Uusien järjestelmien osien liittyminen laajaan maadoitusjärjestelmään on

kuitenkin varmistettava.” [1] Turvallisuuden, useista kiinnityspisteistä johtuvan vikasietoisuuden sekä muiden etujen ansiosta onkin suositeltavaa pyrkiä laajaan maadoitusjärjestelmään. Laajankin maadoitusjärjestelmän alueella täytyy kuitenkin muistaa tarkistaa ja varoa ns. siirtyvää potentiaalia (esimerkiksi joltakin toiselta alueelta tuleva suojattu putki, kaapeli tai jokin muu johdin, joka on eri potentiaalissa).

Laajaan maadoitusjärjestelmään yhdistetään kaikki sen alueella olevat sähköjärjestelmän jännitteelle alttiit osat. Energiateollisuus ry:n verkostosuosituksen RJ 19:06 mukaan ”laajan maadoitusjärjestelmän yhdistysjohtimina toimivat:

- suurjännitekaapeleiden vaipat ja keskusköydet
- pienjänniteverkon PEN-johtimet sekä maakaapeleissa että ilmajohdoissa
- mahdolliset erilliset muuntamoita yhdistävät maadoitusjohtimet ja elektrodit
- tarvittaessa voidaan muuntamoiden maadoituksia yhdistää myös keskijänniteilmajohdon pylväisiin rakennetuilla maadoitusjohtimilla.” [5]

”Laajan maadoitusjärjestelmän maadoituksina toimivat sähköasemien, muuntamoiden, pienjänniteverkon ja liittymien maadoitukset. Taajamissa on myös 110/20 kV (tai 10 kV) sähköasemien maadoitukset liitetty laajaan maadoitusjärjestelmään. Laaja maadoitusjärjestelmä voi myös muodostua muuntopiirien verkoista, joiden kokonaismaadoitusimpedanssi täyttää ehdon  $U_E \leq 2 \times U_{Tp}$ . Tapausten tulkinta jää verkonhaltijalle. On huomattava, että jokaiselle uudelle muuntopiirille on tehtävä maadoitukset muuntamolle ja verkolle asennusstandardien mukaan. Laaja maadoitusjärjestelmä ei tee tästä poikkeusta.” [5] ”Laaja maadoitusjärjestelmä voi muodostua jo kolmen muuntopiirin maadoituksista, jos niiden maadoitusverkko muodostaa verkkomaisen ja riittävän tiheän maadoitusalueen. Kukin muuntamo tulee liittyä usealla (2–3) yhteydellä laajaan maadoitusjärjestelmään. Kaksi yhteyttä syntyy usein suurjännitekaapeleiden avulla lähimuuntamoihin ja pienjänniteverkon kautta muodostuu helposti useita yhteyksiä. Tällöin ei yksi maadoitusjohdinvaurio katkaise yhteyttä laajaan maadoitusjärjestelmään.” [6] Täytyy ottaa huomioon, että Suomessa KJ-avojohdolla ei yleensä ole maadoitusjohdinta. Tällöin kyseeseen voivat tulla ukkosköydet.

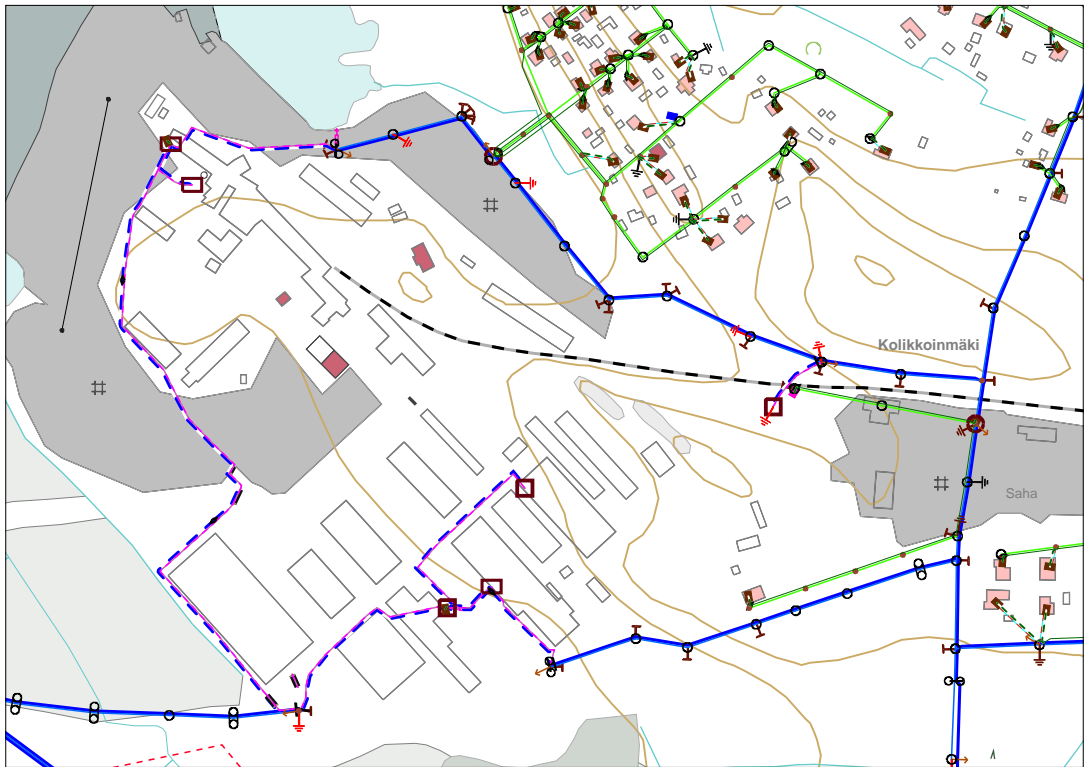
Koska vikavirta hajaantuu useaan maadoituselektrodijärjestelmään, voidaan kukin elektrodi mitoittaa ainoastaan osalle vikavirtaa. [1] SENERin (Sähköenergialiitto ry) verkostosuosituksen *RM 5:03 Pylväsmuuntamon maadoitusjohtimet, ylijännitesuojaus ja eläinsuojaus* mukaan, keskijänniteverkon suurehko maasulkuvirta

tai kaksoismaasulun virta voi aiheuttaa tarpeen suurentaa keskijännitteelle alttiiden osien suojamaadoitusjohtimien poikkipintaa, etenkin jos muuntamon maadoituselektrodi yhdistyy laajaan maadoitusjärjestelmään. Laajan maadoitusjärjestelmän tai muiden hyvien maadoitusten yhteydessä voi suuremman poikkipinnan käyttö maadoituselektrodissa olla perusteltua varsinkin silloin, kun elektrodi toimii samalla maadoitusjohtimena. [7] Suurjännitejärjestelmien termisen kuormituksen sekä maadoitus- ja kosketusjännitteiden perusteella tapahtuvaan maadoitusjärjestelmien suunnitteluun liittyvät virrat löytyvät SFS 6001 taulukosta 5. Maadoitusjohtimien mitoitus on käsitelty enemmän osiossa 2.2.

SFS 6001 -standardin kappaleiden 9.4.1 ehdot yhteisen maadoituksen käytölle ja 9.4.3 suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmän alueen ulkopuolella olevat pienjänniteasennukset mukaan pienjännitejärjestelmän tähtipiste tai PEN-johdin voidaan maadoittaa suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmään, eli voidaan käyttää yhteistä maadoitusta, jos suurjänniteasennuksen maadoitusjärjestelmä kytketään laajaan maadoitusjärjestelmään. Tällöin, nykyään PJ-puolella käytetyssä TN maadoitusjärjestelmässä, PJ-verkon vikojen lisäksi KJ- ja SJ-verkkojen viat voivat aiheuttaa kosketusjännitteen nousua loppukäyttäjän päässä. Laajan maadoitusjärjestelmän pitää täyttää seuraavat ehdot suurjänniteasennuksessa tapahtuvan maasulun aikana:

- Pienjännitejakeluverkossa tai siihen liitetyissä sähkön käyttäjän laitteistossa ei esiinny vaarallisia kosketusjännitteitä.
- Sähkön käyttäjän pienjännitteisessä laitteistossa esiintyvä pienjännitejärjestelmän tähtipisteen potentiaalinen nousu johtuva käyttötajuisen rasisusjännitteen suuruus ei ylitä sallittuja arvoja. [1]

Verkkoyhtiöille tärkeänä voidaan pitää standardin SFS 6001 kohtaa 9.4.2 *Suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmän alueen sisäpuolella olevat pienjänniteasennukset*, jota voidaan usein soveltaa sähköasemilla ja teollisuusverkoissa. Tämän kohdan mukaan jos suurjänniteasennus syöttää pienjänniteasennuksia, jotka ovat suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmän alueen sisäpuolella, kaikki suoja- ja järjestelmämaadoitukset on kytkettävä yhteiseen maadoitusjärjestelmään. Tällöin pienjännitejärjestelmille asetettujen ehtojen katsotaan toteutuvan. [1] Sähköasemilla ja teollisuusalueilla sijaitsevan laajan maadoitusjärjestelmän tapauksessa tilanne on edellä kuvaillun mukainen. Kuvassa 1 on nähtävillä Suomenjoen Iisvedellä sijaitseva teollisuusalue. Teollisuusaluetta syöttävät muuntamot 20001, 20038, 20800, 20801, 20802, 20803, 20804 ja 20806. Itse teollisuuslaitoksen sisäisestä verkosta ja maadoituksista ei verkkotietojärjestelmässä ole tietoja.



**Kuva 1.** Esimerkkikuva teollisuusaluetta syöttävästä KJ-verkosta ja muuntamoista.

Energiateollisuus ry:n verkostosuositus YJ 1:08 *sähköverkonhaltijain sekä televerkko-operaattorien pylväiden ja maadoitusten yhteiskäyttöä koskeva toimintaohje* sanoo näin tele- ja sähköverkkojen yhteismaadoituksesta, joka koskee näin ollen myös laajoja maadoitusjärjestelmiä: ”Yhteismaadoituksella tarkoitetaan maadoitustapaa, jossa tele- ja sähköjakeluverkolla käytetään yhteistä maadoitinta (elektrodia) tai kun verkkojen toisiaan lähellä olevat maadoittimet yhdistetään pysyvästi toisiinsa. Tällaisia yhteismaadoituksia voidaan suunnitella ja rakentaa tele- tai suuryhteisantenniverkon ja pienjännitteisen sähköjakeluverkon tai ulkovalaistusverkon välille. Yhteismaadoituksilla pyritään pienentämään ukkosylijännitteistä syntyviä potentiaalieroja ja välttämään turhien maadoittimien rakentamista. Yhteismaadoitus voidaan toteuttaa, jos maadoitin täyttää sekä sähkö- että televerkon asettamat vaatimukset myös yhdistämisen jälkeen. Pelkästään suurjännitteisen sähköjakeluverkon erillismaadoituksia ei saa tähän tarkoitukseen käyttää. Sen sijaan suur- ja pienjännitteisen sähköjakeluverkon yhteismaadoituksia voidaan käyttää myös televerkon ja sähköjakeluverkon yhteismaadoitukseen.

– – Maadoitusresistanssia laskettaessa on otettava huomioon kaikki rinnan kytketyt maadoitukset sekä niiden kanssa sarjaan kytketyt telekaapelin vaipan tai muun yhdysjohdon resistanssit. Tekemällä useampia maadoituksia parane maadoituksen luotettavuus, sillä yhden maadoituksen vioittuminen ei poista koko maadoitusta. – – Kun maadoitusresistanssi tai maadoittimien rakennetiedot ovat

käytettävissä ja maadoittimien on todettu täyttävän osapuolen tähän kohteeseen asettamat vaatimukset, liittää yhteismaadoitusta tarvitseva osapuoli maadoitettavat rakenteensa maadoitusjohtimeen. Ellei maadoitusresistanssi tai maadoituksen rakenne täytä yritysten vaatimuksia, tarvitseva osapuoli parantaa maadoitusta lisämaadoittimin tai yhdistämällä olevia erillisiä maadoittimia. – – Televerkon maadoituselektrodi ei saa ulottua 20 m lähemmäksi SJ-verkon (20 kV) erillismaadoitusta. – – Jos pienjänniteverkon yhteispylväässä on maadoitus, televerkko suositellaan yhdistettäväksi siihen. Suurjännitepylväiden yhteiskäytöissä maadoitukset toteutetaan aina erillisen suunnitelman mukaisesti.” [8] Näin ollen laajan maadoitusverkon alueella voi, ja pitääkin, kun ei niitä kunnolla voi erosakaan pitää, myös televerkot ja -laitteet maadoittaa laajaan maadoitusjärjestelmään. YJ 1:08 tarjoaa lisää tietoa ja vaatimuksia kyseisistä yhteismaadoituksista.

Suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmää käytetään myös ukkossuojaukseen [1]. ”Televerkon ja pienjänniteverkon yhteisissä maadoituksissa ukkosylijännitteitä vastaan varauduttaessa pitää maadoitettavat rakenteet ja yhdistettävät maadoittimet olla yleensä samalla pylväällä suojauksen onnistumiseksi. Kauempana olevista maadoittimista ei ole sanottavaa hyötyä.” [8] ”Useilla telelaitteilla on yhteydet sekä sähkö- että televerkkoon. Näissä tapauksissa tasapotentiaalinen liitos on eduksi, jotta vältetään jännite-erot (esimerkiksi ukkossuojauksen tapauksessa). – – Sähkömagneettisen yhteensopivuuden parantamisen kannalta (laitteiden kokema jänniterasitus vikavirtojen tai ukkosen johdosta) laaja maadoitusjärjestelmä on paras ratkaisu, kun kyseeseen tulevat erilaiset verkot (sähköverkko, televerkko, putkitukset...).” [9]

Energiateollisuus ry:n verkostosuositus *TJ 1:05 sähkönjakeluverkkojen maadoitusmittaukset* sanoo uuden muuntamon liittämistä laajaan maadoitusjärjestelmään ja siihen liittyvistä mittauksista: ”Laajan maadoitusjärjestelmän syntyminen selvitetään jo suunnitteluvaiheessa. Kun liitetään uusi muuntamo laajaan maadoitusjärjestelmään tulee:

- uuden muuntamon liittyminen laajaan maadoitusjärjestelmään tulee varmistaa vastusmittauksella. Mittaus suoritetaan ennen jännitteen kytkentää uuteen muuntamoon. Kun uusi muuntamo liitetään KJ-kaapelilla esim. AHXAMK, 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.

- varmistaa, että pienjänniteverkon kautta muodostuu riittävät yhteydet laajaan maadoitusjärjestelmään. Jos yhteyksiä ei heti rakenneta riittävästi, ei synny laajaa maadoitusjärjestelmää tai se syntyy vasta myöhemmin. Muuntopiirin maadoitusjärjestelmän maadoitusvastus tulee tällöin mitata.
- ilmajohtoalueilla varmistaa, että yhteydet laajaan maadoitusjärjestelmään syntyvät. Jos PEN-johtimien kautta ei synny riittäviä yhteyksiä, rakennetaan esim. KJ-verkon pylväisiin muuntamot yhdistävä maadoitusjohdin. Muuntamoiden välistä maadoitusjohdinta voidaan käyttää myös mittausjohtimena tutkittaessa muita yhteyksiä (vrt. kaapelialueen muuntamo).” [6]

Maadoituskirjassa [2] on hyviä huomautuksia laajaan maadoitusjärjestelmään liittyen:

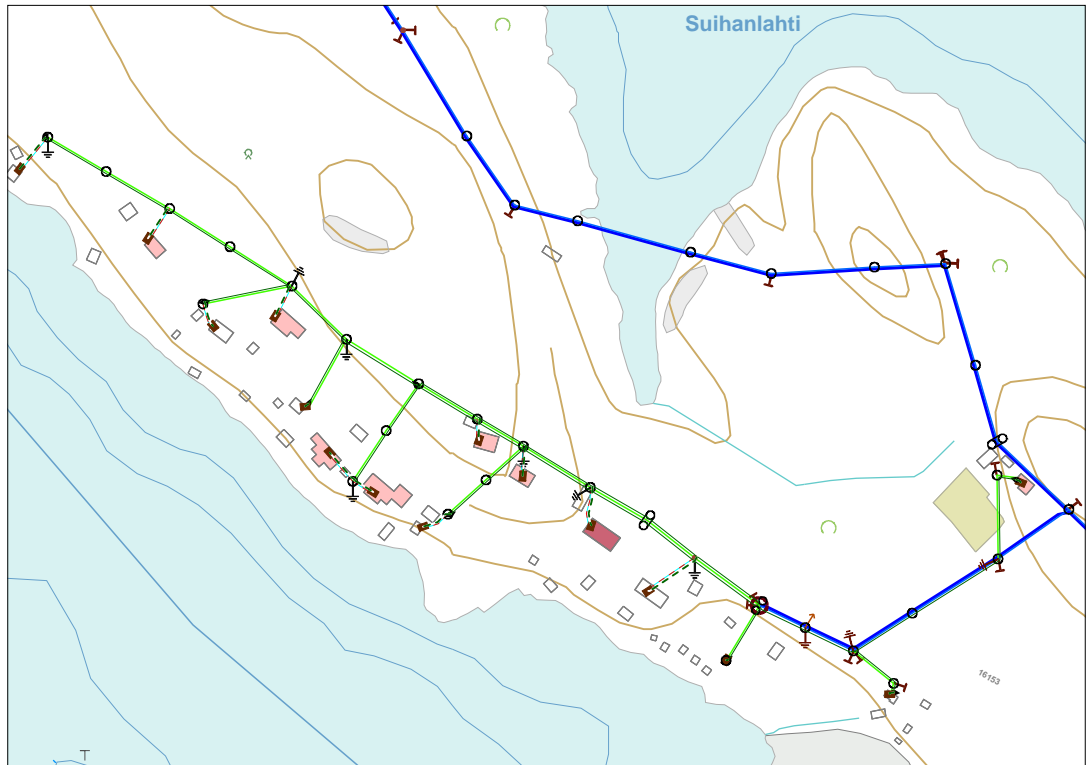
- ”Rivimäinen muuntamoketju, esimerkiksi jokivarren asutuksessa, ei muodosta laajaa maadoitusjärjestelmää, koska siitä puuttuu verkkomaisuus ja riittävä tiheys.
- Ruutukaavamaiselle kaupunkialueelle muodostuu usein laaja maadoitusjärjestelmä.
- Laajan maadoitusjärjestelmän syntyminen tulisi osoittaa piirtämällä kaavio maadoitusjärjestelmien yhteyksistä.

Vaaraa aiheuttavat alueet:

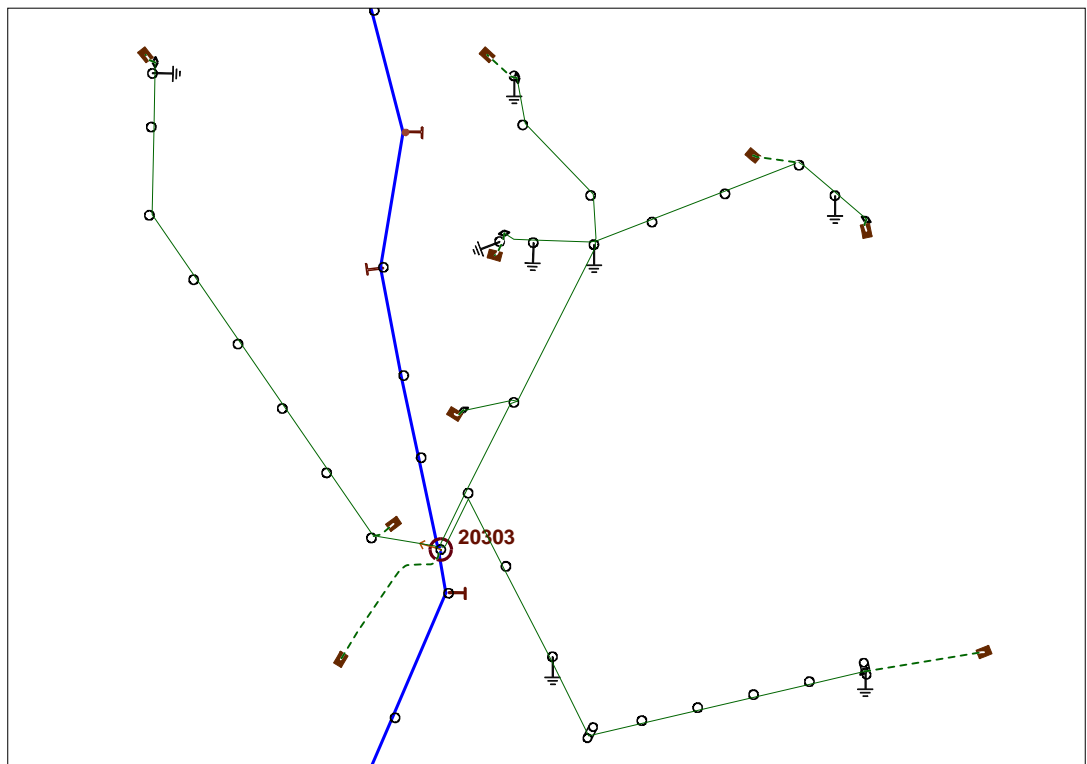
- Laajan maadoitusjärjestelmän reunoilla voi muodostua tilanne, että järjestelmään kuulumattomalta muuntamolta syötetään laajan maadoitusjärjestelmän alueelle, jolloin vikatilanteessa suuri virta voi siirtyä esim. puhelinverkon kaapelivaippojen kautta aiheuttaen vaikeuksia.
- Reuna-alueet tulee tarkistaa ja tarpeen mukaan joko erottaa syötöt niin, ettei vaaraa esiinny tai sitten rakentaa vikavirran kestävätkä yhteydet laajaan maadoitusjärjestelmään.” [2]

Sivulla 17 olevassa kuvassa 2 on nähtävillä esimerkki rannan asutuksesta, jolle ei muodostu laajaa maadoitusjärjestelmää, juuri edellä mainitun verkkomaisuuden puuttumisen takia. Toinen esimerkki alueesta, jolla selkeästi ei muodostu laajaa maadoitusjärjestelmää, on kuvassa 3, jonka rakenne on säteittäinen eikä ollenkaan verkkomainen.





**Kuva 2.** Esimerkkikuva rannassa sijaitsevasta asutuksesta, joka ei muodosta laajaa maadoitusjärjestelmää, koska tarvittava verkkomaisuus puuttuu.



**Kuva 3.** Esimerkkikuva säteittäisestä verkosta, joka selkeästi ei muodosta laajaa maadoitusjärjestelmää, koska tarvittava verkkomaisuus puuttuu.

### 2.1.2 Lopullinen määritelmä

Edellisessä luvussa läpi käytyjen standardien ja tekstien perusteella päädyttiin seuraavaan laajan maadoitusjärjestelmän määritelmään:

Laaja maadoitusjärjestelmä on verkkomainen maadoitusjärjestelmä, jossa alueen kaikkien maadoitusten maadoituselektrodit jännitetasosta riippumatta on kytketty maadoitusjohtimilla toisiinsa. Laajan maadoitusverkon toiminnan varmistamiseksi jokaiselle maadoitukselle vaaditaan useampi kuin yksi maadoitusjohdin, jotta verkkomainen rakenne muodostuu ja säilyy verkon muutoksissa. Näin taataan koko maadoitusverkolle matala maadoitusimpedanssi, vikavirtojen virranjako ja matalat askel- ja kosketusjännitteet. Hyviä esimerkkejä laajasta maadoitusjärjestelmästä ovat taajamien ja teollisuusalueiden ruutukaavamaiset maadoitusverkot, joissa maasulkuvirralla on useita, verkon kannalta lyhyitä virtaiteitä. Laajalle maadoitusjärjestelmälle onkin liki mahdotonta kirjoittaa yleispätevää määritelmää, vaan jokaisen alueen maadoitusta on tarkasteltava tapauskohtaisesti. Tarkastelussa on keskityttävä siihen, että jos jokin maadoitusjohdin tai -elektrodi poistetaan tai poistuu käytöstä, itse maadoitusjärjestelmän toiminta ei siitä vaarannu, vaan standardien vaatimukset yhä täyttyvät. Laaja maadoitusjärjestelmä vaatii siis useita verkon kannalta lähemmäs olevia standardien mukaisia maadoituksia toisiinsa maadoitusjohtimilla yhdistettyinä. Useiden virtaiteiden ansiosta maadoitusjohtimet ja -elektrodit voidaan mahdollisesti mitoittaa pienemmille virroille. On kuitenkin hyvä muistaa, että keskijänniteverkon suurehko maasulkuvirta voi aiheuttaa tarpeen suurentaa pienjänniteverkon suoja- maadoitusjohtimien poikkipintaa, varsinkin jos elektrodi toimii samalla maadoitusjohtimena.

IEC:ltä on tulossa uusi suurjännitesähköasennuksia koskeva standardi *IEC 61936-1 Ed. 2.0: Power Installations Exceeding 1 kV a.c. - Part 1: Common rules* ja CENELECiltä siihen läheisesti liittyvä eurooppalainen *prEN 50522:2008 Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c.*, eli vapaasti suomennettuna *yli 1 kV vaihtojännitteiset suurjännitesähköasennukset, osa 1: yleiset säännöt ja yli 1 kV vaihtojännitteisten suurjännitesähköasennusten maadoitukset*. Molemmat ovat olleet lausuntokierroksilla, jotka ovat päättyneet 30.1.2009. Ensin mainitusta on pidetty äänestys, jossa se on hyväksytty kommentein. Jälkimmäisen äänestyskierros on tämän työn kirjoitusvaiheessa alkamassa. Koska standardiehdotuksen *prEN 50522* aihe liittyy niin läheisesti tämän työn aiheeseen, hankittiin kyseinen teos luettavaksi ja lähteenä käytettäväksi. Ainoana tätä työtä koskevana muutoksena suomalaiseseen SFS 6001+A1 -standardiin verrattuna voidaan pitää viimeistä opastavaa liitettä *Annex O, Global Earthing System* (Liite O, laaja maadoitusjärjestelmä). Kyseisessä

liitteessä on ensimmäinen virallinen, tai siihen pyrkivä, laajan maadoitusjärjestelmän määritelmä, joka on SFS 6001 -standardissa tutuksi tullutta yksityiskohteisempi. Tosin tämäkään ei ole vielä kovin tarkka. Alla on vapaa suomennos kyseisen liitteen tekstistä.

Laajan maadoitusjärjestelmän määritelmä perustuu sille, että alueella ei esiinny ollenkaan, tai liki ollenkaan, potentiaalieroja. Yksinkertaista tai yksittäistä sääntöä laajojen maadoitusjärjestelmien tunnistamiseen ei ole.

Yleisesti:

- Matala kokonaisvastus on hyödyksi, muttei takaa mitään. Tämän vuoksi standardi ei aseta minimivaatimusta resistanssille. Asennuksien, jotka sijaitsevat alueella, jolla on korkea maaperän resistiivisyys ja joilla on muutenkin suuret resistanssien arvot, turvallisuusvaatimukset voivat täytyä lisäresistanssien ja riittävän potentiaaliohjauksen ansiosta.
- Maadoitusjännitteet eivät nouse korkeiksi pienten vikavirtojen ansiosta.
- Sopivat kaapelivaippojen tai maadoitusjohtimien reduktiokertoimet johtavat vikavirran jakautumiseen rajoittaen maadoitusjännitteen arvoa.
- Lyhyet viat nostavat siedettäviä kosketusjännitteitä ja tämän seurauksena erot sallittuihin kosketusjännitteisiin pienenevät.

On olemassa menetelmiä, joiden avulla turvallisuusvaatimuksia voidaan noudattaa. Menetelmiä noudatettaessa paikalliset olosuhteet pitää ottaa huomioon. Tulokset voidaan varmistaa mittauksilla tai laskelmilla.

Tyypitapauksia alueista, joilla voi olla laaja maadoitusjärjestelmä:

- Jakelumuuntamo, jonka ympärillä on rakennuksia, joiden perustuksiin on upotettu maadoituselektrodeja ja maadoitusjärjestelmät on yhdistetty esimerkiksi kaapelivaipalla tai pienjänniteverkon suojamaadoitusjohtimilla.
- Jakelumuuntamo syöttää taajamaa tai muuta tiheästi rakennettua aluetta.
- Jakelumuuntamo syöttää esikaupunkialuetta, jossa on monia maadoituselektrodeja, jotka on yhdistetty pienjänniteverkon maadoitusjohtimilla.
- Muuntamo, jonka lähellä on useita toisia muuntamoita.
- Muuntamo, jolla on useita pitkiä maadoituselektrodeja.

- Muuntamo, joka on liitetty verkkoon kaapeleilla, joiden vaippa, suoja, armeeraus tai keskusköysi toimivat maadoituselektrodina.
- Muuntamo syöttää laajaa teollisuusaluetta.
- Muuntamot ovat osa suurjänniteverkkoa, jonka nollajohdin on maadoitettu useasta pisteestä. [3]

## 2.2 Maadoitusjohtimien mitoitus

Työssä selvitettiin, millaisen kaapelin vaippa tai muu maadoitusjohtimena toimiva rakenne on standardien mukaisesti riittävä, jotta maadoitusten voidaan lukea kuuluvan samaan maadoitusjärjestelmään. Standardin SFS 6001 kohta 9.2.2.2 *Maadoitusjohtimet* antaa mekaanisen lujuuden ja korroosion takia vähimmäispoikkipinnat maadoitusjohtimille ja 9.2.3 *Mitoitus termisen lujuuden perusteella* antaa ohjeet tarkempaan mitoitukseen. Standardin SFS 6001 liitteessä B esitetään laskeusasäännöt maadoitusjohtimien tai maadoituselektrodien poikkipinnalle. Standardin SFS 6001 liite J *Ilmajohdojen ukkosjohtimiin ja maakaapelivaippoihin liittyvät reduktiokertoimet* antaa tarvittavat reduktiokertoimet.

Mikäli laajan maadoitusjärjestelmän yhdistysjohtimena, tai muuten maadoitusjohtimena, käytetään kaapelin metallivaippaa, täytyy ottaa selvälle, mistä päistä se on kytketty maadoitusjärjestelmään. ABB:n TTT-käsikirjan mukaan: "Voimakaapelien johtavat metallivaipat on maadoitettava. Kolmivaihekaapeli, jolla on yhteinen metallivaippa, maadoitetaan yleensä molemmista päistä. Koska vaippaan indusoituu virta, joka heikentää kaapelin kuormitettavuutta, maadoitetaan suojatun yksivaiheisen ja vaihekohtaisesti suojatun kolmivaihekaapelin metallivaipat vain toisesta päästä, mikäli kaapelin kuormitettavuus sitä vaatii." [10]

"Kaapelin pituuden ollessa n. 300 m tai enemmän, on kaapeli maadoitettava molemmista päistä. (Virtajohtimen vaippaan indusoima jännite saattaa nousta yli 75 V). Samoin kaapelin suojavaippa on maadoitettava molemmista päistä mikäli kaapeli kulkee veden alla. Sääto- ja ohjauskaapelien vaippojen maadoitus tulisi suorittaa säteittäisesti vain yhdessä pisteessä. Kuitenkin MLORM-tyyppiset kaapelit maadoitetaan molemmista päistään, jos pituus on yli 100 m." [10]

### 2.2.1 Standardin vaatimukset

SFS 6001:n mukaan mekaanisen lujuuden ja korroosionkestävyyden takia vähimmäispoikkipinnat ovat [1]:

**Kupari:** 16 mm<sup>2</sup> (mittamuuntajien maadoitusjohtimien osalta ks. myös SFS 6001 liite F.5)

**Alumiini:** 35 mm<sup>2</sup>

**Teräs:** 50 mm<sup>2</sup>

SFS 6001 velvoittavan liitteen B mukaan alle 5 s kestävällä vikavirroilla maadoitusjohtimen tai maadoituselektrodin poikkipinta on laskettava seuraavasta yhtälöstä [1]:

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}} \quad (1)$$

jossa

$A$  on poikkipinta (mm<sup>2</sup>).

$I$  on johtimen virran tehollisarvo (A).

$t$  on vikavirran kesto aika (s).

$K$  on virrallisen osan materiaalista riippuva vakio (taulukossa 1 esitetään arvot yleisimmille materiaaleille olettaen alkulämpötilan olevan 20 °C).

$\beta$  on virrallisen osan resistanssin lämpötilakertoimen käänteisarvo lämpötilassa 0 °C (ks. taulukko 1).

$\Theta_i$  on alkulämpötila (°C) (Alkulämpötilana käytetään yleensä 20 °C:ta. Suomessa voidaan käyttää standardin IEC 60287-3-1 mukaan myös arvoa 15 °C.).

$\Theta_f$  on loppulämpötila (°C).

**Taulukko 1.** Materiaalista riippuvien vakioiden arvot [1].

Materiaali	$\beta$ (°C)	$K(\frac{A \cdot \sqrt{s}}{mm^2})$
Kupari	234,5	226
Alumiini	228	148
Teräs	202	78

Yhtälöstä 1 saadaan 16 mm<sup>2</sup> kupariselle maadoitusjohtimelle 150 °C loppulämpötilassa

$$A = \frac{I}{226 \frac{A \cdot \sqrt{s}}{mm^2}} \cdot \sqrt{\frac{5 s}{\ln \frac{150^\circ C + 234,5^\circ C}{20^\circ C + 234,5^\circ C}}} = 16 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow I = \frac{16 \text{ mm}^2 \cdot 226 \frac{A \cdot \sqrt{s}}{mm^2}}{\sqrt{\frac{5 s}{\ln \frac{150^\circ C + 234,5^\circ C}{20^\circ C + 234,5^\circ C}}}} = 1038,8 \text{ A}$$

Standardin SFS 6001 liitteen B mukaisella yhtälöllä laskettaessa 16 mm<sup>2</sup> kupariselle maadoitusjohtimelle sallitaan siis alle 5 s kestävä 1030 A vikavirran tehollisarvo 150 °C:n loppulämpötilalla. Mikäli maadoitusjohdin sekä olosuhteet sallivat 300 °C loppulämpötilan käytön, vikavirta voi olla jopa suurempi. SFS 6001:n mukaan Suomessa voidaan käyttää myös alkulämpötilaa 15 °C, mikä nostaisi laskettua arvoa hieman. Alumiiniselle 35 mm<sup>2</sup> maadoitusjohtimelle saadaan

$$I = \frac{35 \text{ mm}^2 \cdot 148 \frac{A \cdot \sqrt{s}}{mm^2}}{\sqrt{\frac{5 s}{\ln \frac{150^\circ C + 228^\circ C}{20^\circ C + 228^\circ C}}}} = 1503,9 \text{ A}$$

35 mm<sup>2</sup> alumiiniselle maadoitusjohtimelle sallitaan siis alle 5 s kestävä 1500 A vikavirran tehollisarvo 150 °C:n loppulämpötilalla. Käytettävä loppulämpötila määräytyy johtimen pinnoitteen materiaalin mukaan. Pinnoitetuille johtimille käytetään pääasiallisesti 150 °C ja pinnoittamattomille 300 °C loppulämpötilaa.

Maadoituskirjan [2, s. 82] mukaan ”jakeluverkkojen suurjännitteillä 10–20 kV yleisin järjestelmä on ’sammuutettu’ tai ’maasta erotettu verkko’ ja silloin maasulkuvirrat ovat luokkaa 5–200 A”. Lisäksi laajassa maadoitusjärjestelmässä vikavirrat jakautuvat usealle maadoitusjohtimelle ja maadoituselektrodille, joten voidaan olettaa, ettei yli 1 kA vikavirtoja esiinny. Täten voidaan yksinkertaistaen sanoa, että vähintään 16 mm<sup>2</sup> kuparia tai 35 mm<sup>2</sup> alumiinia joko PEN-johtimessa,

ukkosköydessä, kannatusköydessä, erillisessä maadoitusjohtimessa, armeerauksessa tai kaapelivaipassa riittää laajan maadoitusjärjestelmän mukaisten maadoituspisteiden väliseksi maadoitusjohtimeksi.

Kaapelin paljas keskusköysi, kuten AHXAMK-W paljas kupariköysi, toimii maahan asennettuna maadoituselektrodin tavoin, joten paljaat keskusköydet on mitoitettava standardin maadoituselektrodille asettamien vaatimusten mukaisesti. Laajassa maadoitusjärjestelmässä tämä tarkoittaa käytännössä 25 mm<sup>2</sup> kupariköyttä, koska Maadoituskirjan [2, s. 80] mukaan maadoituselektrodille ”maakaapeliojissa ja taajama- sekä teollisuusalueilla tulee aina käyttää 25 mm<sup>2</sup> kupariköyttä”. Muille kuin yhdestä halkaisijaltaan pyöreästä johtimesta koostuville maadoitusjohtimille (esimerkiksi alumiinivaippa tai konsentrisen kuparipunos) voidaan asettaa muita vaatimuksia, kuten yhden osajohtimen 1 mm minimihalkaisija [2].

Poikkipinnan minimivaatimukset täyttäviä kaapeleita ovat esimerkiksi AHXCMK 1 × 300 (12/20 kV), jonka kuparisen kosketussuojan nimellinen poikkipinta on 25 mm<sup>2</sup>, sekä AHXAMK-W 3 × 70 (12/20 kV), jonka paljaan kuparisen maaköyden nimellinen poikkipinta on 35 mm<sup>2</sup>. Kaikille KJ-kaapeleille on vaikeaa löytää metallivaippojen ja maaköysien materiaalivahvuuksia, mutta esimerkiksi paperieristeiselle ja alumiinivaippaiselle APYAKMM (12/20 kV) -kaapelille voidaan laskea likiarvo käyttäen johdinmateriaalin ominaisarvoja.

## 2.2.2 Johtimen poikkipinnan likiarvon laskeminen

ABB:n TTT (teknisiä tietoja ja taulukoita) -käsikirjan mukaan alumiinin ominaisvastus on  $2,82 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$  [10]. Yhtälöstä

$$\rho = R \frac{A}{l} \quad (2)$$

johdetaan yhtälöt

$$A = \frac{\rho l}{R} \quad (3)$$

ja

$$\frac{\rho}{A} = \frac{R}{l} \quad (4)$$

joissa

$\rho$  on ominaisvastus ( $\Omega\text{m}$ )

$R$  on vastus ( $\Omega$ )

$A$  on poikkipinta-ala ( $\text{m}^2$ )

$l$  on johtimen pituus (m).

Yhtälöstä 3 saadaan APYAKMM  $3 \times 70$ :lle annetulla alumiinivaipan tasavirtaresistanssin ohjearvolla  $0,41 \Omega/\text{km}$  (taulukko 2) sekä alumiinin ominaisvastuksella  $2,82 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$  teoreettinen arvo alumiinivaipan poikkipinta-alaksi

$$\frac{2,82 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m} \cdot 1000 \text{ m}}{0,41 \Omega} = 68,78 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 68,78 \text{ mm}^2$$

Toisaalta yhtälöstä 4 saadaan  $16 \text{ mm}^2$  alumiinijohtimelle

$$\frac{2,82 \cdot 10^{-5} \Omega\text{mm}}{16 \text{ mm}^2} = 1,76 \cdot 10^{-6} \Omega/\text{mm} = 1,76 \Omega/\text{km}$$

ja  $50 \text{ mm}^2$  alumiinijohtimelle

$$\frac{2,82 \cdot 10^{-5} \Omega\text{mm}}{50 \text{ mm}^2} = 0,56 \cdot 10^{-6} \Omega/\text{mm} = 0,56 \Omega/\text{km}$$

Kun näitä arvoja verrataan APYAKMM:lle annettuihin alumiinivaipan tasavirtaresistanssin arvoihin  $20^\circ\text{C}$  lämpötilassa (arvot ovat nähtävillä taulukossa 2) huomataan, että jo APYAKMM  $3 \times 70$  arvo alittaa  $50 \text{ mm}^2$  alumiinijohtimelle lasketun resistanssin arvon kilometrille ( $0,41 \Omega/\text{km} < 0,56 \Omega/\text{km}$ ). Myös verrattaessa APYAKMM:n alumiinivaipan tasavirtaresistanssin arvoja vaatimukset täyttävien AHXCMK ja AHXAMK-W vastaaviin arvoihin (AHXCMK:n kosketussuojan tasavirtaresistanssi  $25 \text{ mm}^2$  kuparijohtimella on  $0,690 \Omega/\text{km}$  ja  $35 \text{ mm}^2$  kuparijohtimella  $0,493 \Omega/\text{km}$  sekä AHXAMK-W maaköyden ( $35 \text{ mm}^2$  Cu) tasavirtaresistanssi  $0,524 \Omega/\text{km}$  [11]) huomataan, että APYAKMM  $3 \times 70$ :lle annettu arvo  $0,41 \Omega/\text{km}$  on parempi kuin  $35 \text{ mm}^2$  kuparin vastaava. Näin ollen voidaan todeta, että myös APYAKMM  $3 \times 70$  ja sitä suuremmat poikkipinta-alat toteuttavat vaatimukset.

**Taulukko 2.** APYAKMM -kaapelin tietoja [11].

johtimien lukumäärä ja poikkipinta	$\text{mm}^2$	$3 \times 70$	$3 \times 120$	$3 \times 185$	$3 \times 240$
alumiinivaipan ulkohalkaisija	mm	24	27	30	33
alumiinivaipan tasavirtaresistanssi, $20^\circ\text{C}$ , ohjearvo	$\Omega/\text{km}$	0,41	0,36	0,29	0,25
maasulkuvirta	A/km	3,2	3,8	4,5	4,9



### 2.2.3 Savon Voimalla käytössä olevat kaapelit

Taulukossa 3 on esitetty Savon Voima Verkko Oy:n KJ-verkossa PG:n mukaan käytössä olevat kaapelityypit. Taulukossa on esitetty vain ohuimmat käytössä olevat johdinpoikkipinnat. Taulukossa 4 puolestaan on nähtävillä *PRYSMIAN Cables and Systems Oy*:n edustajalta saatuja tietoja osasta kyseisistä kaapelityypeistä. Kyseiseen taulukkoon on etsitty tietoa useasta Nokian vanhasta esitteestä, kaapelikirjasta jne. Lyijyvaipan ja armeerauksen poikkipinnat on laskettu nimellisten esitemittojen perusteella, joten ne ovat likiarvoja. Lisäksi paperieristeisten vesistökaapeleiden mitoitus on vuosien saatossa muuttunut, joten lyijyvaipan ja teräslankojen poikkipinnat pätevät ainoastaan noin 10–15 % tarkkuudella. [12] Näiden taulukoiden sekä muiden tietojen perusteella voidaan määrittää, mitkä Savon Voima Verkko Oy:n käytössä olevista kaapelityypeistä soveltuvat laajan maadoitusjärjestelmän yhdistysjohtimiksi. Taulukossa 5 onkin nähtävillä näiden kaapeleiden soveltuvuus sekä muita huomioita. Taulukon 4 huomautuksen (\*\*\*) suurimmilla arvoilla laskettaessa saadaan kaapeleiden PLKVJ ja HPLKVJ armeerauksen sinkityille teräslangoille yhteispoikkipinnaksi  $2 \times 0,5 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} = 40 \text{ mm}^2$ , mikä jää vajaaksi standardin SFS 6001 teräkselle vaatimasta  $50 \text{ mm}^2$  poikkipinnasta.

**Taulukko 3.** PowerGridin mukaan Savon Voiman KJ-verkossa käytössä olevien kaapelityyppien pienimmät poikkipinnat.

PG	Tyyppi	Koko ilmakaapelit	uusi tunnus	vanha tunnus
1kVAM70	AMKA	$3 \times 70 + 95$	1kVAM70	
SAMKA70	SAMKA	$3 \times 70$	SAMKA70	
		maakaapelit		
10AHM120	AHMCMK	$3 \times 1 \times 120$		
10AHXCM185 × 3	AHXCMKM	$3 \times 185$	AHXCM185	
10AP70	APAKM	$3 \times 70(+70?)$	AP70	
10APY120	APYAKMM	$3 \times 120$	APY120	
10HMC120	HMCMK	$3 \times 120$	HMC120	
10PLK16	PLKVJ	$3 \times 16$		
10PNL70	PNLKPJJ	$3 \times 70$		
10VC71	PLKPJJ	$3 \times 70$	PL70V	10VC70P
1kVAMC96	AMCMK	$3 \times 95 + 30$	AMC95	
1kVAX95	AXMK	$4 \times 95$	1kVAX95	
AHPLKA300V	AHPLKAJJ	$3 \times 1 \times 300$		
AHXCM300	AHXCMK	$3 \times 1 \times 300$		
AHX-W70	AHXAMK-W	$3 \times 70\text{Al} + 35\text{Cu}$	AHXW70	20MA70XW
AHX-W70V	AHXAMKPJ-W	$3 \times 70$	AHXW70V	
APY25	APYAKMM	$3 \times 25$	APY25	20MA25P 20MA25
AXCEL95/25	AXCEL	$3 \times 95\text{Al} + 25\text{Cu}$	AXCEL95/25	
HPL25	HPLKVJ	$3 \times 25$	HPL25	20MC25PH 20MC25
HPL35V	HPLKPJJ	$3 \times 35$	HPL35V	20VC35P 20VC35
HXCMK35	HXCMK	$1 \times 35$		
		sekä ilma- että maakaapelina		
AHXWM25	AHXAMK-WM	$3 \times 25$	AHXWM25	

**Taulukko 4.** Prysmianin edustajan antamia kaapelitietoja [12].

Kaapeli	Vaihekohtainen kosketussuoja	Yhteinen kosketussuoja	Armeeraus/ Kannatinköysi (***)
SAMKA	3 × 70 20 kV	Al-lamin. 16 mm <sup>2</sup>	Teräs 67 mm <sup>2</sup> (***)
AHMCMK	1 × 120 10 kV	Cu-langat 25 mm <sup>2</sup>	
AHXCMMK	3 × 185 10 kV	Cu-langat 25 mm <sup>2</sup>	
APAKM	3 × 70 10 kV		Al-vaippa 70 mm <sup>2</sup>
HMCMK	3 × 120 10 kV		Cu-langat 28 mm <sup>2</sup>
PLKVJ	3 × 16 10 kV		Pb-vaippa 115 mm <sup>2</sup>
PLKPJJ	3 × 70 10 kV		Pb-vaippa 300 mm <sup>2</sup>
AHPLKAJJ	1 × 300 20 kV	Pb-vaippa 210 mm <sup>2</sup>	Teräs, vannerauta ?? mm <sup>2</sup> (**)
AHXCMMK	1 × 300 20 kV	Cu-langat 35 mm <sup>2</sup>	Teräs, pyörölanka 470 mm <sup>2</sup>
AHXAMKPJ-W	3 × 70 20 kV	Al-lamin. 17 mm <sup>2</sup>	Seos-Al, pyörölanka 390 mm <sup>2</sup>
APYAKMM (*)	3 × 35 20 kV	Al-vaippa 54 mm <sup>2</sup>	Teräs, pyörölanka 740 mm <sup>2</sup>
HPLKVJ	3 × 25 20 kV		Pb-vaippa 220 mm <sup>2</sup>
HPLKPJJ	3 × 35 20 kV		Pb-vaippa 350 mm <sup>2</sup>

(\*) Pienin poikkipinta josta löytyi rakennetietoja oli 35 mm<sup>2</sup>.

(\*\*) Vannerauta-armeeraus on muodostunut kahdesta teräsnauhasta, tietoa leveydestä ja paksuudesta ei löytynyt. Valistunut arvaus nauhasta: 0,2 mm × 30...40 mm tai 0,5 mm × 30...40 mm.

(\*\*\*) SAMKA:lle on merkitty *Armeeraus* sarakkeeseen kannatinköyden poikkipinta.

**Taulukko 5.** Kaapelityyppien soveltuvuus laajan maadoitusjärjestelmän yhdistysjohtimeksi. Taulukossa käytetty pienintä tiedossa olevaa soveltuvaa poikkipintaa.

Tyyppi	Pienin soveltuva poikkipinta-ala	Huomautukset
AMKA	3 × 25 + 35	
SAMKA	3 × 70	teräksinen kannatinköysi
AHMCMK	1 × 120	
AHXCMMK	3 × 185	
APAKM	3 × 70	
HMCMK	3 × 120	
PLKVJ	Pb-vaippa??	
PNLKPJJ		ei tietoa
PLKPJJ	3 × 70	teräsarmeeraus
AMCMK	3 × 95 + 30	
AXMK	4 × 35	nelijohtiminen kaapeli
AHPLKAJJ	1 × 300	
AHXCMMK	1 × 300	
AHXAMK-W	3 × 50Al	10 kV ja 20 kV, 3 × 50Al alkaen 35Cu
AHXAMKPJ-W	3 × 70	740 mm <sup>2</sup> sinkittyä teräslankaa à 4 mm
APYAKMM	3 × 35	
AXCEL	3 × 95Al + 25Cu	
HPLKVJ	Pb-vaippa??	
HPLKPJJ	3 × 35	
HXCMMK	1 × 35Al + 16Cu	
AHXAMK-WM	3 × 25 + 62I	3 × 25 alkaen 62 mm <sup>2</sup> sinkitty teräsköysi

## 2.3 Esimerkkikohde

### 2.3.1 Esimerkkikohteen tarkoitus ja merkitys työlle

Standardin SFS 6001 mukaan jokaisesta asennuksesta on oltava yleiskaavioesitys. Kaaviot, kartat ja taulukot on laadittava soveltuvien standardien, kuten standar-

disarjojen SFS-EN 61082, SFS-EN 61346 ja SFS-EN 60617 mukaisesti. Asennuksen dokumentoinnin on katettava soveltuvin osin muun muassa asennuspiirustukset, maadoitusjärjestelmä, rakenteet, kytkentäkaaviot sekä johdotuskaaviot ja taulukot. SFS 6001 opastavan liitteen P mukaan ”maadoitusjärjestelmästä tulisi olla käytettävissä asemapiirros, josta selviää maadoituselektrodien materiaali ja sijainti, elektrodien haaroituspisteet sekä asennussyvyys”[1].

Savon Voimalla ei laajoja maadoitusjärjestelmiä ole kartoitettu ja dokumentoitu tähän mennessä ollenkaan. Työn tarkoituksena on aloittaa kyseinen dokumentointi ja varsinkin ottaa selvää käytössä olevan verkkotietojärjestelmän ominaisuuksien soveltuvuudesta. Luvussa 3 on tarkemmin käyty läpi Savon Voima Verkko Oy:n käytössä olevan Tieto Oy:n PowerGrid ohjelmiston soveltuvuutta, puutteita ja ohjeistusta.

Energiateollisuus ry:n verkostosuosituksen *TJ 1:05, Sähkönjakeluverkkojen maadoitusmittaukset* mukaan ”verkkotietojärjestelmästä tai /sekä verkostokartoista tulee käydä yksikäsitteisesti selville mitä muuntopiirejä kukin laaja maadoitusjärjestelmä sisältää ja miten eri muuntopiirien maadoitukset yhdistyvät maadoitusjärjestelmään. [6]” PowerGrid verkkotietojärjestelmässä nämä vaatimukset täyttyvät. PG:ssä voidaan muuntamot merkitä kuuluvaksi joko erillismaadoitukseen, yhteismaadoitukseen tai laajaan maadoitusjärjestelmään. Tarkasteltaessa minkä tahansa samaan maadoitusjärjestelmään kuuluvan muuntamon tai erottimen maadoitusmittaustietoja, saadaan näkyville lista maadoitusjärjestelmään liittyvistä laitteista. Muuntopiirien yhdistyminen maadoitusjärjestelmään käy selville verkkotietojärjestelmästä hyvinkin yksinkertaisesti poistamalla näkymästä kaikki turha tieto (taustakartat, tonttien rajat, jopa reitit sekä solmuvälit) jolloin saadaan selkeä ja maantieteellisesti korrekti näkymä maadoitusjärjestelmästä. Tällöin maadoitusjärjestelmän verkkomaisuutta, sekä topografisesti että verkon kannalta, voidaan helposti tarkastella.

### 2.3.2 Tietoa esimerkkikohteesta

Esimerkkikohteeksi on valittu Suonenjoen keskustan taajama-alueen verkko. Suonenjoki sijaitsee 50 km Kuopiosta lounaaseen valtatie 9 varrella. Suonenjoen pinta-ala on 862 km<sup>2</sup> ja asukasluku 7 607 (31.12.2008). [13] Suonenjoen keskustan alueen verkko koostuu suunnilleen 85 (80–90 laskentatavasta riippuen) muuntamosta sekä sähköasemasta. Keskustan taajamille ominainen tiheämpi sähköverkko hajaantuu pienempiin osiin sekä vesistöjen että junaradan takia. Tästä johtuen keskustaan ei muodostu yhtä laajaa maadoitusjärjestelmää, vaan joitakin pienempiä

verkkomaisia tai silmukan muotoisia maadoitusjärjestelmiä, jotka eivät ainakaan aivan selvästi täytä laajalle maadoitusjärjestelmälle asetettuja rakenteellisia vaatimuksia. Suonenjoella paremmat olosuhteet laajalle maadoitusjärjestelmälle löytyivätkin itse ydinkeskustan ulkopuolelta, Yhteislaitumen sekä Kolmisopin asuinalueilta.

### 2.3.3 Esimerkkikohteen dokumentointi

Suonenjoen esimerkkikohteeseen tutustuminen aloitettiin etsimällä verkkotietojärjestelmän avulla mahdolliset laajan maadoitusjärjestelmän alueet. Tarkoituksena oli tutustua alueen sähköverkkoon ja sen rakenteeseen yleisesti, listata mahdolliset laajan maadoitusjärjestelmän alueet ja tämän jälkeen tutkia näitä alueita tarkemmin. Tarpeen tullen kyseenalaisiksi jääneille alueille suoritettaisiin maas-totarkastuksia. Aivan aluksi rajattiin tarkasteltava alue Suonenjoen keskustan ympäriltä käyttäen verkkotietojärjestelmää ja silmämääräistä arviointia. Verkkotietojärjestelmästä rajattiin pois alueet, joilla ei missään nimessä voi esiintyä määritelmän mukaista laajaa maadoitusjärjestelmää. Alustavan rajaamisen jälkeen alueita jäi viisi. Kaksi näistä sijaitsee aivan keskustassa, junaradan molemmin puolin, sekä yhdet välittömästi sähköaseman eteläpuolella olevalla Käpylän asuinalueella, Kolmisopin asuinalueella ja keskustan itäpuolella olevalla Yhteislaitumen asuinalueella. Ensimmäisenä todettakoon, että millään näistä alueista ei ole aivan selvää laajan maadoitusjärjestelmän aluetta. Kolmisoppeen sellaisen aikaansaaminen voisi olla helpohkoa, kuten myös Yhteislaitumelle. Molemmilla alueilla riittänee muutamien pylväsvälien maadoitusten yhtenäisyyden tarkastaminen ja muutamien maadoitusjohtimen ilmaitse vetäminen. Tarkastelun jälkeen huomattiin, ettei Käpylässä nykyisellään muodostu laajaa maadoitusjärjestelmää, eikä kyseisen alueen sellaiseksi muokkaamista tässä työssä tarkastella. Keskustan alueelta ainakin itäisempi alue muodostanee laajan maadoitusjärjestelmän, junaradan länsipuolella asia ei ole niin yksinkertainen. Tälle alueelle saataisiin yksi isohko laaja maadoitusjärjestelmä, mikäli radan eri puolet yhdistettäisiin keskustan osalta pohjoisesta ja etelästä. Sekä keskustan että Kolmisopin alueilla suunnitellaan yhden muuntajan siirtoa, mikä vaikuttaa alueiden maadoitusjärjestelmiin.

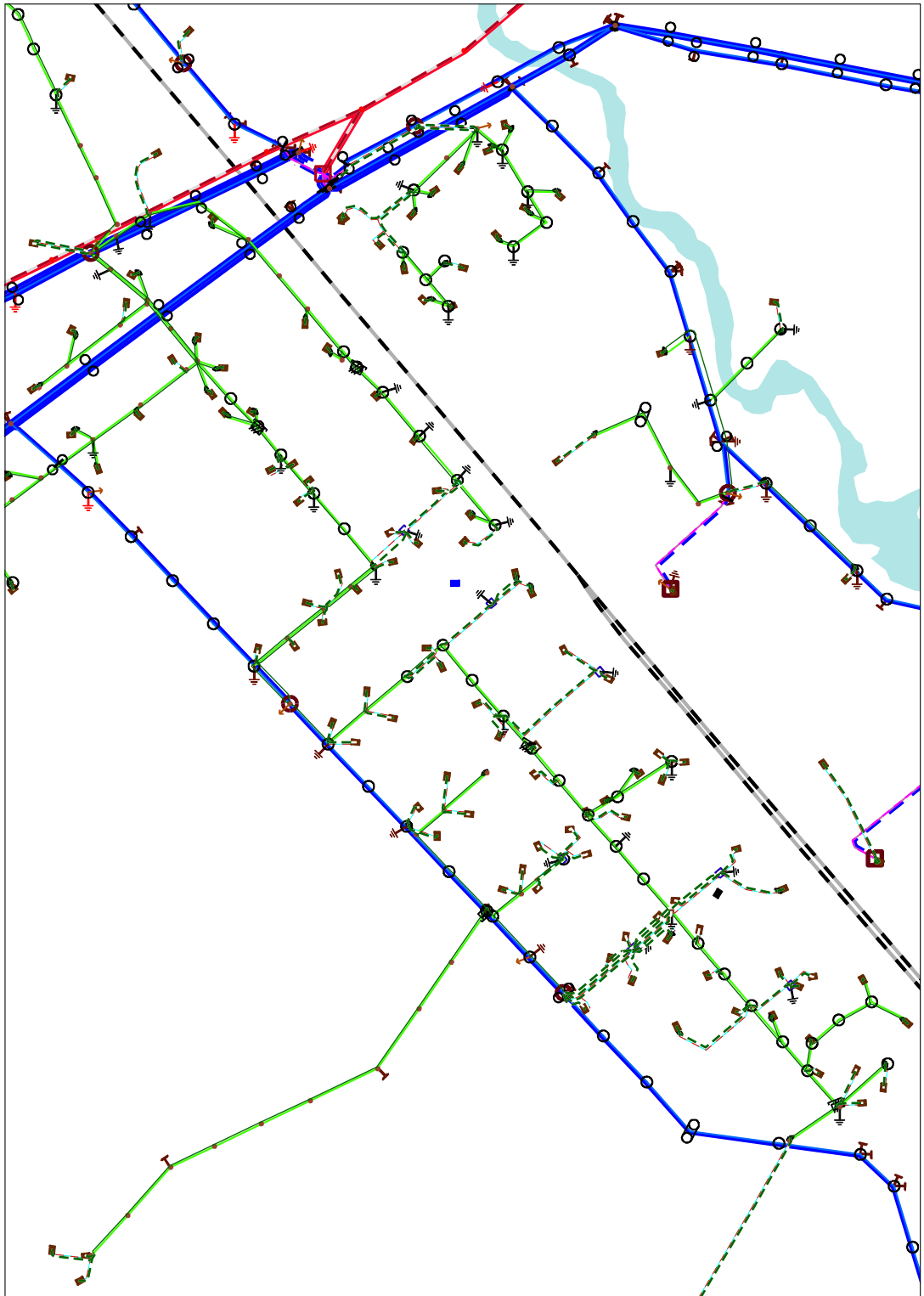
Edellisessä kappaleessa on käyty läpi Suonenjoen keskustan alueelle mahdollisesti muodostuvat laajan maadoitusjärjestelmän alueet. Alla on käsitelty kyseisiä alueita hieman yksityiskohtaisemmin.

Alustavasti näytti siltä, että Käpylän kaupunginosaan muodostuisi laaja maadoitusjärjestelmä jo nykyisellään, tai sellainen voitaisiin sinne rakentaa pienin muutoksin. Tarkastelun sekä paikalla käynnin jälkeen näyttää siltä, ettei Käpylän alueella ole laajaa maadoitusjärjestelmää eikä sinne kovin pienillä lisärakenteilla semmoista saadakaan. Tämän alueen tarkastelu lopetettiin tähän laajan maadoitusjärjestelmän osalta. Sivulla 30 olevassa kuvassa 4 on nähtävillä kyseisen alueen sähköverkko.

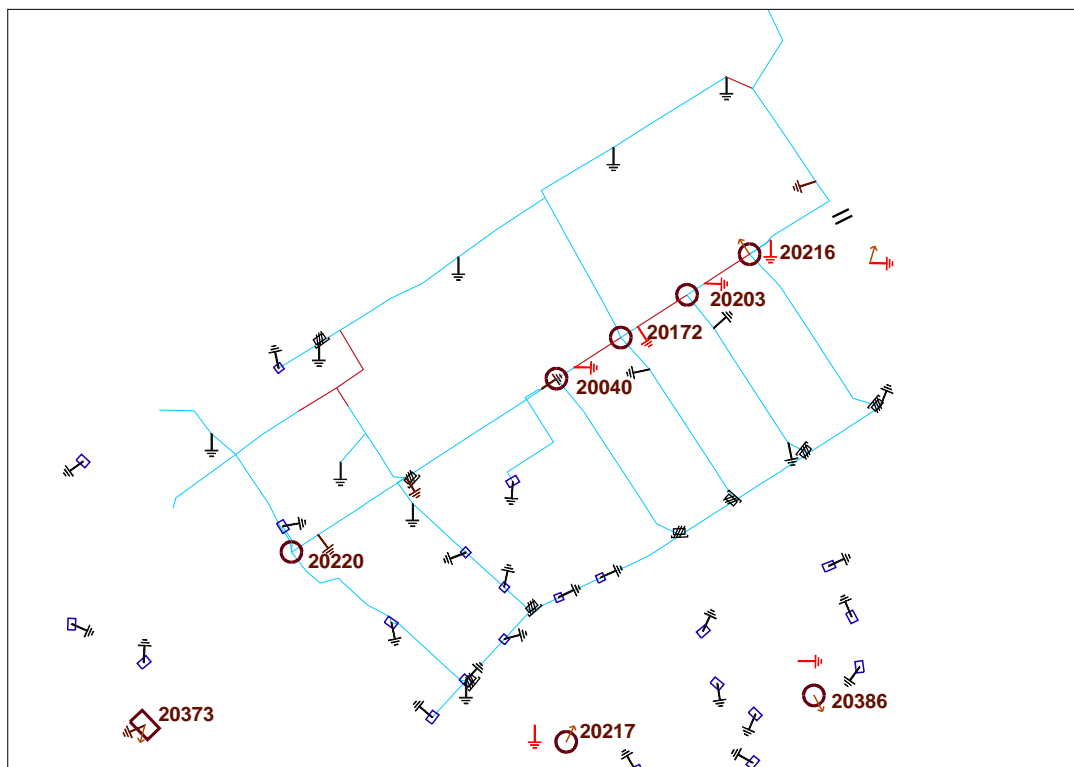
Keskustasta itään olevalle Yhteislaitumen asuinalueelle saataneen laajalle alueelle levittäytyvä ja selvästi verkkomainen laaja maadoitusjärjestelmä lisäämällä valmiisiin pylväisiin maadoitusköysiä. Yksinkertaisen laajan maadoitusverkon rakentaminen vaatisi noin 240 m matkalle maadoitusjohtimien rakentamista vanhoihin KJ-pylväisiin ilmajohtona. Laajemmalle alueelle levittyvän, ja 6 maadoituspistettä sekä noin 30 liittymää samaan laajaan maadoitusjärjestelmään liittävän, verkon rakentamiseksi vaadittaisiin tämän lisäksi noin 30 m matkalle maadoitusjohdin ilmajohtona vanhoihin pylväisiin sekä 120–200 m matkalle (valitusta asennustavasta ja reitistä riippuen) maadoitusjohdin joko ilmajohtona tai maahan asennettuna. Näillä muutoksilla saataisiin aikaiseksi jo hyvin laaja maadoitusjärjestelmä. Alueen maadoitusverkko sekä vaadittavat muutokset ovat nähtävillä kuvassa 5. Ehdotetut muutokset näkyvät kuvassa punaisella, nykyinen PJ-verkon maadoitus sinisellä.

Kolmisopella laajan maadoitusjärjestelmän vaatiman verkkomaisen maadoituksen toteutuminen täytyy todentaa maadoituksen jatkuvuusmittauksella Kolmisopenkadun ja Petäjäkadun risteyksessä KJ-pylväältä 45645766 PJ/KJ-pylväälle 46281549 sekä siellä sijaitsevalle PJ/KJ-verkon suojamaadoitukselle. Kuvassa 6 (sivu 32) on nähtävillä Kolmisopen maadoitusverkko. Muuntamon 20298 yhdistämiseksi maadoitusverkkoon useampaa kuin yhtä (1) reittiä alueelle olisi rakennettava muuntamolta lounaaseen yhden pylväsvälin kattava maadoitusjohdin. Myös alueen keskellä olevat irtonaiset päät olisi maadoituksen verkkomaisen rakenteen parantamiseksi yhdistettävä. Kolmisopella käytiin tutkimassa muuntamon 20318 lähialueen KJ-verkon maadoituksia. Muuntamolta todettiin olevan vain yksi pylväsväli maadoitusköyttä lounaaseen, jossa muuntamon KJ-maadoitus sijaitsee. Kolmisopelta etelään lähtevällä KJ-linjalla ei ole maadoitusköysiä. Muuntamolta 20318 länteen päin oleva risteysalue (risteyksessä oleva pylväs, jossa on 50 A PJ-kytkin) on luonnossa kuten PG:ssä.

Suonenjoella käytiin tarkastamassa sekä Yhteislaitumen että Kolmisopen asuinalueille ehdotettujen maadoitusjohtimien reitit mahdollisten maasto- tai rakennusteiden takia. Kummallakaan alueella ei havaittu mitään maastosta tai ra-



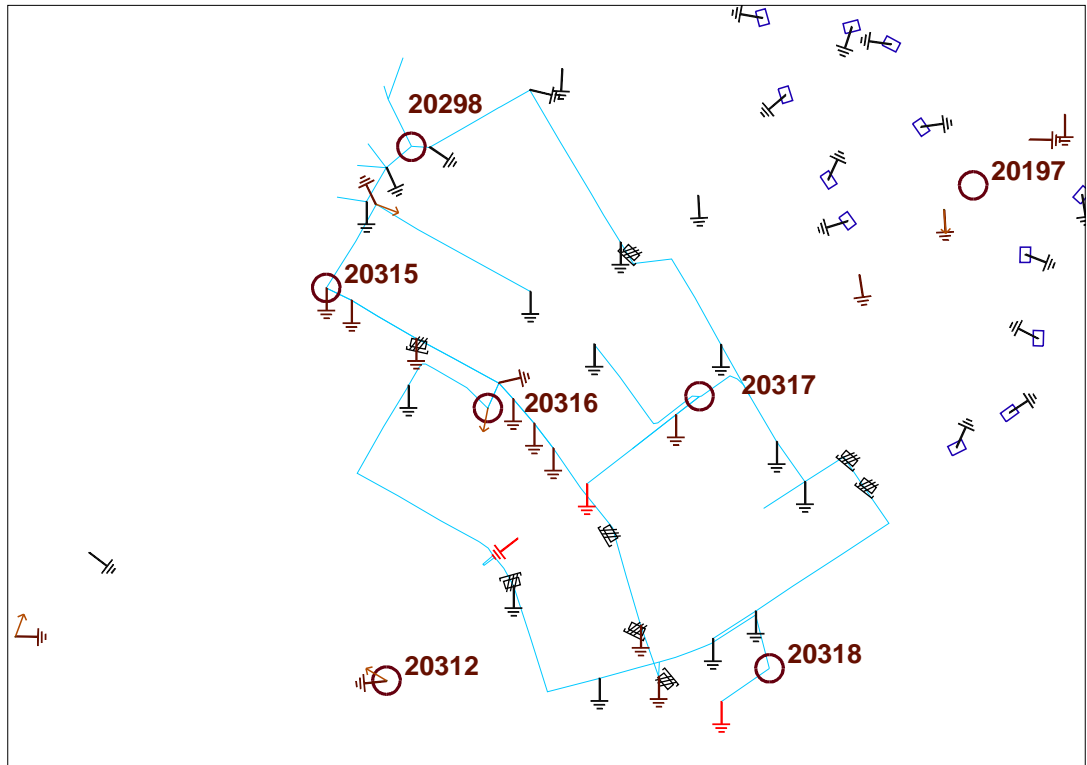
Kuva 4. Käpylän kaupunginosan sähköverkko.



**Kuva 5.** Yhteislaitumen maadoitusverkko sekä vaadittavat muutokset. Vaadittavat muutokset on merkitty punaisella.

kennuksista aiheutuvaa estettä maadoitusten yhdistämiselle ilmajohdolla. Maadoitusköysien reiteiltä joudutaan todennäköisesti kaatamaan joitakin puita asutuksen läheisyydessä.

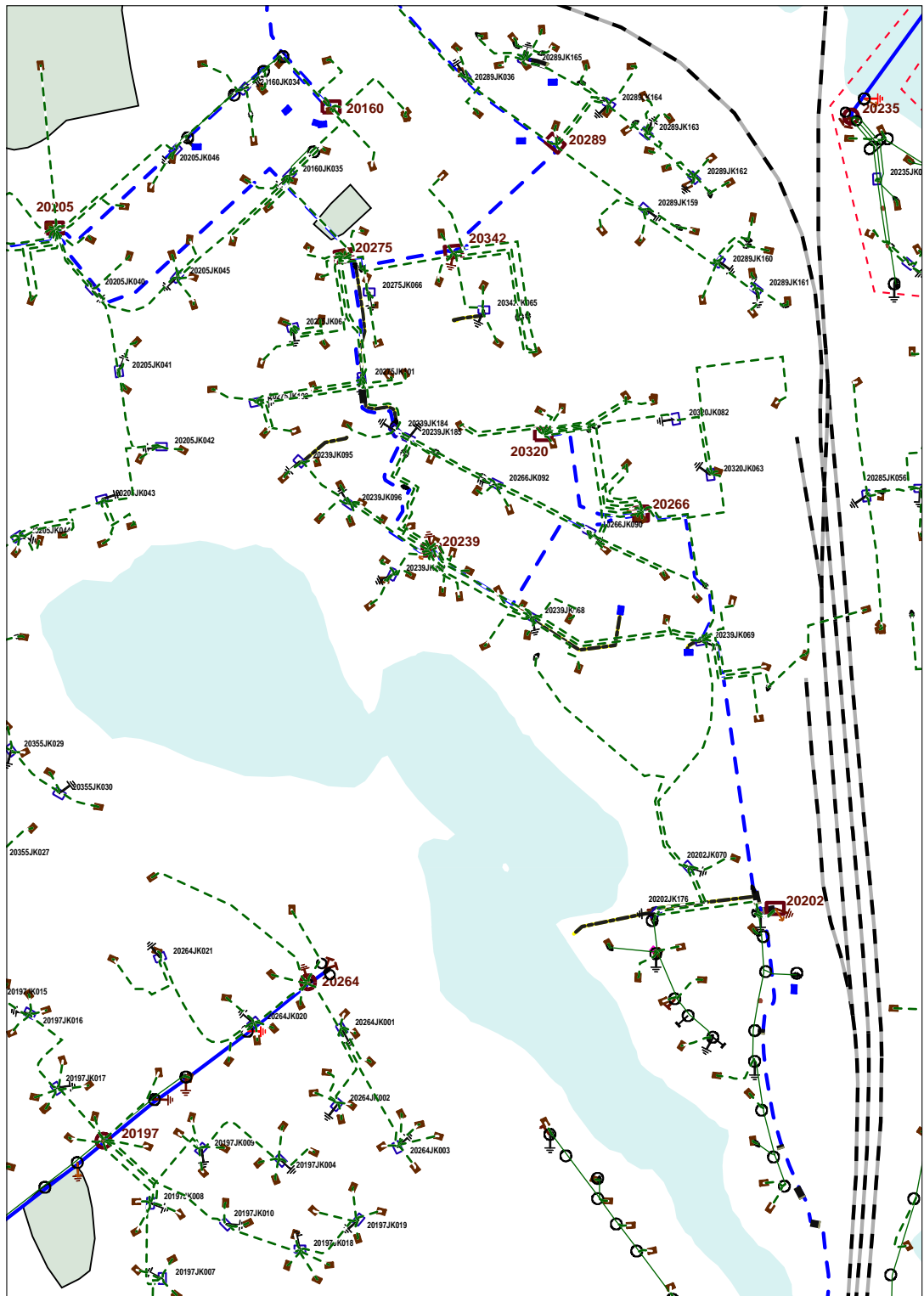
Mikäli Kirkkolanniemelle (keskusta) halutaan luoda kunnollinen laaja maadoitusjärjestelmä, täytyy junaradan eri puolilla olevat maadoitusjärjestelmät yhdistää. Tällöin täytyisi ensimmäiseksi selvittää, onko yhdistäminen yleensäkin kannattavaa ja miten se voitaisiin edullisimmin toteuttaa. Ainoa radan alittava kaapeli alueella on MCMK  $3 \times 16 + 16$  jakokaapin 20239JK069 itäpuolella. Kyseisen kaapelin  $16 \text{ mm}^2$  PEN-johdin ylittää vain juuri minimivaatimukseen, joten tarkempi laskelma olisi tarpeen, jos tätä reittiä haluttaisiin käyttää maadoitusten yhdistämiseen yhdeksi laajaksi maadoitusjärjestelmäksi. Toinen keino radan eri puolten yhdistämiseen olisi käyttää hyödyksi keskustan pohjois- ja etelälaidalla radan alittavia maantietunneleita ja rakentaa maadoitukset näiden kautta. Ilman lisämaadoitusjohtimia radan länsipuoleinen verkko ei näyttäisi täyttävän laajan maadoitusjärjestelmän määritelmän asettamia vaatimuksia verkkomaisuudelle. Tämä johtuu kuvassa 7 näkyvistä, jakokaapille 20239JK069 ja muuntamolalle 20275, muodostuvista pullonkauloista. Kuvan keskellä ja vasemmassa yläkulmassa nähdään sähköverkon muodostamia silmukoita. Oikeassa laidassa nähdään, kuinka pohjois-etelä -suunnassa kulkeva junarata halkaisee keskustan sähköverkon.



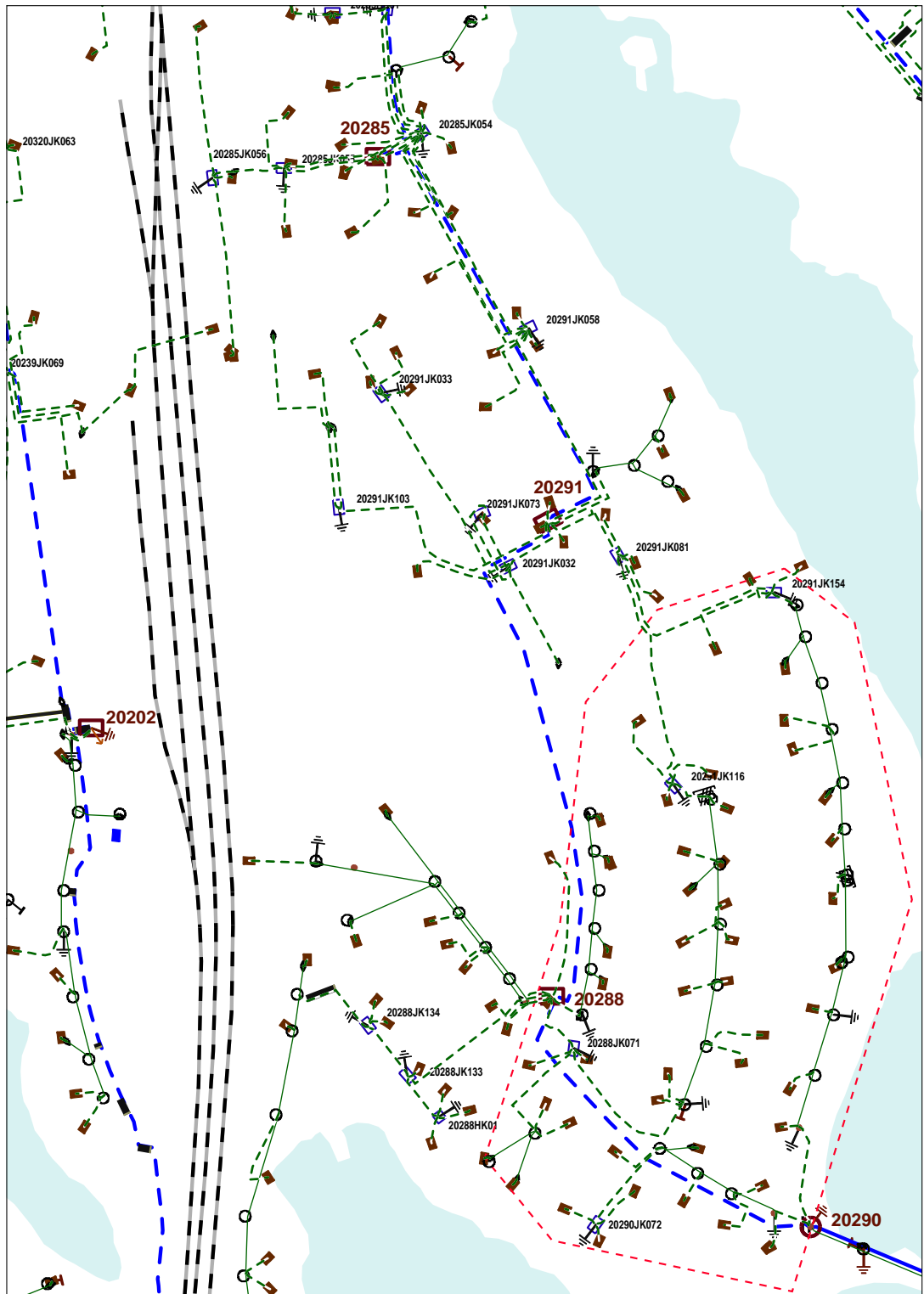
Kuva 6. Kolmisopen maadoitusverkko.

Radan itäpuoleinen verkko näyttäisi täyttävän laajan maadoitusjärjestelmän vaatimukset. Tämäkin on harkinnanvaraista, koska maadoitusverkko koostuu vain kahdesta silmukasta kolmen muuntamon välillä. PG:ssä on muuntamolta 20290 erottimelle 20-71 merkitty 1,8 m A132-avojohtoa, jolla ei siis rakenteensa puolesta ole maadoitusjohtimena toimivaa vaippaa tai keskusköyttä. Maadoituksen jatkuvuus tällä välillä käytiin tarkastamassa. Silmämääräisesti tarkasteltuna kaikkien muuntamolta lähtevien PJ- sekä KJ-johtojen maadoituksen yhdistysjohtimena toimivat osat sekä muuntajan runko on yhteismaadoitettu. Tähän lukeutuu myös erottimen 20-71 jälkeen alkavan APYAKMM-kaapelin metallivaippa. Täten tälle alueelle muodostuvalle laajalle maadoitusjärjestelmälle ei ole mitään tiedossa olevaa estettä, ainoastaan maadoitusjärjestelmän verkkomaisen osan pienuus. Alueelle on PG:ssä luotu suunnitelma, jonka mukaan PJ-verkon ilmajohtosuudet muutettaisiin maakaapeliverkoksi. Tämä ei vaikuta paljoa alueen maadoitukseen, ainakaan laajan maadoitusjärjestelmän verkkomaisuuteen. Suunnitelmassa on verkon rakenteen kannalta ainoastaan yksi muutos, jossa alueen eteläosassa lähellä toisiaan, mutta nykyään erillään, ovat PJ-verkon osat yhdistetään. Kuvissa 8, 9 ja 10 (sivuilla 34, 35 ja 36) on nähtävillä keskustan sähköverkon rakenne nykyään sekä muutosten jälkeen. Tämän alueen laajaan maadoitusjärjestelmään kuuluvien muuntamoiden maadoitusmittauspiste on PG:ssä merkitty muuntamolle 20201, joka ei kuulu laajaan maadoitusjärjestelmään.

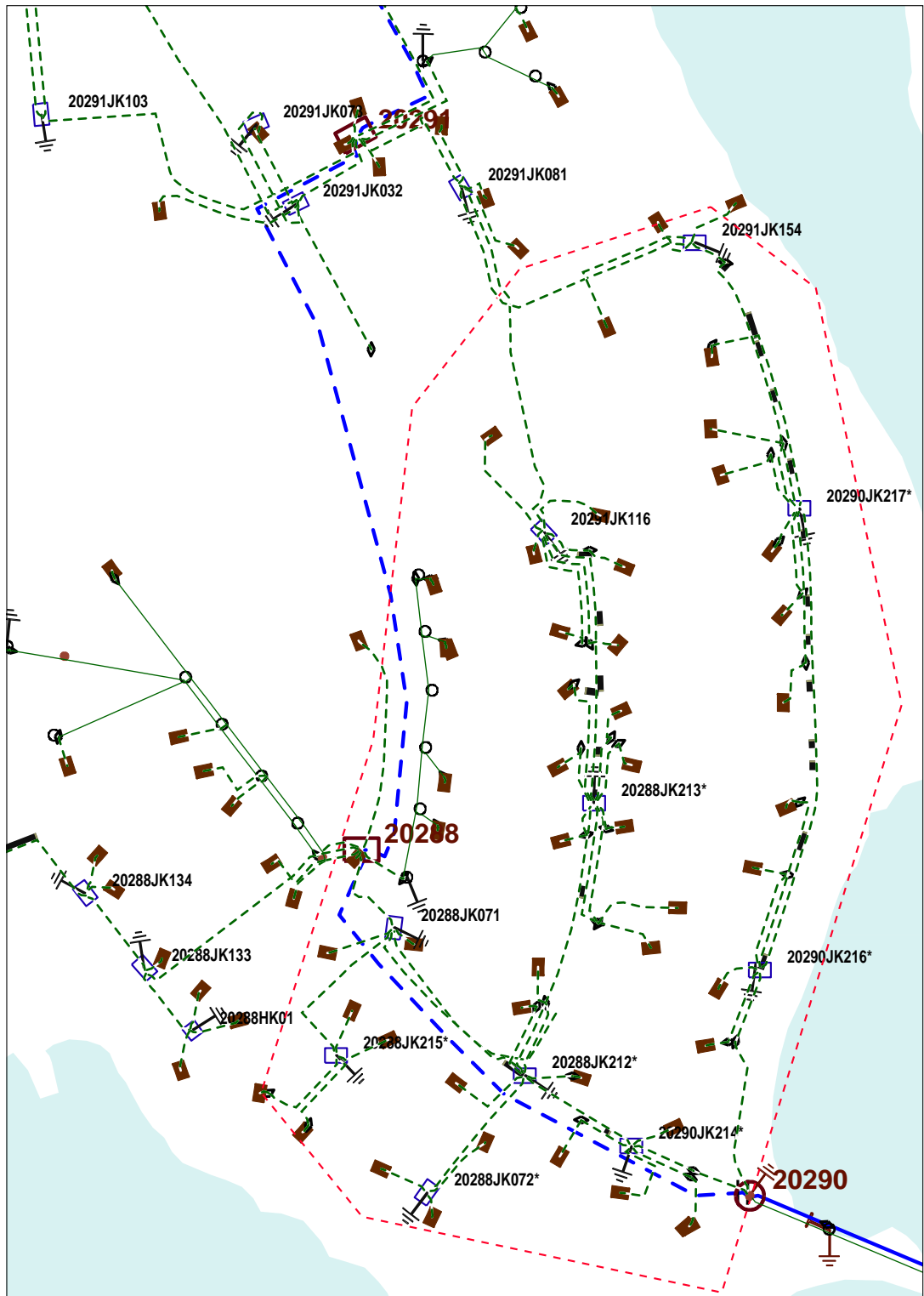




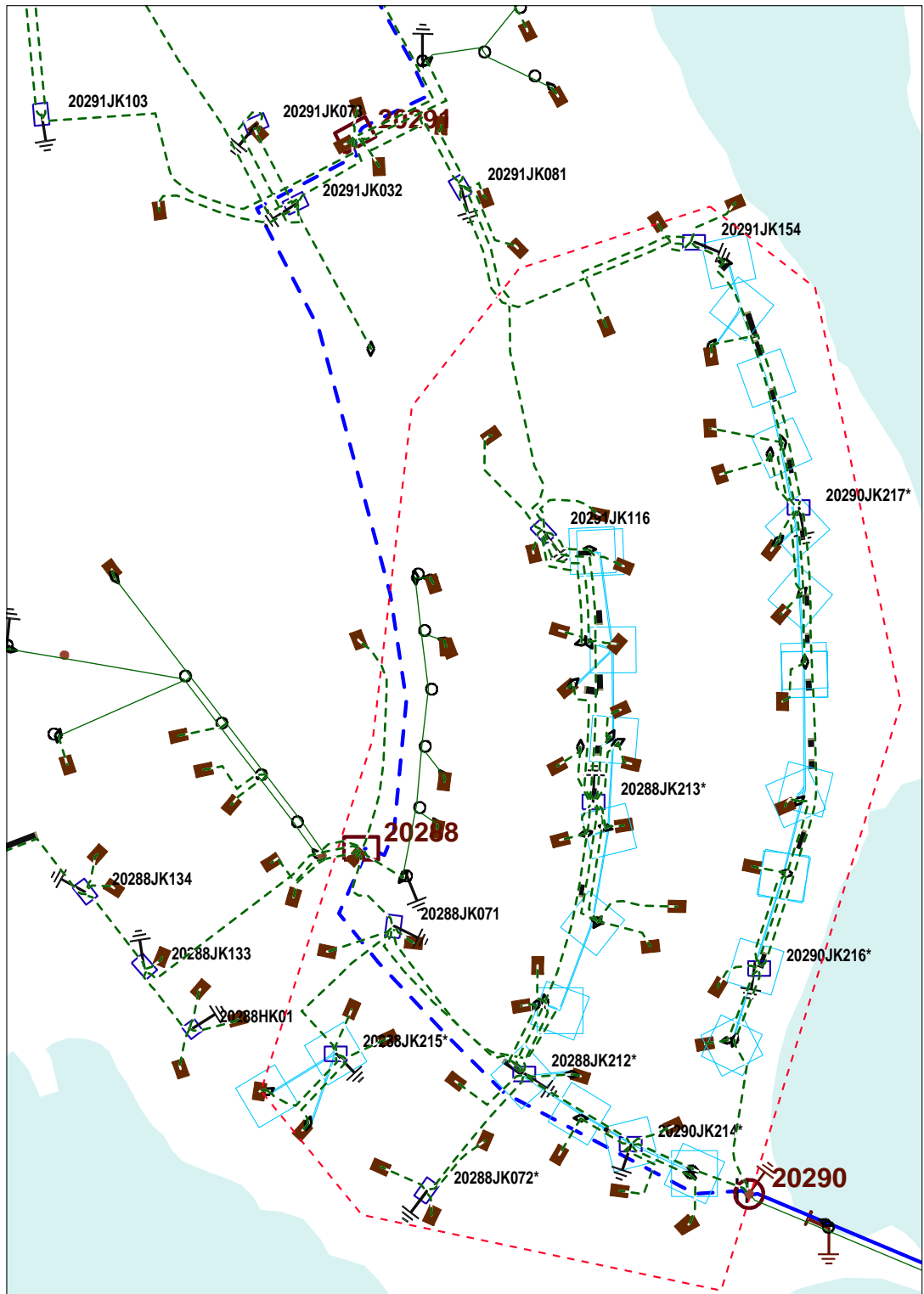
Kuva 7. Kirkkolanniemi, junaradan länsipuoleinen sähköverkko.



Kuva 8. Kirkkolanniemi. Oikeassa alalaidassa kaksi silmukkaa käsittävä verkon osa. Vasemmalla junarata jakaa sähköverkon kahtia.



Kuva 9. Kirkkolanniemen sähköverkon suunnitelma. Suunnitelmassa ilmajohto-verkko on vaihdettu maakaapeloinniksi.



Kuva 10. Kirkkolanniemen suunnitelman ja nykyisen verkon erot. Sinisellä merkitty poistuva ilmajohto sekä pylvää.

### 3 POWERGRID-VERKKOTIETOJÄRJESTELMÄ

PowerGrid (PG) on suomalais-ruotsalaisen Tieto Oy:n (entinen TietoEnator) luoma verkkotietojärjestelmäsovellus, joka on laajasti käytössä suomalaisissa verkko-yhtiöissä. PowerGrid käyttää alustanaan GE Energyn Smallworld Core Spatial Technology -järjestelmää. Smallworld-alusta on ns. GIS (Geographic information system) -järjestelmä, joka käsittelee paikkatiedoista ja ominaisuustiedoista koostuvaa maantieteellistä tietoa [14]. Järjestelmä perustuu relaatiotietokantaan, johon voidaan tallentaa kaikki tarvittavat tiedot esimerkiksi verkosta, erilaisista taustakartoista ja käyttäjistä oikeuksineen eri sovelluksiin. PowerGrid-ohjelmisto koostuu erilaisista moduuleista, joita yhdistelemällä asiakasyritykset saavat haluamansa toiminnallisuudet. PG:n toiminnallisuuksiin kuuluvat muun muassa verkoston suunnittelu ja dokumentointi, sopimusten hallinta sekä verkoston laskennat ja raportit.

#### 3.1 PG:n valmiudet ja puutteet

PowerGrid on monipuolinen verkkotietojärjestelmä, mutta maadoitusten dokumentointi on uusi ominaisuus ja siitä puuttuu vielä joitakin toiminnallisuuksia. PG:ssä maadoitusverkko on täysin erillinen ja sitä ei voida liittää muihin verkkoihin. Maadoitusverkko saadaan siis samalle karttapohjalle kuin sähköverkkokin, mutta näillä ei ole minkäänlaista yhteyttä esimerkiksi laskennan kannalta. PG:n maadoitusverkko koostuu ainoastaan maadoitusjohtimista, jotka asetellaan joko valmiiden johtimien reiteille tai apugeometrioiden avulla uusille reiteille. Itse maadoitukset sekä maadoitusmittauspisteet kuuluvat sähköverkkoon, eivät maadoitusverkkoon. Verkkoanalyysiin ja verkostolaskentaan käytetään maadoitusmittauspisteille merkittyjä maadoitusmittausarvoja, ei maadoitusverkkoon lisättyjä maadoitusjohtimia. Haluttaessa yksinkertainen ja selkeä kuva alueen maadoituksista poistetaan PG:n näkymästä muut komponentit ja jätetään näkyviin vain haluttavat. Yleensä näitä ovat maadoitusjohtimet, maadoitukset, muuntamot sekä jakokaapit. PG:llä ei voida tulostaa suoranaista maadoituskaaviota, mutta poistamalla karttapohjasta ylimääräiset rakenteet saadaan tulostettua selkeä kaaviomainen kuva maadoituksen maantieteellisestä rakenteesta. Tästä hyvänä esimerkkinä on sivulla 31 oleva kuva 5, jossa on nähtävillä Suonenjoen Yhteislaitumen lähes laajan maadoitusjärjestelmän vaatimukset toteuttava maadoitusverkko.

PG:n käyttöliittymä maadoitusverkon digitointiin on suppea, mutta silti sekava. Maadoitusjohdinta ei lisätä samoin kuin mikä tahansa muu johdin, vaan *Lisää*-valikosta avataan erityinen maadoitusverkon digitointityökalu. Nykyisellään tämä avautuva irtonainen paneeli sisältää kaksi painonappia ja yhden alasettovalikon. Alasettovalikosta voi käyttöohjeen mukaan kopioida oletusarvot valinnasta, mutta käytön aikana ei tätä saatu toimimaan. Tämä tarkoittanee sitä, että painohetkellä valittuna olevan maadoitusjohtimen lomakkeen arvot tulisivat automaattisesti jatkossa lisättäville maadoitusjohtimille. Digitointityökalun painonappeja painettaessa PG joko lisää maadoitusjohtimen valitulle apugeometrialle tai avaa toisen ikkunan, jossa maadoitusjohtimen oletusarvoja voitaisiin muuttaa. Maadoituksia digitoitaessa ei maadoitusjohtimen oletusarvoja saatu asetettua eikä käytettyä. Näin ollen jokaiselle lisätylle maadoitusjohtimelle täytyi käsin asettaa johtimen tyyppi. *PowerGrid Käyttäjän ohjeet* sanoo maadoitusverkosta lyhykäisyydessään näin:

### ”Maadoitusverkko

Maadoitusverkko on erillinen verkko jota ei voi liittää muihin verkkoihin. Maadoitusverkon komponentteja sen sijaan voidaan liittää toisiinsa.

### Maadoitusverkon komponentit

Maadoitusverkko sisältää seuraavat komponentit:

- Maadoitusjohdin

### Käyttöliittymä

Maadoitusverkon digitointityökalut avataan valikosta *Lisää* → *Maadoitusverkko...*

Maadoitusverkon digitointityökalut:



- Lisää johto



- Oletusarvot

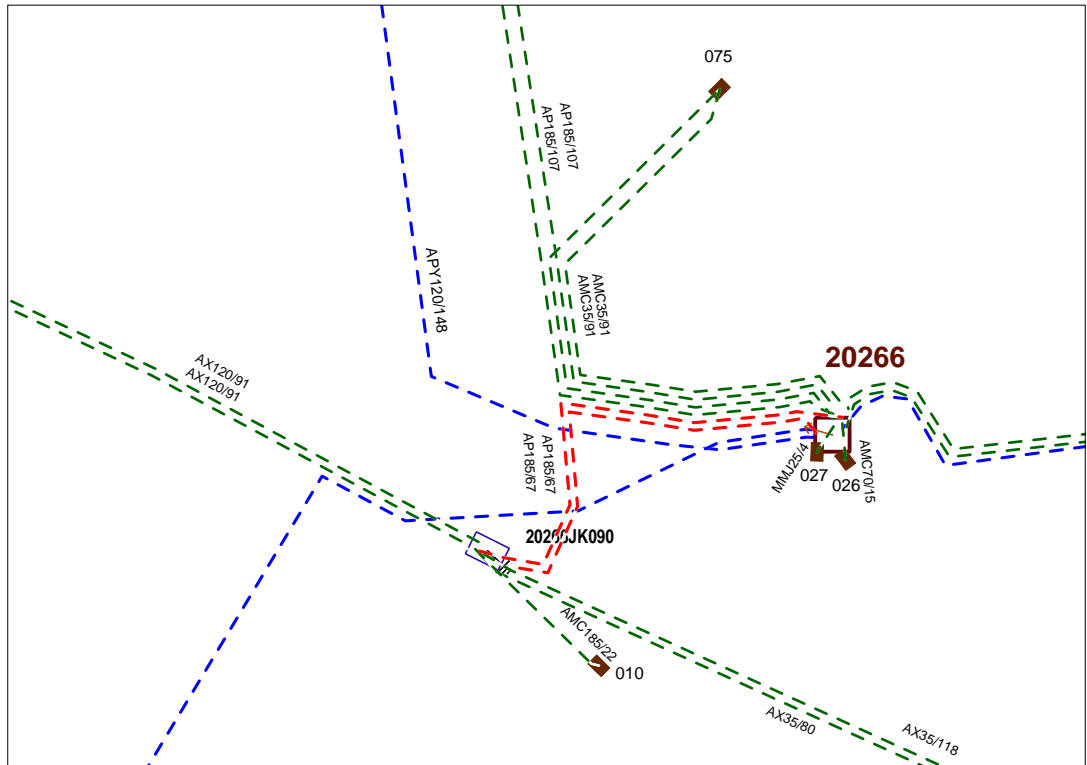


- Kopioi oletusarvot valinnasta” [14]

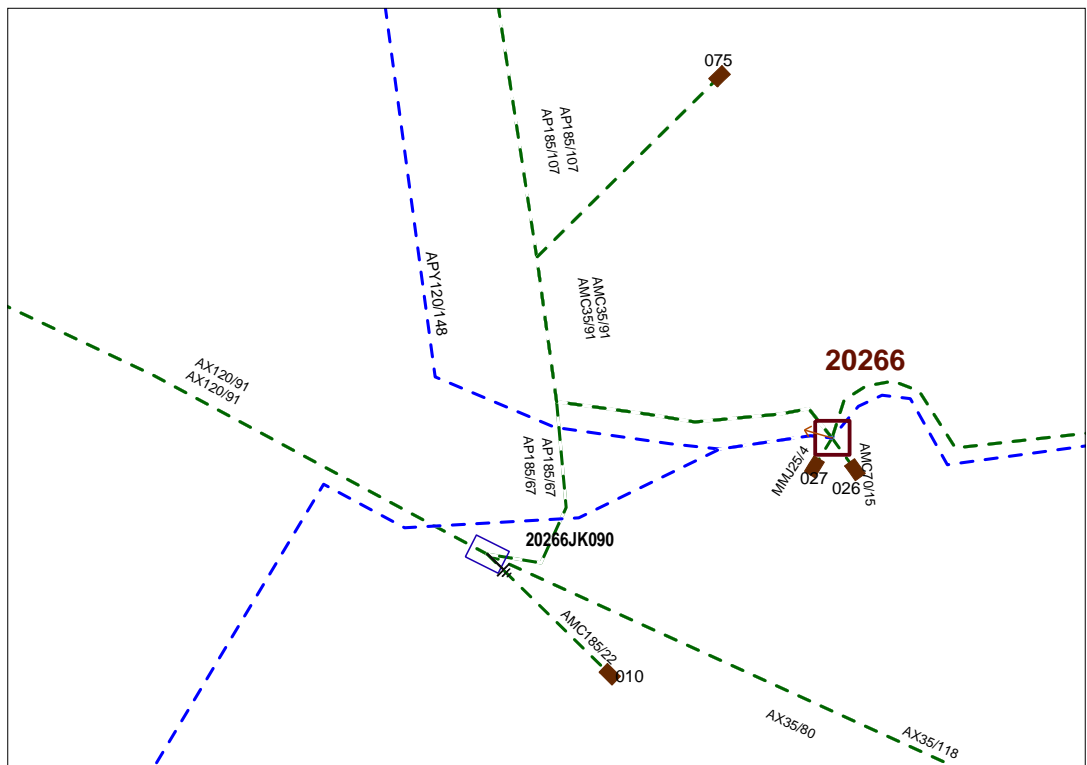
Maadoitusjohtimen tyyppiä, ja muita arvoja, voidaan muokata käsin valitsemalla maadoitusjohdin ja asettamalla alavetovalikosta tälle sopiva tyyppi vaihtoehdoista *AMKA PEN*, *PJ-kaapelin PEN*, *KJ-kaapelivaippa* ja *maadoitusköysi*. Maadoitusjohtimelle voi asettaa monia arvoja johtimen poikkipinta-alasta ja materiaalista asennusvuoteen. Valmiille reitille voidaan lisätä maadoitusjohdin suoraan piirtämättä ensin apugeometriaa. Tämä onnistuu valitsemalla reitti, luomalla tälle apugeometria ja lisäämällä maadoitus juuri luodulle apugeometrialle. Maadoituksen dokumentointia helpottaa se, että valmiita reittejä voidaan valita useita ja lisätä niille kaikille maadoitusjohdin kerralla. Tällöin täytyy muistaa, että yhdellä kertaa voidaan lisätä vain yhdenlainen maadoitusjohdin, eli siis joko esimerkiksi *AMKA PEN* tai *KJ-kaapelivaippa*. Kerralla valittavien reittien täytyy myös muodostaa jatkuva kokonaisuus, eikä se voi haarautua. Voisi kuitenkin olla vielä kätevämpää, jos valmiiksi digitoitun, esimerkiksi *AMKA*-verkon *PEN*-johtimen, voisi automaattisesti merkitä myös maadoitusverkkoon.

PG ei salli silmukoiden luomista edes maadoitusverkkoon. Tästä rajoituksesta päästään tekemällä silmukkamaiset rakenteet useammalla kuin yhdellä apugeometrialla, mikä tuntuisi olevan ihan riittävä toiminnallisuus. Tällöin tehdään silmukasta esimerkiksi puolet yhdellä apugeometrialla ja loput toisella. Lopputulos ainakin näyttää halutulta, mutta mikäli PowerGridiin myöhemmin lisätään ominaisuuksia, jotka käyttävät digitoitua maadoitusverkkoa apuna esimerkiksi laskennassa, voi tästä olla odottamattomia seurauksia.

Maadoitusten lisääminen reitille tuo mukanaan kuvissa 11, 12 sekä 13 esille tuodun ongelman. Näistä kuvista nähdään, että luotaessa maadoitus reitille se ei aina ole varsinaisen verkon rakenteen mukainen. Moniviivaesityksestä 11 nähdään, että jakokaapilta 20266JK090 ei ole suoraa yhteyttä pohjoiseen, mutta sekä yksiviivaesityksestä 12 että maadoituskuvasta 13 saadaan kuitenkin sellainen käsitys. Toinen esimerkki samoissa kuvissa on etelästä pohjoiseen kulkeva *KJ*-maakaapeli. Sekä yksiviivaesityksessä että maadoituskuvassa näyttää siltä, että etelästä pohjoiseen on suora yhteys, mutta moniviivaesityksestä nähdään, että molemmat kaapelit päättyvät muuntamolle 20266. Maadoitusverkko on siis yksinkertaistettu. On epävarmaa, onko tästä tällä hetkellä mitään haittaa, mutta tulevaisuudessa verkon muuttuessa, esimerkiksi muuntamon 20266 poistuessa, voi verkkotietojärjestelmään jäädä suorastaan virheellistä tietoa, jos maadoitusten yhteyksiä ei poisteta. Pelkkien solmuvälien sekä reittien poistaminen ei riitä, vaan maadoitusjohtimet täytyy huomata poistaa erikseen. Maadoitusjohtimet eivät ole PG:ssä oletuksena näkyvillä.

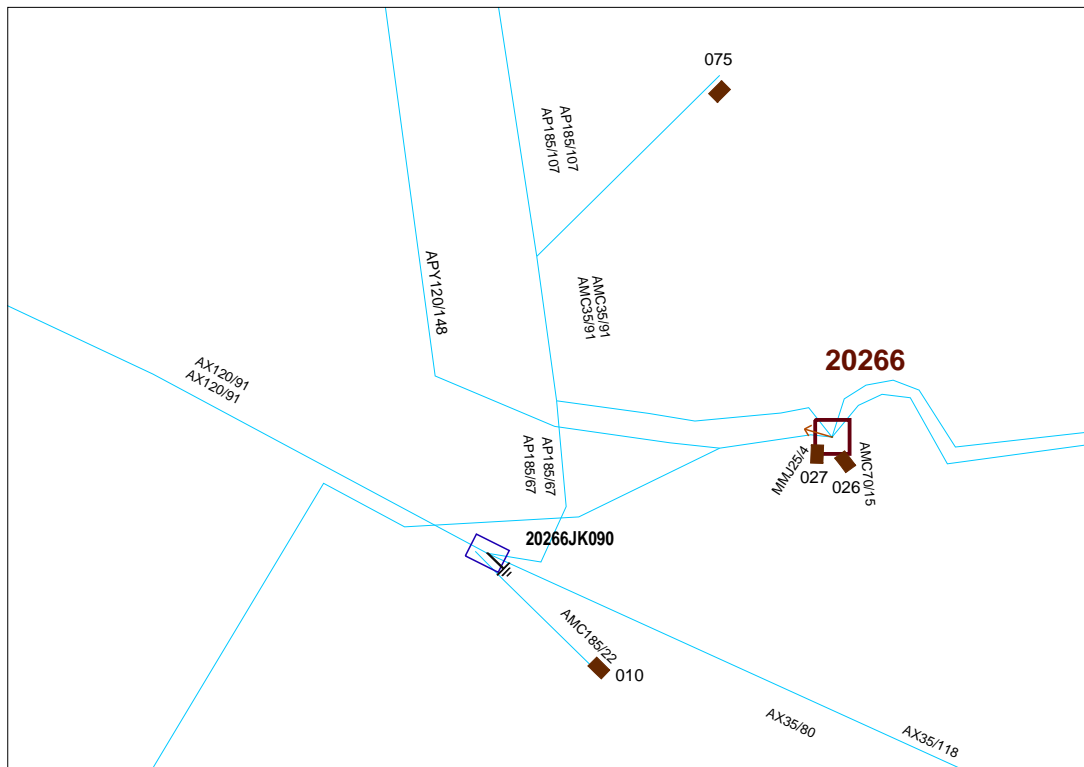


**Kuva 11.** Mallikuva PG:n moniviivaesityksestä. Kuvassa punaisella näkyvät solmuvälit ovat PJ-kaapelia, väriä käytetty selyyden vuoksi.



**Kuva 12.** Mallikuva PG:n yksiviivaesityksestä.





Kuva 13. Mallikuva PG:n maadoituksista.

PowerGridissä ei voida aina asettaa maadoitusjohtimelle oikeaa poikkipinta-alaa. Jos maadoitusverkkoon käytetään esimerkiksi 0,4 kV AMC70 maakaapelin nolla-johdinta (AMCMK  $3 \times 70 + 21$ ), ei maadoitusjohtimen poikkipinta-alaksi voida asettaa 21 vaan joko 16 tai 25 mm<sup>2</sup>. Tämä johtuu siitä, että arvo valitaan alusvetovalikosta, jossa on vain yleisimmät arvot (16, 25, 35, 50, 70 ja 95 mm<sup>2</sup>). Tarvittaessa pääkäyttäjä kuitenkin voi lisätä uusia arvoja tietokantaan. PG:ssä ei voida myöskään mitenkään merkitä risteäviä maadoituksia joko yhdistetyiksi tai erillään oleviksi. Maadoituspisteissä voidaan alusvetovalikosta valita verkkotyyppi, eli PJ, KJ, SJ tai PJ/KJ ym. -verkko.

Oletusarvoisesti PG näyttää solmuvälille johtolaadun ja pituuden. Johtolaatu valitaan katalogista lisääessä johtoa. PG laskee solmuvälän pituuden automaattisesti, mutta mitattu pituus voidaan asettaa myös käsin. Maadoitusjohtimille PG näyttää lomakkeen "Tunnus" arvon, jolle ei ole mitään katalogia tai alusvetovalikkoa josta valita, vaan tunnus on vapaasti aseteltavissa oleva tekstikenttä. Olisi parempi jos maadoitusjohtimen tyyppin (esim. AMKA PEN) saisi näkyville tekstinä.

PowerGridistä ei nähdä, ovatko kaapeleiden vaipat sekä muut maadoitukseen käytettävät johtimet, molemmista tai kummastakaan päästään maadoitettuja. Vaikka nykyään SFS 6001 suosittelee aina yhdistämään eri jännitetasojen maadoituk-

set, ei vanhoilla verkko-osuuksilla tästä ole lainkaan varmuutta. Tämä vaikeuttaa työn tekoa, koska käytännössä kaikki jakokaapit, erottimet ym. täytyisi käydä tarkistamassa. Vaikka tämä työ tehtäisiinkin, ei PG:ssä ole mahdollisuutta merkitä näitä tietoja ylös.

## 3.2 Maadoitusten dokumentointi

Esimerkkikohteeksi valitun Suonenjoen taajaman alueelle sijoittuvat laajat maadoitusjärjestelmät dokumentoitiin PowerGrid verkkotietojärjestelmään. Dokumentoinnin aikana kirjoitettiin maadoitusten dokumentointiohje, joka tehtiin Savon Voima Verkko Oy:lle opinnäytetyöhön liittyen. Dokumentointi suoritettiin kyseisen ohjeen mukaisesti.

Valitun alueen verkon rakennetta tarkasteltiin PowerGridissä mahdollisimman yksinkertaisella näkymällä. PG:stä poistettiin kaikki ylimääräiset näkymät, taustakartat ym., eli siis vain PJ-, KJ- ja SJ-verkkojen solmuvälit olivat näkyvillä. Näin saatiin parhaiten nopeasti näkyville tiheät ja verkkomaiset alueet. Kyseiset alueet merkittiin muistiin ja niitä tarkasteltiin myöhemmin tarkemmin. Lähemmässä tarkastelussa joitakin alueita putosi pois sen takia, että verkot olivat selvästi liian puumaisia, eikä niitä saisi vähän muutoksin verkkomaisiksi. Loppuja, joko valmiiksi verkkomaisia tai pienillä muutoksilla semmoisiksi muutettavia, alueita tarkasteltiin seuraavaksi maasto- ja taajamakarttojen päällä. Näin nähtiin, mitkä toisiaan lähellä olevista alueista voitaisiin liittää toisiinsa ja muodostaa todella laajoja maadoitusjärjestelmiä. Vielä tässä vaiheessa joitakin alueita poistui laskelmista joko vesistöjen ja muiden luonnollisten tai rakennettujen esteiden takia. Esimerkkinä Suonenjoen taajaman halkaiseva junarata, joka jakaa sähköverkon (ja näin ollen myös maadoitusverkon) kahteen osaan.

Itse maadoitusverkon digitointia suoritettaessa, työskentelyä helpottaa, jos laittaa PJ- ja KJ-verkon solmuvälit pois näkyvistä ja reitit sekä solmuvälitekstit päälle. Reitit siksi, että ne voidaan valita, ja tekstit siksi, että tunnistetaan minkälainen johdin on kyseessä. Tämän jälkeen valitaan samaa tyyppiä oleva jatkuvan, ei haarautuvan, kokonaisuuden muodostava reitti ja luodaan sen mukainen apugeometria. Apugeometria luodaan joko painamalla näppäimistöltä *F2* tai valikosta *Apugeometria* → *luo apugeometria valinnasta*. Valitsemalla valikosta *Lisää* → *Maadoitusverkko* avataan maadoitusten digitointityökalu. Apugeometriasta luodaan maadoitusverkko digitointityökalun avulla. Sitten valitaan juuri lisätty maadoitusjohdin ja lisätään sille tyyppi sekä muut tarvittavat tiedot ja päivitetään loma-

ke. Luotua maadoitusjärjestelmää voidaan tarkastella menemällä sopivan suureen mittakaavaan ja poistamalla kaikki turhat näkyvyydet.

### Pikaohje:

- Työskentelyä helpottaa jos:
  - poistaa PJ- ja KJ-solmuvälit
  - poistaa tonttien rajat
  - asettaa maadoitusjohtimen sijainnin reittien päälle ja
  - poistaa maadoitusjohtimen karttatekstin (tulostaa vain ????).
- Maadoituksen lisäys:
  - yhtenäisen reitin valinta
  - F2 luo reitin mukaisen apugeometrian
  - valikosta *Lisää* → *Maadoitusverkko*
  - tehdään apugeometriasta maadoitusjohdin
  - valitaan juuri tehty maadoitusjohdin ja annetaan sille tyyppi sekä muut tarvittavat lomakkeen arvot ja
  - päivitetään lomake, jotta asetetut arvot säilyvät.
- Kaaviomaisen kuvan tuottaminen:
  - valitse alue
  - poista näkymästä kaikki muut objektit paitsi maadoitusjohtimet, maadoitukset, muuntamot, erottimet ja PJ-kytkimet.
- Muista, että:
  - Reitti ei voi muodostaa silmukkaa itsensä kanssa, mutta kaksi reittiä voivat tehdä yhdessä silmukan.
  - Valittaessa useita reittejä kerrallaan eivät reitit voi haarautua ja niiden täytyy muodostaa yhtenäinen kokonaisuus. Esimerkiksi PJ-kytkimen ja pylvään välillä oleva lyhyt pätkä täytyy huomata ottaa mukaan reittiin.
  - Yhdellä kertaa lisätylle maadoitusjohtimelle voi asettaa vain yhden tyyppin, joten esimerkiksi AMKA PEN ja PJ-kaapelin PEN tyyppiä olevat maadoitukset täytyy lisätä erikseen.

## 4 LAAJAN MAADOITUSJÄRJESTELMÄN TALOUDELLISET VAIKUTUKSET

### 4.1 Tarkastelun perusteet

Luonnollisesti tämäkin työ tehtiin siinä toivossa, että siitä olisi joskus jotain hyötyä. Verkkoyhtiöt ovat kiinnostuneet laajoista maadoitusjärjestelmistä muiden etujen lisäksi myös, koska standardien mukaan niihin liittyvillä muuntamoilla ei tarvitse määräajoin suorittaa maadoitusmittauksia. Kaikista töistä kertyy tietenkin kustannuksia ja tässä osiossa tutkitaan paljonko Savon Voima Verkko Oy voi säästää dokumentoimalla ja muuten täyttämällä standardien laajoille maadoitusjärjestelmille asettamat ehdot. Osiossa 4.3 tutkitaan myös, onko maadoitusten muuttaminen, muuntamoiden laajaan maadoitusjärjestelmään liittämiseksi, kannattavaa. Verkkoyhtiöt voivat pienentää kulujaan suunnittelemalla tulevaisuudessa rakennettavat uudet alueet kerralla laajan maadoitusjärjestelmän vaatimusten mukaisesti.

Maaseutupainotteisilla alueilla toimivilla verkkoyhtiöillä on tässä suhteessa vähemmän hyödyttävää, sillä todella laajoja maadoitusjärjestelmiä, joista syntyy jo huomattavia säästöjä, esiintyy vain suurempien kaupunkien keskustoissa, joissa sähköverkkokin on rakennettu ruutukaavamaisesti. Jotta esimerkiksi muuntamoiden kuuden vuoden välein suoritettavien maadoitusmittausten tarpeen poistuminen näkyisi budjetissa merkittävässä määrin, pitäisi useiden muuntamoiden kuulua laajaan maadoitusjärjestelmään.

### 4.2 Tarkastelun periaate

Taloustarkastelua tehtäessä otettiin huomioon laajan maadoitusjärjestelmän ulkopuolisille muuntamoille määräajoin (6–12 vuotta) tehtävien maadoitus- ja kosketusjännitteen sekä maadoitusresistanssin mittauksesta aiheutuvat kulut. Kyseiset kulut laskettiin Voimatel Oy:n kyseisille töille asettamalla hinnoilla. Myöskin mahdolliset verkoston muutostyöt laajan maadoitusjärjestelmän laajentamista varten on laskettu Voimatelin urakkahinnoilla. Mahdollisesti laajaan maadoitusjärjestelmään liittyvien tai liitettävien muuntamoiden määrä laskettiin PowerGrid verkkotietojärjestelmästä silmämääräisesti arvioimalla. Tarkastelussa oletettiin, että muuntamoille suoritettaisiin maadoitusmittaukset kuuden vuoden välein, mikäli ne eivät kuuluisi laajaan maadoitusjärjestelmään. Tämä siksi, että Savon Voimalla jakelumuuntamoiden maadoitusmittaukset on tähän mennessä

suoritettu muuntamohuoltojen yhteydessä kuuden vuoden välein. Standardin SFS 6001 osion 9.8 *Maadoitusjärjestelmien tarkastus ja valvonta* [1] mukaan suositeltavia ohjearvoja maadoitusresistanssin mittausväleiksi ovat

- 6 vuotta, kun maadoitus on yhden maadoitusjohtimen varassa ja
- 12 vuotta, kun maadoitus on useamman kuin yhden maadoitusjohtimen varassa.

Laajan maadoitusjärjestelmän elektrodin impedanssia ei tarvitse mitata.

Maadoitusjohtimen rakennuttamiselle ilmajohtona entisiin pylväisiin laskettiin hinnaksi yksi kolmasosa (1/3) uuden Sparrow-johtimen entisen tilalle vaihtamisen hinnasta, mikä tekee  $\frac{8459,95}{3} = 2819,98$  €/km. Maadoitusjohtimen rakentaminen pylväineen ja muine materiaaleineen laskettiin AMKA 16 mm<sup>2</sup> rakentamisen hinnalla 8035,70 €/km. Hinta ei sisällä raivauksia ja johtoaluekorvauksia. Voimatelin hinnoilla muuntamon maadoituksen mittaus on 76,60 €/muuntamo.

Kuuden vuoden välein yhtä muuntamoa kohtaan säästettävä summa diskontataan nykyarvoonsa diskonttokertoimen yleisen kaavan

$$P(T) = \frac{1}{(1+r)^T} \quad (5)$$

mukaisesti, jossa

$P(T)$  on diskonttokerroin

$r$  on kiinteä vuosittainen korko

$T$  on periodin järjestysnumero.

Tässä työssä päädyttiin käyttämään 24 vuoden takaisinmaksuaikaa (neljä kuuden vuoden periodia). Tämän lisäksi diskonttauksessa käytettiin 8 % vuosikorkoa, johon sisältyy sekä pääoman kustannus että varmuusvara. Taulukosta 6 (sivulla 47) nähdään, että 24 vuodessa yhdelle muuntamolle kertyvän säästön nykyarvo on 186,54 €. Tämä kerrotaan laajaan maadoitusjärjestelmään suunnitelman mukaisesti liitettävien muuntamoiden määrällä, jolloin saadaan muutosten maksimihinta. Tästä vähennetään pois kiinteät kulut, joita ovat Voimatelin hinnoilla ainakin työn perustamisyksikkö 87,35 €, mikä sisältää työn aloittamisesta ja lopettamisesta johtuvat kustannukset, sekä tarpeen tullen liikennejärjestelyt 316,7 €. Jäljelle jäänyttä summaa verrataan vaadittavien rakenteiden arvioituun hintaan.

Savon Voima Verkko Oy:n verkon alueella olevien kuntien sähköverkkojen rakenteita tarkastelemalla tultiin siihen johtopäätökseen, että laajoja maadoitusjärjestelmiä muodostuu nykyisellään ainoastaan Iisalmen, Varkauden ja Pieksämäen keskustan alueille. Näiden kolmen kaupungin selvempien tapausten lisäksi valmiita pienempiä laajoja maadoitusjärjestelmiä voi olla muun muassa Nilsiässä, Pielavedellä sekä ehkä myös Leppävirralla. Suonenjoella on pari kohdetta, jotka voitaisiin muuttaa suhteellisen pienillä kuluilla. Muiden kuntien verkkojen muuttaminen laajaksi maadoitusjärjestelmäksi vaatisi paljon muutoksia. **Ainoastaan Suonenjoen verkkoa tarkasteltiin läheisemmin, muiden alueiden verkkojen rakenne sekä laajaan maadoitusjärjestelmään liittyvien tai liitettävissä olevien muuntamoiden määrät ovat karkeita arvioita verkkotietojärjestelmän perusteella.** On huomioitava, ettei verkkotietojärjestelmään nykyisellään ole merkitty esimerkiksi maahan upotettuja maadoitusköysiä, jotka voivat yhdistää erillisiltä näyttävät maadoitukset ja näin muodostaa laajoja maadoitusjärjestelmiä.

Iisalmen keskustassa laajaan maadoitusjärjestelmään kuuluu tällä hetkellä 35 muuntamoaa. Pienin muutoksin maadoitusjärjestelmään saataisiin mahdollisesti yhdistettyä 13 vieressä olevaa muuntamoaa. Tämän lisäksi Lippuniemen alueella saattaa olla 8 muuntamoaa käsittävä laaja maadoitusjärjestelmä, mutta tämä vaatii lisätarkastelua. Myös Makkaralahden ja Kangaslammen alueille saatettaisiin voida luoda pienemmät (ainakin 4 muuntamoaa sisältävät) laajat maadoitusjärjestelmät. Näiden, sekä muiden, muutosten kannattavuuslaskelmat ovat nähtävillä osiossa 4.3. Varkaudessa laajaan maadoitusjärjestelmään kuuluu mahdollisesti jopa 24 muuntamoaa ja 10 muuntamoaa on liitettävissä. Pieksämäen keskustaan muodostunee kolme laajan maadoitusjärjestelmän aluetta. Näistä suurin (27-36 muuntamoaa) sijaitsee aivan Pieksämäen keskustassa, ulottuen rautatie/linja-autosemalta Länsirinteelle. Toiseksi suurin (16 muuntamoaa) sijaitsee rautatien itäpuolella Kaakinmäellä. Myös Tahiniemelle mahdollisesti muodostuu kuuden (6) muuntamon laaja maadoitusjärjestelmä. Näissä kunnissa voi siis jo nykyään kuulua laajoihin maadoitusjärjestelmiin  $35 + 24 + 58 = 117$  muuntamoaa.

### 4.3 Laskelmat

Yhtälöstä 5 saadaan 8 % vuosikorolla ja neljällä kuuden vuoden jaksolla nykyarvoksi

$$76,6 \text{ €} \cdot \sum_{T=0}^4 \frac{1}{(1+0,08)^{6T}}$$

eli

$$76,6 \text{ €} \left( \frac{1}{(1+0,08)^0} + \frac{1}{(1+0,08)^6} + \frac{1}{(1+0,08)^{12}} + \frac{1}{(1+0,08)^{18}} + \frac{1}{(1+0,08)^{24}} \right) = 186,54 \text{ €}$$

jossa

**76,6 €** on kuusivuositain säästettävä summa (nykyinen Voimatelin hinta maadoitusmittauksille).

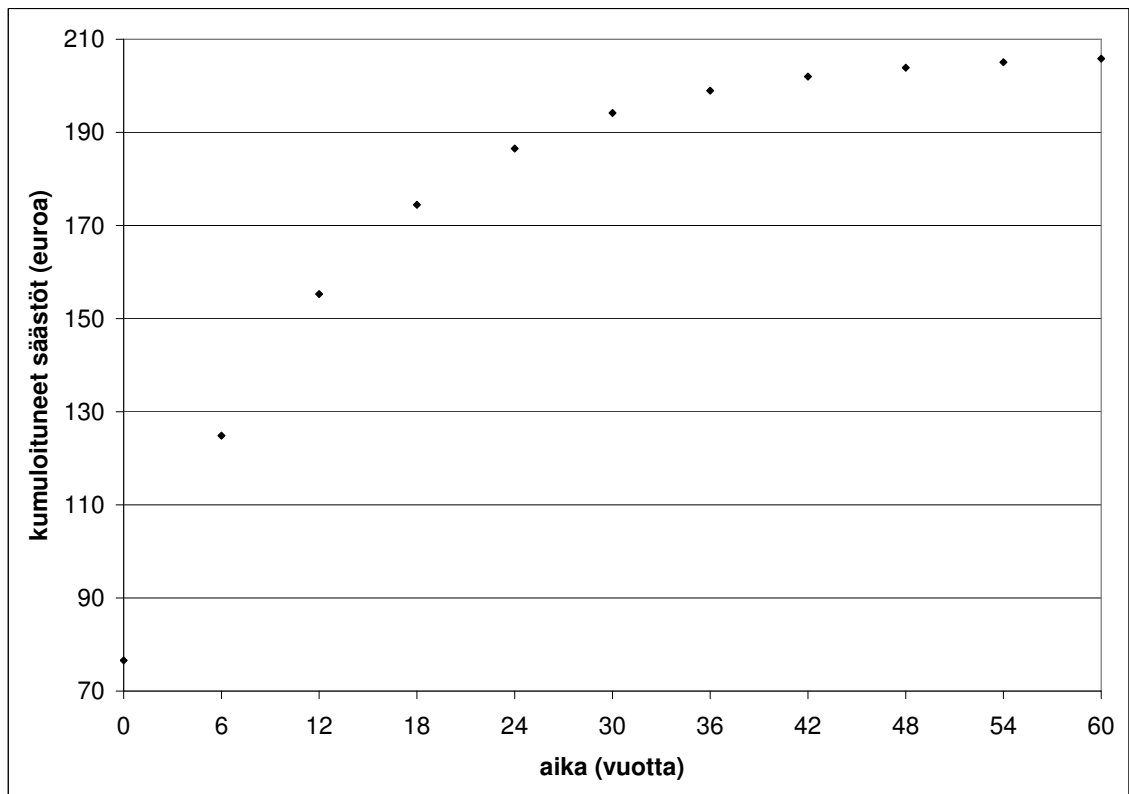
**0,08** vastaa 8 %:n vuosittaista korkoa (vuosikorko + varmuusvara).

$T$  on kuusivuotisperiodin järjestysnumero alkaen nolasta ja päättyen neljään.

Taulukossa 6 ja kuvassa 14 on nähtävillä yhtälön 5 mukaiset, jaksottaisten säästöjen ja näistä ajan mukaa kertyvien säästöjen nykyarvot. Näistä nähdään, ettei yhden muuntamon mittauksissa säästettävistä menoista kerry järkevällä aikavälillä yli 200 €:a. Näin ollen 24 vuoden aikajänteellä kertyvä 186,54 € vaikuttaa hyvältä kompromissilta säästöodotteen ja kuluvan ajan suhteen.

**Taulukko 6.** Nykyarvoon diskontatut säästöt muuntamoiden maadoitusmittauksista 6 vuoden aikaväleillä ja 8 % vuosikorolla.

kuluneet vuodet	mittauskerta	säästön nykyarvo (€)	kertymä (€)
0	1	76,6	76,6
6	2	48,27	124,87
12	3	30,42	155,29
18	4	19,17	174,46
24	5	12,08	186,54
30	6	7,61	194,15
36	7	4,80	198,95
42	8	3,02	201,97
48	9	1,90	203,88
54	10	1,20	205,08
60	11	0,76	205,83



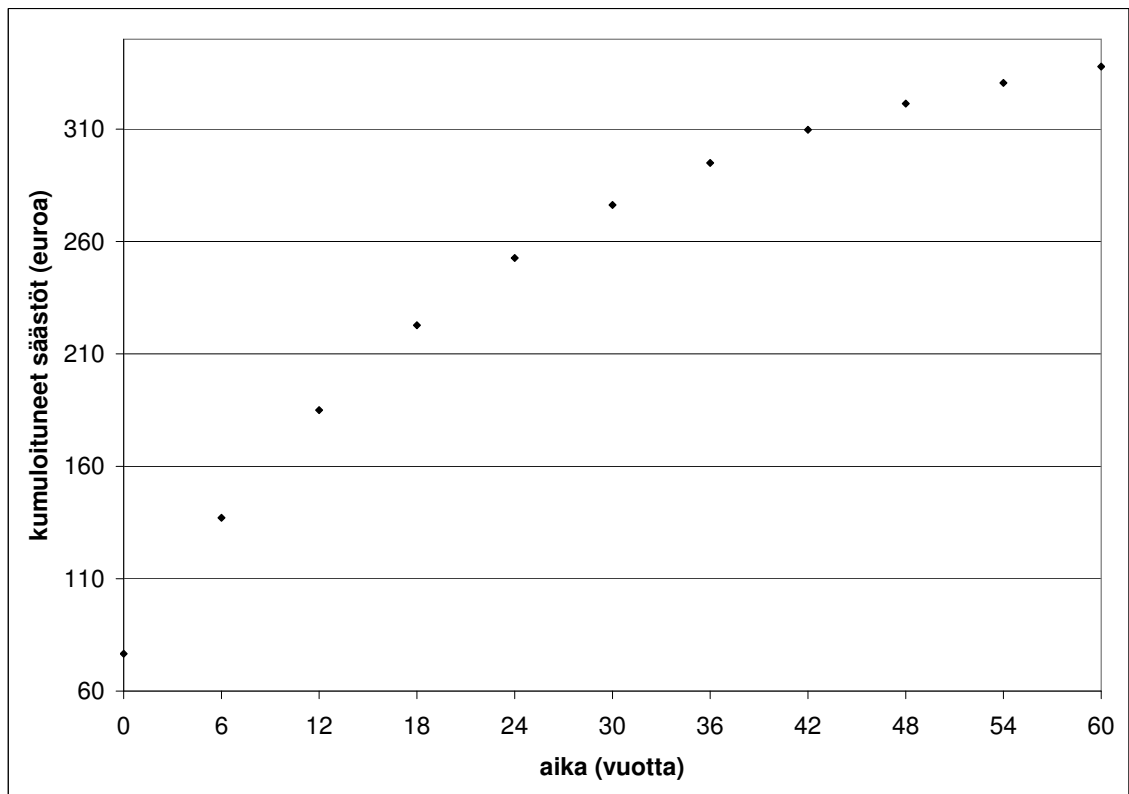
**Kuva 14.** Muuntamoiden maadoitusmittauksista saatavien säästöjen kertymä nykyarvoon diskontattuna, 6 vuoden aikaväleillä ja 8 % vuosikorolla.

Vertailun vuoksi esitetään myös 4 %:n vuosikorolla lasketut arvot taulukossa 7 sekä kuvassa 15. Kuten nähdään, ei 24 vuodessa yhdelle muuntajalle kertyvien säästöjen odotusarvo nouse siltikään kuin 252,68 €:oon, mutta investoinnin riski kasvaa.

**Taulukko 7.** Nykyarvoon diskontatut säästöt muuntamoiden maadoitusmittauksista 6 vuoden aikaväleillä ja 4 % vuosikorolla.

kuluneet vuodet	mittauskerta	säästön nykyarvo (€)	kertymä (€)
0	1	76,60	76,60
6	2	60,54	137,14
12	3	47,84	184,98
18	4	37,81	222,79
24	5	29,88	252,68
30	6	23,62	276,29
36	7	18,67	294,96
42	8	14,75	309,71
48	9	11,66	321,37
54	10	9,21	330,58
60	11	7,28	337,86





**Kuva 15.** Muuntamoiden maadoitusmittauksista saatavien säästöjen kertymä nykyarvoon diskontattuna, 6 vuoden aikaväleillä ja 4 % vuosikorolla.

## Iisalmi

Iisalmen keskustassa kuuluneen laajaan maadoitusjärjestelmään noin 35 muuntamoita ilman mitään muutoksia. Laskettaessa laajan maadoitusjärjestelmän dokumentoinnin yhteydessä poistuvan maadoitusmittaustarpeen säästöjä, saadaan

$$35 \cdot 76,6 \text{ €} = 2\,681 \text{ €}$$

jokaiselle kuuden vuoden aikavälille. Vertailun vuoksi lasketaan myös näille 35 muuntamolle 8 % korolla ja 6 vuoden periodeilla 24 vuoden päästä kertyneet säästöt, joista nykyarvoon diskontattuna saadaan

$$35 \cdot 186,54 \text{ €} = 6\,528,9 \text{ €}.$$

Iisalmessa saataisiin mahdollisesti liitettyä jopa 13 muuntamoita lisää laajaan maadoitusjärjestelmään. Yllä todettiin, että yhdelle muuntajalle säästöjä kertyy 24 vuodessa nykyarvoltaan yhteensä 186,54 €. Tästä kertyisi 13 muuntamolle yhteensä 2 424,50 €. Tästä otetaan ensimmäisenä pois kiinteät kulut, joita ovat Voimatelin hinnoilla ainakin työn perustamisyksikkö 87,35 €, joka sisältää työn aloittamisesta ja lopettamisesta johtuvat kustannukset, sekä liikennejärjestelyt 316,70 €. Näiden kiinteiden kulujen jälkeen kaapeliojan kaivamiseen, kaapelointiin ja uudelleen asfaltointiin (tai tienalitukseen ja kaapelin vetoon) jää 2 020,45 €.

Kaapeliojan kaivu rakennetulla taajama-alueella on hinnoiteltu 9,80 €/m (sisältää asfaltin poiston) ja pelkän maadoitusköyden asennus kaapeliojaan 2,50 €/m. Näillä hinnoilla laskettuna 2 020,50 €:lla saataisiin rakennettua 164 m. Arviosta puuttuu vielä paljon kuluja, kuten uudelleen asfaltointi, mutta jo nyt saadaan tulokseksi matka, joka ei riitä muuntamoiden liittämiseksi laajaan maadoitusjärjestelmään.

Iisalmen Makkaralahden ja Kangaslammen alueille voitaisiin mahdollisesti rakentaa 4 muuntamoita käsittävät laajan maadoitusjärjestelmän alueet. Mikäli näiden alueiden urakat voitaisiin yhdistää, jolloin säästettäisiin kiinteissä kuluissa (työn perustamisyksikkö ja liikennejärjestelyt), molemmille alueille yhteensä saataisiin upotettua

$$\frac{(8 \cdot 186,54 - 316,7 - 87,35) \text{ €}}{(9,8 + 2,5) \text{ €/m}} = 88,48 \text{ m}$$

maadoitusköyttä kaapeliojaan. Tämä voisi juuri ja juuri riittää toiselle, muttei molemmille alueille.

Myös Iisalmen Lippuniemen asuinalueella saattaa jo nykyään olla, tai sinne voitaisiin helposti rakentaa, kahdeksan muuntamoita käsittävä laaja maadoitusjärjestelmä. Kahdeksalle muuntamolle 24 vuoden säästöiksi kertyy  $8 \cdot 186,54 \text{ €} = 1\,492,32 \text{ €}$ . Lippuniemelle ei lasketa kustannusarviota, koska ei ole tiedossa mitkä muutoksia alueen verkkoon täytyisi tehdä. Mikäli noin 1 500 €:n nykyarvoon diskontatut säästöt 24 vuoden aikavälillä ovat riittävät, kannattaa alueen maadoitusjärjestelmään luoda katsaus.

Näin ollen Iisalmissa laajan maadoitusjärjestelmän tuottamiksi säästöiksi jäisi jo entuudestaan valmiiksi määritelmän mukaisen verkon osan 2 681 € kuusivuositain.

## Varkaus

Varkaudessa pienten verkkomaisten maadoitusjärjestelmien alueella on nykyään mahdollisesti jopa 24 muuntamoita. Näille täytyisi suorittaa läheisempi tarkastelu. Mikäli todetaan, että näistä kaikki kuuluvat laajaan maadoitusjärjestelmään, kertyisi niistä säästöä

$$24 \cdot 76,6 \text{ €} = 1\,838,4 \text{ €}$$

kuuden vuoden aikavälillä ja 24 vuodessa, nykyarvoon diskontattuna,

$$24 \cdot 186,54 \text{ €} = 4\,476,96 \text{ €}$$

Varkaudessa on hyvät edellytykset laajalle maadoitusjärjestelmälle, ja täällä kannattaakin tulevaisuuden rakennus- ja saneerausprojekteissa aktiivisesti tähdätä joko yhteen suureen laajaan maadoitusjärjestelmään tai useampaan pienempään kokonaisuuteen. Tällä hetkellä keskusta näyttää tiheältä ja verkkomaiselta, mutta eri lähtöjen maadoitukset ovat kuitenkin järjestään irtonaisia naapureistaan.

### **Pieksämäki**

Pieksämäen keskusta muodostuvien laajojen maadoitusjärjestelmien alueilla sijaitsee nykyään mahdollisesti jopa 58 muuntamo, joiden maadoitusmittauksiin käytetään yhteensä

$$58 \cdot 76,6 \text{ €} = 4\,442,8 \text{ €}$$

joka kuudes vuosi. Mikäli nämä kaikki todetaan kuuluvaksi laajoihin maadoitusjärjestelmiin, ja ne dokumentoidaan standardien vaatimusten mukaisesti, kertyy 24 vuoden tarkasteluajanjakson aikana näiden maadoitusmittauksista säästöä nykyarvoon diskontattuna

$$58 \cdot 186,54 \text{ €} = 10\,819,32 \text{ €}.$$

### **Suonenjoki**

Suonenjoella kahden, yhteensä yhdeksän muuntamon laajuisen, maadoitusjärjestelmän rakentaminen Kolmisopen ja Yhteislaitumen alueille vaatisi noin 300 m maadoitusjohtimen rakentamista entisiin pylväisiin ja noin 200 m maadoitusjohtimen rakentamista joko maahan tai uusiin pylväisiin. Lisäksi hintaa nostaa ainakin työn perustamisyksikkö, eli siis työn aloittamisesta ja päättämisestä aiheutuvat kustannukset 87,35 € ja ehkä myös liikennejärjestelyt 316,70 €. Näille muutoksille tulisi arviolta hintaa

$$\frac{8\,459,95 \text{ €/km}}{3} \cdot 0,3 \text{ km} + 8\,035,70 \text{ €/km} \cdot 0,2 \text{ km} + 87,35 \text{ €} = 2\,540,485 \text{ €}$$

Yhden muuntamon osuudeksi tulisi siis  $2\,540,485 \text{ €} / 9 = 282,28 \text{ €}$ . Kun tulevaisuudessa saatavat säästöt diskontataan nykyarvoonsa, nähdään taulukosta 6 ja kuvasta 14, ettei 282 euron muutoksluua saataisi nykyarvolla takaisin seuraavan 60 vuoden aikana. Muutokset eivät siis ole ainakaan puhtaasti taloudellisesti perusteltavissa. Edellisissä kappaleissa laskettiin muuntamoille 24 vuoden aikana kertyvät säästöt, Suonenjoella yhdeksälle muuntamolle saataisiin

$$9 \cdot 186,54 \text{ €} = 1\,678,86 \text{ €}$$

eli alakanttiin lasketuista kuluista jäädään vielä 861,63 €.

Suonenjoen keskustassa junaradan itäpuolella sijaitsevan verkon dokumentoinnilla voitaisiin todeta kolmen muuntamon kuuluvan laajaan maadoitusjärjestelmään. Näiden maadoitusmittauksista saataisiin kuusivuositain säästöä

$$3 \cdot 76,6 \text{ €} = 229,8 \text{ €}.$$

Tästä kertyy 24 vuodessa nykyarvoltaan

$$3 \cdot 186,54 \text{ €} = 559,62 \text{ €}.$$

### **Yhteensä**

Ilman lisärakenteita näissä kunnissa on siis mahdollisuus, laajojen maadoitusjärjestelmien dokumentoinnilla, säästää maadoitusmittauksissa kuusivuositain

$$117 \cdot 76,6 \text{ €} = 8962,20 \text{ €}$$

joista kertyy nykyarvoon diskontattuna

$$117 \cdot 186,54 \text{ €} = 21825,18 \text{ €}$$

24 vuoden tarkasteluperiodilla. Tähän 117 muuntamon lukumäärään ei ole otettu mukaan Suonenjoen keskustan kolmen muuntamon maadoitusjärjestelmää sen pienuuden johdosta. Mahdollisesti myös muilla, tässä työssä käsittelemättömillä, Savon Voima Verkko Oy:n jakeluverkon piiriin kuuluvilla paikkakunnilla on laajoja maadoitusjärjestelmiä. Verkkotietojärjestelmään luodun katsauksen mukaan tämä on kuitenkin epätodennäköistä.

## 5 LAAJAN MAADOITUSJÄRJESTELMÄN MAHDOLLISUUDET SAVON VOIMAN VERKOSSA

### 5.1 Lähtökohdat

Työn edetessä kävi selväksi, että liki kaikissa löydettyissä lähteissä oli itsessään käytetty lähteenä samaa alkuperäistä CENELECin harmonisointiasiakirjaa *HD 637: Power installations exceeding 1 kV a.c.:1999*. Kyseistä teosta on käytetty myös standardin SFS 6001 esikuvana. Tämän alkuperäisen, erittäin löyhän, laajan maadoitusjärjestelmän määritelmän lisäksi löytyi vain harvoja alkuperäisiä asiaa käsitteleviä tekstejä. Nämä puolestaan olivat yliopistoissa suoritettuja matemaattisia mallinnuksia, joilla voidaan tunnetun verkon rakenteen mukaisesti tutkia maadoituksen toimintaa. Näitä ei otettu tämän työn laajuudessa käsittelyyn. Toinen laajaa maadoitusjärjestelmää määrittelemään pyrkivä teos on CENELECin standardiluonnos prEN 50522 [3], jossa onkin hieman alkuperäistä kuvailevampi määritelmä. Kyseisen standardiehdotuksen laajaa maadoitusjärjestelmää käsittelevän *liitteen O* suomennos on esitetty sivulla 19. SFS 6001:n, prEN 50522:n sekä muiden HD 637:ää esikuvanaan käyttävien, ja sen määritelmää tarkentamaan ja selventämään pyrkivien, tekstien perusteella saadaan kuva laajan maadoitusjärjestelmän vaatimuksista. Vieläkään laajalle maadoitusjärjestelmälle ei ole yksinkertaista ja selvää määritelmää, mikä ei vaatisi jokaisen kohteen yksittäistä tarkastelua.

Aluksi silmämääräisen tarkastelun aikana tehtiin virheellisiä arvioita, kuten tarkastelemalla liian suuria silmukoita tekeviä KJ-verkon osia tai liian pieniä jopa yhden jakelumuuntajan PJ-verkkoja. Äkkiä kuitenkin havaitaan, että Suomessa KJ-verkko harvoin tekee maadoituksen kannalta silmukoita, saati verkkomaisista rakennetta, puuttuvien maadoitusjohtimien takia. Myöskään liian pienet PJ-verkon osat eivät saa aikaiseksi laajaa maadoitusjärjestelmää joko verkkomaisen rakenteen puuttumisen, pelkästään yhden silmukan muodostumisen tai verkon pienuuden takia.

Työtä tehtäessä kävi selväksi, että PG:n tiedot pitävät hyvin paikkansa, mutta sieltä puuttuu paljon maadoitukseen liittyvää tietoa, kuten KJ-pylväisiin asennetut maadoitusjohtimet sekä maakaapeliin upotetut kupariköydet. Näistä ilmoitettuna toteutetut voidaan luonnollisesti havaita helpommin niitä dokumentoimalla, mutta esimerkiksi kaapeliin upotettujen maadoitusköysien dokumentointi on kyseisessä projektissa työskennelleiden muistin varassa. Tällöinkin vaa-

ditaan jatkuvuusmittauksia verkossa tapahtuneiden muutosten ja alueella suoritettujen kaivauksien takia.

Huomionarvoista on, ettei tätä työtä tehtäessä ole otettu huomioon muita kuin PJ- ja KJ-verkkojen maadoitusjohtimet. Mahdollisten tele- ym. kaapeleiden sekä vesi-, viemäri- ym. putkien vaikutuksia ei ole huomioitu. Nämä eivät suoraanaisesti sovellukaan maadoitusjohtimiksi, mutta ne täytyisi liittää alueen laajaan maadoitusjärjestelmään kosketusjännitteiden sekä häiriöiden estämiseksi.

Tieto Oy:n PowerGrid verkkotietojärjestelmä soveltuu kyllä maadoitusten dokumentointiin, mutta parannettavaakin on paljon. Maadoitusverkon digitointi saisi olla paremmin integroitu järjestelmään, mieluummin samalle tasolle asti kuin muidenkin johtimien lisäys. Myöskin joidenkin data-kenttien puuttuminen vaikeuttaa dokumentointia. PowerGridistä ei nykyisellään saa täydellistä kuvaa maadoituksista, eikä kaikille tarpeellisille tiedoille olekaan kenttiä. Suurimpina puutteina näkisin kaapeleiden maadoitusjohtimina toimivien osien materiaalien ja poikkipintojen sekä maadoitusjohtimien ja kaapeleiden metallivaippojen maadoituspisteiden puuttumisen. PowerGrid ei myöskään osaa luoda yksinkertaistettua kaaviokuvaa valmiiksi digitoidusta maadoitusverkosta. Tämän luulisi olevan helppoa kun kaikki solmupisteet on digitoitu. Yksinkertaistetusta kaaviokuvasta saisi helpommin käsityksen verkon pisteiden suhteista toisiinsa. PG:stä saatava, maantieteelliseen sijaintiin perustuva, maadoituskuva lienee riittävä täyttämään laajan maadoitusjärjestelmän dokumentointia säätelevien säädösten vaatimukset.

## 5.2 Taloustarkastelu

Kustannusten kuoletusaika riippuu laajaan maadoitusjärjestelmään liittyvien muuntamoiden määrästä sekä tähän vaadittavista muutoskustannuksista. Luonnollisesti, mitä suurempi määrä muuntamoista saadaan liitettyä laajoihin maadoitusjärjestelmiin mahdollisimman pienillä kustannuksilla, sitä nopeammin investoinnit alkavat tuottaa säästöjä. Paras säästöpotentiaali onkin kaupunkimaisissa taajamissa, kuten esimerkiksi Iisalmen kaupungin keskustassa. Suonenjoella laajan maadoitusjärjestelmän alueet jäävät niin pieniksi, ettei muutoksia voida perustella pelkästään taloudellisesti.

Laajan maadoitusjärjestelmän edut eivät suinkaan rajoitu ainoastaan maadoitusmittausten tarpeen poistumiseen. Laajojen maadoitusjärjestelmien, kuten muidenkin hyvien maadoitusten, etuihin lukeutuvat myös parantunut henkilöturvallisuus, vähentyneet laiterikot sekä sähkömagneettinen häiriöttömyys. Huo-

mattavia säästöjä voidaan saada myös saneeraus- tai uudistamistarpeen viivästy-  
misestä. Näiden etujen laskeminen rahassa on kuitenkin vaikeaa, ja niitä täytyy-  
kin harkita aina tapauskohtaisesti. Verkon muutostyöt lienevät harvoin perustel-  
tavissa suorilla laajaan maadoitusjärjestelmään liittymisen tuomilla taloudellisil-  
la säästöillä.

Osion 4.3 laskelmista voidaan päätellä, että pienien säästöjen ja pitkien takaisin-  
maksuaikojen takia verkkojen muutostöitä ei voida perustella ainakaan pelkäs-  
tään suoraan saatavilla säästöillä. Mikäli jokin tarpeeksi suuri muuntamoryhmä  
olisi edullisesti liitettävissä laajaan maadoitusjärjestelmään, täytyisi niiden välis-  
ten maadoitusjohdinten verkon olla jo valmiiksi niin tiheä, että mitä todennä-  
köisimmin ne loisivat laajan maadoitusjärjestelmän jo entuudestaan. Jos vastaan  
tulee tilanne, jossa pienillä kustannuksilla rakentamisen yhteydessä saadaan jo-  
ko luotua uusi, tai liiityttyä vanhaan laajaan maadoitusjärjestelmään, kannattaa  
näin tällöin tehdä. Yksittäisten muuntamoiden liittäminen suurin kustannuksin  
ei liene kuitenkaan koskaan kannattavaa.

Maadoitusverkon muutokset kannattaneekin suorittaa muun verkoston peruspa-  
rannuksen ja uusimisen yhteydessä. Näitä suunnitellessa täytyisikin ottaa huo-  
mioon maadoitusjärjestelmän verkkomaisuuden ja laajan maadoitusjärjestelmän  
rakentamisen vaatimukset. Uuden verkon pitkä oletettavissa oleva käyttöikä  
mahdollistaa monimutkaisempienkin maadoitusjärjestelmien rakentamisen, mi-  
käli näillä saadaan aikaiseksi laaja maadoitusjärjestelmä. Pitkän käyttöiän ansios-  
ta rakennusvaiheen kustannukset ehditään saada säästöinä takaisin.

Savon Voimalla on tähän mennessä suoritettu maadoitusmittaukset kuusivuosit-  
tain muuntamohuoltojen yhteydessä. Tämä ei kuitenkaan standardin SFS 6001  
mukaan ole välttämätöntä. Standardissa annattuja suositeltavia ohjearvoja aika-  
väleiksi maadoitusmittauksille laajan maadoitusjärjestelmän ulkopuolisille  
muuntamoille ovat 6 tai 12 vuotta, riippuen siitä, onko maadoitus yhden tai  
useamman kuin yhden maadoitusjohtimen varassa. Maadoitusmittausten mää-  
rää voitaisiin mahdollisesti siis vähentää myös laajan maadoitusjärjestelmän ul-  
kopuolisilla muuntamoilla, kartoittamalla maadoitukset joilla on useampi kuin  
yksi maadoitusjohdin. Tässä on tietysti otettava huomioon myös laadunvarmis-  
tusjärjestelmästä tulevat sekä maaperän asettamat vaatimukset.

### 5.3 Suositus

Tämän työn perusteella suosittelen dokumentoimaan verkkotietojärjestelmään  
Iisalmen, Varkauden ja Pieksämäen kaupunkien taajamissa olevat maadoitus-

järjestelmät. Näin saadaan mahdollisimman pienin kuluin verkon nykyisen rakenteen sallimat säästöt. Lisäksi kyseisten alueiden verkkojen dokumentointi paranee. Tulevaisuudessa on myös suositeltavaa pyrkiä laajaan maadoitusjärjestelmään perusparannusten ja uudisrakentamisen yhteydessä. Tällöin säästetään myös näiden alueiden maadoitusmittauksissa sekä saadaan aikaiseksi parantuneen maadoituksen mukanaan tuomat edut, joita ovat muun muassa vähentyneet laiterikot ja häiriöt sekä parantunut henkilöturvallisuus. Suosittelen myös kartoittamaan maadoitukset joille tarvitsee suorittaa maadoitusmittaukset vain 12 vuoden välein nykyisen 6 vuoden sijaan.



## 6 YHTEENVETO

Tässä työssä johdettiin laajan maadoitusjärjestelmän määritelmä standardeista, dokumentoitiin esimerkkikohteen maadoitusjärjestelmä verkkotietojärjestelmään ja suoritettiin maadoitusverkon muutoksien kannattavuuslaskelmia. Tämän lisäksi selvitettiin, mitkä Savon Voima Verkko Oy:n käytössä olevista kaapelityypeistä soveltuvat laajan maadoitusjärjestelmän yhdistysjohtimiksi, ja arvioitiin Tieto Oy:n PowerGrid-verkkotietojärjestelmän soveltuvuutta laajojen maadoitusjärjestelmien dokumentointiin.

Laajan maadoitusjärjestelmän tarkka määrittely nykyisten standardien perusteella on vaikeaa, mutta CENELECillä on tekeillä standardiluonnos, joka hieman tarkentaa määritelmää ja antaa esimerkkejä alueista, joilla voi olla laaja maadoitusjärjestelmä.

Työssä ryhdyttiin dokumentoimaan Suonenjoen kaupungin keskustan alueella olevat laajat maadoitusjärjestelmät, mutta arvioinnin aikana todettiin, ettei kyseisellä alueella sellaisia nykyisellään ole. Todettiin myös, ettei verkon muutoksia voida taloudellisesti perustella pelkästään laajan maadoitusjärjestelmän suomalaisella vapautuksella muuntamoiden maadoitusmittauksista. Maadoitusmittauksien tarpeen poistumisesta kertyy kyllä säästöjä, mutta laajan maadoitusjärjestelmän luomisen perusteena voitaisiin ennemmin pitää parantuneen maadoituksen mukanaan tuomia muita etuja. Näitä ovat muun muassa vähentyneet laiterikot ja häiriöt sekä parantunut henkilöturvallisuus.

PowerGrid-verkkotietojärjestelmä soveltuu laajojen maadoitusjärjestelmien dokumentointiin. Digitoidusta maadoitusverkosta ei kuitenkaan saada automaattisesti kaaviota, mutta poistamalla näkymästä kaikki ylimääräiset elementit, kuten taustakartat ja muut kuin maadoitusverkon osat, saadaan aikaiseksi maaston mukainen kuva maadoitusjärjestelmästä.

## LÄHTEET

- [1] Suomen Standardisoimisliitto SFS. *SFS 6001 + A1 Suurjännitesähköasennukset*, 2. painos, 2005.
- [2] Tiainen, Esa ym. *Maadoituskirja*. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 5. uusittu painos, 2007.
- [3] European Committee for Electrotechnical Standardization CENELEC. *Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c*, 2008.
- [4] Frans Provoost, Sjeff Cobben, Jeroen van Waes, Maarten van Riet ja Lex van Deursen. *Aspects on grounding*, huhtikuu 2004. [Verkkotiedosto][haettu 13.5.2009].  
[http://www.leonardo-energy.org/webfm\\_send/411](http://www.leonardo-energy.org/webfm_send/411)
- [5] Energiateollisuus ry. *Verkostosuositus RJ 19:06, Pylväserotinasemien ja muuntamopiirien maadoitukset standardin SFS 6001 mukaan*.
- [6] Energiateollisuus ry. *Verkostosuositus TJ 1:05, Sähkönjakeluverkkojen maadoitusmittaukset*.
- [7] Sähköenergialiitto ry SENNER. *Verkostosuositus RM 5:03, Pylväsmuuntamon maadoitusjohtimet, ylijännitesuojaus ja eläinsuojaus*.
- [8] Energiateollisuus ry. *Verkostosuositus YJ 1:08, Sähköverkonhaltijain sekä televerkko-operaattorien pylväiden ja maadoitusten yhteiskäyttöä koskeva toimintaohje*.
- [9] Hoeffelman, J. ym. *Round Table on Neutral Earthing in LV Networks*, kesäkuu 2001. [Verkkotiedosto][haettu 13.5.2009].  
[http://www.cired.be/documents/cired2001\\_RT\\_Earth.pdf](http://www.cired.be/documents/cired2001_RT_Earth.pdf)
- [10] Suomalaiset ABB yhtiöt. *Teknisiä tietoja ja taulukoita*, 10. painos, 2000.
- [11] Nokia Kaapeli Oy. *Tuoteluettelo*.
- [12] Prysmian Cables and Systems Oy, Risto Kivisaari. *Henkilökohtainen sähköposti*, elokuu 2009.
- [13] Suonenjoen kaupungin verkkosivu [Verkkotiedosto][haettu 1.6.2009].  
<http://www.suonenjoki.fi/>
- [14] Tieto Oy. *PowerGrid käyttäjän opas*.