



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mikko Hietanen

MAADOITUSMITTAUSPROSESSIN  
KEHITTÄMINEN JA CADS-POHJAI-  
NEN MAADOITUSSUUNNITTELU

Tekniikka  
2019

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Mikko Hietanen
Opinnäytetyön nimi	Maadoitusmittausprosessin kehittäminen ja cads-pohjainen maadoitussuunnittelu
Vuosi	2019
Kieli	suomi
Sivumäärä	43
Ohjaaja	Timo Männistö

---

Tämä opinnäytetyö keskittyy suurjännitepylväiden maadoitusten mittausprosessiin ja sen suunnitteluun. Työ pyrkii kehittämään ja selventämään pylväismaadoituksen rakennuksen eri työvaiheita.

Mittausprosessin selventämiseksi opinnäytetyössä on luotu dokumentti, jossa luetaan suurjännitepylvään maadoituksen eri mittaustapoja. Dokumentissa esitetään myös kehitysehdotuksia mittauksiin liittyen. Dokumentti on luotu käyttäen Microsoft Word-tekstinkäsittelyohjelmistoa ja sen tiedot perustuvat maadoitusmittausmanuaaleihin ja yleisessä käytössä olevaan standardiin.

Suurjännitepylväiden maadoitusten suunnittelu ja piirto on tehty aikaisemmin pohjaan, joka käyttää Excel-ohjelmistoa. Opinnäytetyössä luotiin uusi pohja, joka soveltuu paremmin maadoitusten piirtoon. Pohjan uudeksi ohjelmaksi valittiin suunnitteluohjelmisto Autocad, joka soveltuu paremmin maadoitusten suunnitteluun kuin Excel-ohjelmisto.

Suurin osa opinnäytetyön tavoitteista saavutettiin. Molemmat, mittausta avustava dokumentti ja suunnittelua varten luotu pohja, saatiin tehtyä valmiiksi. Ainoastaan mittausten kehitysehdotuksia varmentavia testimittauksia ei ole vielä suoritettu. Tämä johtuu mittausten vuodenaikasta riippuvista rajoituksista.

## ABSTRACT

Author	Mikko Hietanen
Title	Development of Earthing Measurement Process and CADs-Based Earthing Design
Year	2019
Language	Finnish
Pages	43
Name of Supervisor	Timo Männistö

---

This thesis focuses on the process of measuring the earthing of high voltage pylons and designing the process. It attempts to improve and clarify the different steps of the earthing for high voltage pylons.

To clarify the process of measuring, a document was made in the thesis, which lists the different measurement methods for the earthing of high voltage pylons. The document also presents development suggestions related to the measurements. The document was created using Microsoft Word -program and its data is based on earthing measurement manuals and existing standard.

The design and drawing of high voltage pylons have been previously made in a layout which uses the Excel -program. In the thesis a new layout was made which is more suitable for earthing drawing. The design program AutoCAD was chosen for the layout. This program is better suited for earthing drawing than Excel-program.

Most of the aims of the thesis were achieved. Both the measurement supporting document and the layout created for the design were completed. Only the test measurements for the development suggestions have not yet been performed. This is because of the seasonal constraints on the measurements.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

1	JOHDANTO.....	8
2	YRITYSESITTELY .....	9
	2.1 Empower.....	9
	2.2 Fingrid.....	9
3	PYLVÄSMAADOITUS JA SEN MITTAUKSET .....	10
	3.1 Pylväsmaadoituksen tarkoitus.....	10
	3.2 Pylväsmaadoituksen rakenteet .....	10
	3.3 Maadoitusjännite.....	13
	3.4 Maadoitusresistanssi .....	13
	3.5 Kosketusjännite ja muut vaarajännitteet .....	15
	3.6 Maadoitusjärjestelmän suunnittelu .....	18
	3.7 Maadoitusresistanssin mittaustavat ja niiden käyttö.....	21
	3.7.1 Käänne pistemenetelmä .....	22
	3.7.2 Lyhyt käänne pistemenetelmä.....	25
	3.7.3 Sarjamittausmenetelmä .....	25
	3.7.4 Virta-jännitemittausmenetelmä.....	26
	3.7.5 Suurtaajuusmenetelmä .....	27
	3.7.6 Tasavirtamittaus .....	28
	3.7.7 Pylvään kuntotarkastus.....	28
	3.7.8 Pylvään tutkaus .....	28
4	SUUNNITTELUMITTAUKSET .....	29
	4.1 Maaperän resistiivisyyden mittaus.....	29
	4.2 Suunnittelumittausten tulosten raportointi.....	31
5	AUTOCAD-MAADOITUSMITTAUSPOHJA .....	33
	5.1 Excel-ohjelmiston puutteet .....	33
	5.2 Autocad-pohjan rakennus .....	33

6	MAADOITUSMITTAUSPROSESSIN KEHITYS .....	39
6.1	Maadoitusmittausdokumentti.....	39
6.2	Maadoitusresistanssin mittausohje.....	39
6.3	Mittausprosessin kehitysehdotukset.....	39
6.3.1	Mittaussuunnan valinta .....	39
6.3.2	Käännepistemittauksen mittaustiheyden muutos .....	40
6.3.3	Käännepistemenetelmän käyrämuoto näkyviin mittaajille .....	41
6.3.4	Erillään olon varmistus .....	41
7	YHTEENVETO .....	42
7.1	Opinnäytetyön haasteet.....	42
7.2	Kokeilumittaukset.....	42
7.3	Opinnäytetyön lopputulos .....	42
	LÄHTEET .....	43

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Empower-logo .....	9
<b>Kuva 2.</b> Fingrid-logo .....	9
<b>Kuva 3.</b> Suurjännitepylvään perusosat /4/ .....	11
<b>Kuva 4.</b> Perusmaadoituksen rakenne /5/ .....	11
<b>Kuva 5.</b> Pylväsmaadoituksen rakennustapoja /5/ .....	12
<b>Kuva 6.</b> Vaakamaadoituselektrodin maadoitusresistanssi suoraan tai rengasmaisesti asennettuna homogeenisessä maan pinnassa. /1, s. 122/ .....	14
<b>Kuva 7.</b> Suurjännitepylvään jännitteet: Maan pinnan potentiaali $V$ , maadoitusjännite $U_m$ , kosketusjännite $U_k$ , askeljännite $U_a$ , siirtyvä jännite $U_s$ ja takaperoinen kosketusjännite $U_{tp}$ . Kuvassa myös maasulkuvirta $I_m$ . /3/ .....	16
<b>Kuva 8.</b> Sallitut kosketusjännitteet $U_{TP}$ /1, s. 93/ .....	17
<b>Kuva 9.</b> Maadoitusjärjestelmän suunnittelukaavio /1, s. 94/ .....	18
<b>Kuva 10.</b> Suurjännitepylvään maadoituksen suunnittelukaavio /6/ .....	20
<b>Kuva 11.</b> Sallitut kosketusjännitteet $U_D$ /6/ .....	21
<b>Kuva 12.</b> Jännitteen jakautuminen mittaustilanteessa /2/ .....	22
<b>Kuva 13.</b> Mittauskohdat käännepistemetelmässä .....	23
<b>Kuva 14.</b> Käännepistemetelmän mittaustapa ja siitä muodostettu käyrä /2/ ....	24
<b>Kuva 15.</b> Wenner -menetelmä /9/ .....	29
<b>Kuva 16.</b> Maadoitusmittauspohja, johon mittaustulokset ja karttapohja merkitään .....	31
<b>Kuva 17.</b> Tarkennettu kuva maaperän resistiivisyyden taulukoista .....	32
<b>Kuva 18.</b> Laajennettu kuva maastokartasta .....	32
<b>Kuva 19.</b> Näkymä Autocad-ohjelmistossa .....	33
<b>Kuva 20.</b> Esimerkki tavoitearvokaavasta Excel-ohjelmassa .....	34
<b>Kuva 21.</b> Esimerkki tavoitearvokaavasta Autocad-ohjelmassa käyttäen Autofield-lisäosaa .....	35
<b>Kuva 22.</b> Maadoitusmittauspohjan muuttujat .....	35
<b>Kuva 23.</b> Autocad-ohjelman block eli symbolieditori .....	36
<b>Kuva 24.</b> Joitain rakennettuja symboleita esimerkkipiirroksessa .....	36
<b>Kuva 25.</b> Karttapohjan symboleiden merkitykset /3/ .....	37
<b>Kuva 26.</b> Autocad-ohjelmalla rakennettu kopio maadoitusmittauspohjasta .....	38

<b>Kuva 27.</b> Käännepistemittauksen käyrä, jossa mittauksia on lisätty käyrän keskelle .....	40
<b>Kuva 28.</b> Tiheyden muutostapa 1 (Yksi mittaus käyrän lopusta siirretty) .....	41
<b>Kuva 29.</b> Tiheyden muutostapa 2 (Kaksi mittausta lisätty 70 m ja 90 m) .....	41
<b>Taulukko 1.</b> Erityyppisten kappaleiden maadoitusresistanssin laskentakaavoja /1, s. 148/ .....	15
<b>Taulukko 2.</b> Maaperän resistiivisyys 50 Hz taajuudella /1, s. 121/ .....	30

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty Empower-yhtiölle ja se on jaettu kahteen erilaiseen työtehtävään, jota kuitenkin yhdistää suurjännitepylväiden maadoituksen mittaus ja suunnittelu. Ensimmäinen työtehtävä liittyy maadoitusmittausprosessin kehittämiseen ja jo olemassa olevan ohjeistuksen selventämiseen mittajille. Tähän mittaukseen liitettävään osioon on opinnäytetyössä luoto dokumentti, joka sisältää eri mittaustapojen menetelmiä ja ohjeistusta niiden käyttöön eri työkohteissa. Toisen työtehtävän tarkoitus on rakentaa maadoitus suunnittelun tueksi uusi raportointipohja. Pohjan rakentamiseen käytetään Autocad-ohjelmistoa ja se korvaa vanhemman Excel-ohjelmaan perustuvan pohjan.

Opinnäytetyön aihe tuli Empowerin työjohtolta. Suurjännitepylväiden mittaus ja suunnittelu ovat uudistumassa yhtiössä. Itse mittaukseen haetaan jo olemassa olevan ohjeistuksen selventämistä ja uusia mittaussuunnittelua parantavia ehdotuksia. Empowerin suunnittelusta vastaava osasto on halukas siirtymään pois Excel-ohjelmistosta maadoitus suunnittelussa. Tämä johtuu siitä, että Excel soveltuu paremmin taulukointiin eikä niinkään suunnittelussa tapahtuvaan karttapohjien piirtoon.



## 2 YRITYSEESITTELY

### 2.1 Empower

Empower Oyj on vuonna 1998 Suomessa perustettu energiaan ja tietoliikenteeseen keskittyvä yhtiö. Empower toimii myös Pohjoismaissa sekä Baltiassa ja sen palveluksessa on noin 1 700 henkilöä. Yhtiö toimii pääasiassa Suomessa, sillä noin 60 prosenttia sen liikevaihdosta tulee Suomesta. Yksi yhtiön suurimmista työalueista on energian siirtoon liittyvät työtehtävät. Näihin kuuluu suurjänniteverkon pylväisiin liittyvät tehtävät, kuten niiden suureiden mittaukset, rakennus, suunnittelu ja maadoituksen määrittäminen. Tämä opinnäytetyö keskittyy pylväiden maadoitukseen ja toimeksianto tuleekin Empowerin niiltä osastoilta, jotka vastaavat suurjännitepylväiden maadoituksen suunnittelusta ja mittauksesta. Nämä osastot sijaitsevat Empowerin toimistoilla Seinäjoella ja Harjavallassa. Kuvassa 1 on Empowerin logo.



**Kuva 1.** Empower-logo

### 2.2 Fingrid

Fingrid on Suomen kantaverkkoa ylläpitävä yritys, joka on ollut toiminnassa vuodesta 1996 lähtien. Kantaverkon ylläpito tarkoittaa sitä, että Fingrid on vastuussa suuresta osuudesta Suomen suurjänniteverkosta. Tämän takia suurin osa Empowerin suurjänniteverkkoon liittyvistä työtehtävistä, kuten suunnittelu, mittaukset ja rakennus tulevat Fingrid-yhtiöltä. Kuvassa 2 on Fingridin logo.



**Kuva 2.** Fingrid-logo

### **3 PYLVÄSMAADOITUS JA SEN MITTAUKSET**

#### **3.1 Pylväsmaadoituksen tarkoitus**

Maadoituksen yleinen tarkoitus on yhdistää laitteen tai asennuksen jännitteelle alttiit osat maahan mahdollisimman tehokkaasti. Maadoitettava kohde ja maa yhdistetään toisiinsa metallisilla johtimilla eli maadoituselektrodeilla. Standardi määrää, että kaikki jännitteelle alttiit osat on maadoitettava. Kun maadoitus on asennettu oikein, se estää vikatilanteissa muodostuvia vaarajännitteitä, kuten kosketusjännitettä ja askeljännitettä. /1, s. 98, 2, 3/

Pylväsmaadoituksen tarkoitus on pienentää pylvään maadoitus- ja kosketusjännitettä sekä alentaa pylvään potentiaalia, ettei ukkosjohtimeen osunut salamanisku aiheuttaisi takaiskua. Maadoitus parantaa myös maasulkusuojauksen toimintaa, joka on erityisesti tarpeellinen, jos linjalla ei ole ukkosjohtimia. /3/

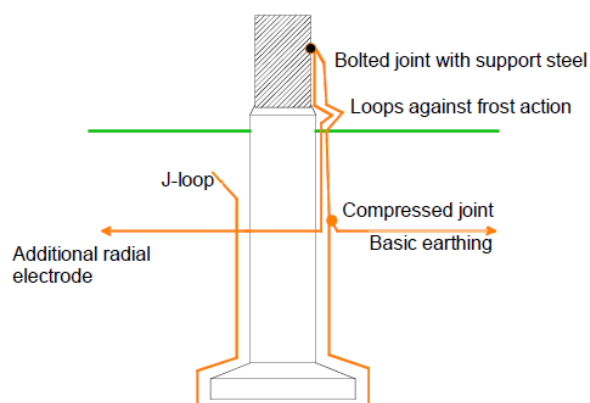
#### **3.2 Pylväsmaadoituksen rakenteet**

Suurjännitepylväs koostuu maanpinnan yläpuolisista osista ja maanalaisista rakenteista. Maan yläpuolella on pylvään kannattelevat johtimet, itse pylväs rakenne ja sitä tukevat harukset. Maan alla sijaitsee pylvään perustukset, perusmaadoitus ja mahdolliset lisämaadoitusjohtimet (elektrodit). Nämä osat esitetään kuvassa 3.



**Kuva 3.** Suurjännitepylvään perusosat /4/

Pylvään maadoitus sisältää aina vähintään perusmaadoituksen, joka on esitetty kuvassa 4. Perusmaadoitus asennetaan kuvan mukaisesti kulkemaan pylvään perustusten alta ja se katkaistaan jättäen pienen osan siitä toiselle puolelle pylvästä. Tätä perusmaadoituksen osaa kutsutaan J-lenkiksi.

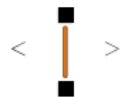


**Kuva 4.** Perusmaadoituksen rakenne /5/

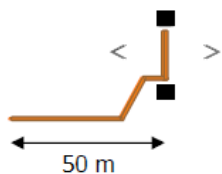
Pylvään perusmaadoitus ja sen harukset muodostavat yhdessä niin sanotun luonnollisen maadoitusresistanssin. Jos maasto on hyvin johtavaa, voi luonnollinen maadoitusresistanssi olla riittävä antamaan tarvittavan suojan pylväälle. Jos näin ei ole, joudutaan pylvään perusmaadoitukseen lisäämään maadoituselektrodeja. Näitä elektrodeja kutsutaan lisämaadoitukseksi. /3/

Lisämaadoitus voidaan rakentaa useista eri vaaka-, pysty- tai vinoelektrodeista, jotka on kaivettu tai lyöty maan alle. Kuitenkin pylväsmaadoitus on rakennettu useimmiten vaakaelektrodeista. Vaakaelektrodit kaivetaan noin 0,5 – 1 metrin syvyyteen, jotta saavutetaan riittävä mekaaninen suojaus. Käytäntönä on, että lisämaadoitus olisi mahdollisimman lyhyt. /1, s. 97, s. 125/

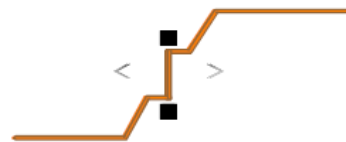
basic earthing (BE), includes J-loops



one extra radial electrode (1R)



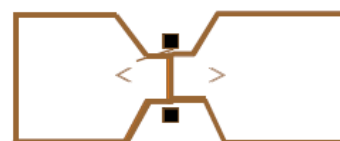
two extra radial electrodes (2R)



three extra radial electrodes (3R)



four extra radial electrodes (4R)



**Kuva 5.** Pylväsmaadoituksen rakennustapoja /5/

Kuvassa 5 on pylväsmaadoituksen rakenteita, jos ne olisi kuvattu ylhäältäpäin. Maadoitusta parannetaan lisäämällä maadoituselektrodeja ja jos mahdollista yhdistämällä niitä toisiinsa. Empowerin käytäntönä on, ettei yksittäinen maadoituselektrodi ylitä 50 metriä. /3, 5/

### 3.3 Maadoitusjännite

Maadoitusjännite  $U_E$  eli jännitehäviö määrittää maadoituselektrodin kautta kulkevan virran  $I_E$  kanssa maadoitusresistanssin ja täten myös maadoituselektrodin rakenteen. Maadoitusjännite määritetään standardissa olevien turvallisuusmääräysten mukaan. Maadoitusresistanssin mitoitusarvo voidaan yksittäisen elektrodin tapauksessa laskea kaavasta 1. /3/

$$R_E = U_E/I_E, \text{ jossa} \quad R_E = \text{Maadoitusresistanssi} \quad (1)$$

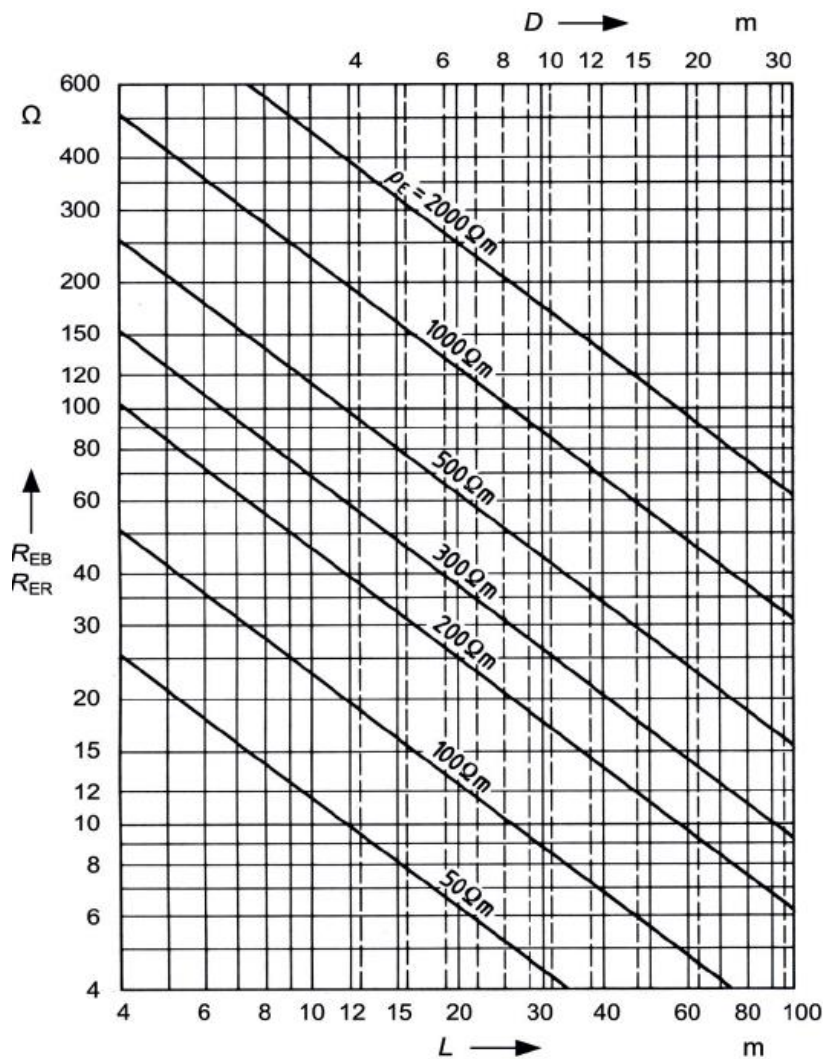
$$U_E = \text{Maadoitusjännite}$$

$$I_E = \text{Elektrodissa kulkeva virta}$$

Normaali vikatapauksessa pylvään maadoituselektrodissa kulkeva virta eli maasulkuvirta  $I_m$  voi kulkea usean eri yhdessä olevan elektrodin kautta, joten yhtälöä 1 ei voi muokkaamatta soveltaa. /3/

### 3.4 Maadoitusresistanssi

Maadoituselektrodin maadoitusresistanssi  $R_E$  on verrannollinen maan ominaisresistanssiin eli maaperän resistiivisyyteen  $\rho_E$ . Se myös riippuu itse elektrodin mitoista ja asennustavasta. Siihen vaikuttava tekijä on kuitenkin elektrodin pituus eikä niinkään sen poikkipinta-ala. /1, s. 121/



**Kuva 6.** Vaakamaadoituselektrodin maadoitusresistanssi suoraan tai rengasmaisesti asennettuna homogeenisessä maan pinnassa. /1, s. 122/

Kuvasta 6 löytyy vaakaan asennetun maadoituselektrodin maadoitusresistanssin arvo kokonaispituuden funktiona /1, s. 121/. Kuvan avulla voidaan laskea vaakaan tai rengasmaisesti asennetun maadoituselektrodin maadoitusresistanssi. Esimerkki kaavasta maadoitusresistanssin laskuun löytyy kaavasta 2.

$$R_E = \frac{\rho_E}{\pi L} \ln \frac{2L}{1,36d}, \text{ jossa} \quad (2)$$

$R_E$  = Maadoitusresistanssi

$\rho_E$  = Maaperän resistiivisyys

$L$  = Elektrodin pituus

$d$  = Johtimen halkaisija

Taulukossa 1 on erityyppisten kappaleiden maadoitusresistanssikaavoja. Tästä taulukosta on otettu kaava 2. Jos kaavassa oleva elektrodi olisi asennettu upotettuna tai pystysuoraan, niin olisi taulukosta otettu eri kaava tilanteen mukaan. Kaavat on myös sovellettu suomalaisiin olosuhteisiin ja täten poikkeavat standardin SFS 6001 peruskaavoista. Kaavat löytyvät kuitenkin standardin opastavasta liitteestä. /1, s. 148/

**Taulukko 1.** Erityyppisten kappaleiden maadoitusresistanssin laskentakaavoja /1, s. 148/

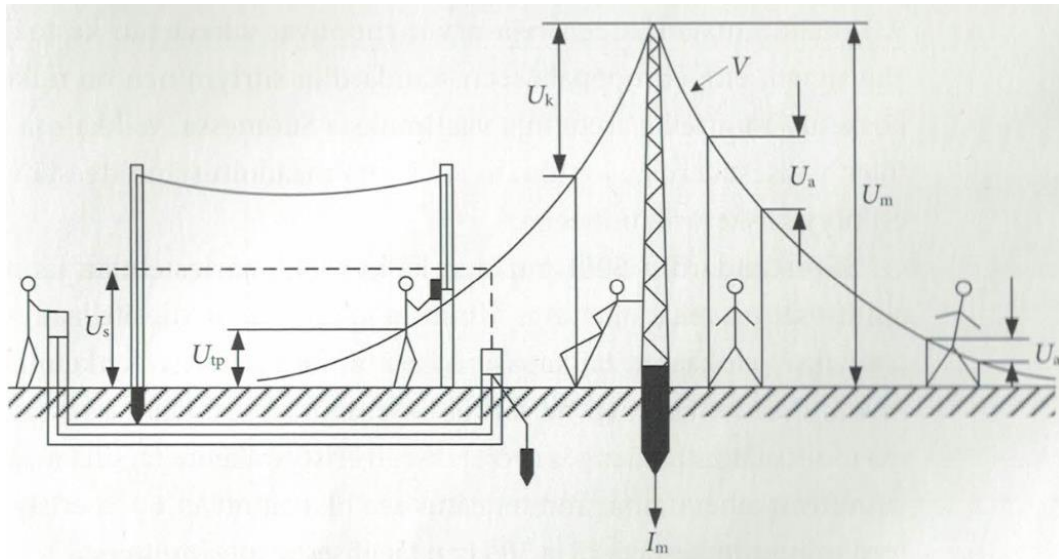
Elektrodin laatu	Kaava	Huomautukset
Pallo pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{\pi D}$	
Levy pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{\pi D}$	$s \ll D$
Pystysuora tanko tai putki pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{1,36 \times d}$	$d \ll L$
Pystysuora tanko tai putki upotettuna	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{1,36 \times d} \times \frac{2h+L}{4h+L}$	$d \ll L$
Vaakasuora johdin pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{\pi L} \ln \frac{2L}{1,36 \times d}$	$d \ll L$
Vaakasuora johdin upotettuna	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{1,85 \times h \times d}$	$d \ll 4h$
Ruudukko	$R_E = \frac{\rho_E}{2D} + \frac{\rho_E}{L}$	

Empower käyttää taulukon 1 kaavoista ”vaakasuora johdin upotettuna” suurjännitepylvään luonnollisen maadoitusresistanssin laskentaan. Tätä maadoitusresistanssiarvoa käytetään lisäresistanssin laskentaan ja täten tarvittavan lisämaadoituksen pituuden laskentaan.

### 3.5 Kosketusjännite ja muut vaarajännitteet

Yksi pylväsmaadoituksen päätarkoituksista on estää vaarajännitteiden syntymistä, kun vikatilanne tapahtuu. Vaarajännitteisiin kuuluu kosketus- ja askeljännite sekä siirtyvä jännite ja takaperoinen kosketusjännite. Kaikki vaarajännitteet perustuvat kosketusjännitteeseen  $U_k$ , joka on ihmiskehon ja kosketuskohdan välinen jännite. Askeljännite  $U_a$  on metrin erossa toisistaan olevien pisteiden välinen jännite, joka kulkee ihmisen jalkojen kautta. Siirtyvä jännite  $U_s$  ja takaperoinen kosketusjännite

$U_{tp}$  ovat molemmat erikoistilanteita, missä pylvään läheisyydessä on tuotu joko eristetty tai johtava kappale mitä pitkin pylvään jännite kulkeutuu kosketuspisteestä ihmiskehoon. Takaperoista kosketusjännitettä  $U_{tp}$  ei saa sekoittaa standardissa viitattuun sallitun kosketusjännitteen arvoon  $U_{TP}$ . /3/

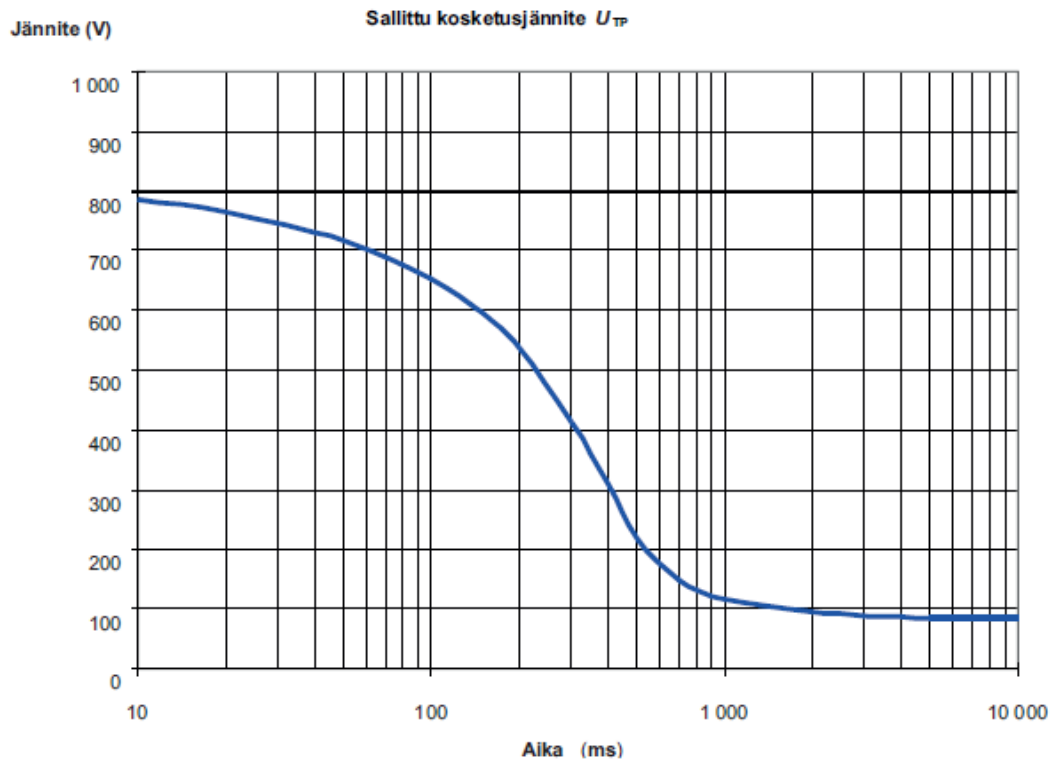


**Kuva 7.** Suurjännitepylvään jännitteet: Maan pinnan potentiaali  $V$ , maadoitusjännite  $U_m$ , kosketusjännite  $U_k$ , askeljännite  $U_a$ , siirtyvä jännite  $U_s$  ja takaperoisen kosketusjännite  $U_{tp}$ . Kuvassa myös maasulkuvirta  $I_m$ . /3/

Kuva 7 tuo esille pylvään ympärillä muodostuvaa potentiaalijakaumaa, jossa vaarajännitteet syntyvät. Kuvassa on myös pylvään kautta maahan vikatilanteessa kulkeva maasulkuvirta  $I_m$ . /3/



Pylväsmaadoitusten suunnittelussa keskitytään enemmän kosketusjännitteeseen sillä askeljännitteen sallitut arvot ovat suurempia kuin kosketusjännitteen sallitut arvot. Täten, jos pylväsmaadoitus täyttää sallitut kosketusjännitearvot, voidaan olettaa, ettei askeljännitteitä synny. /6/

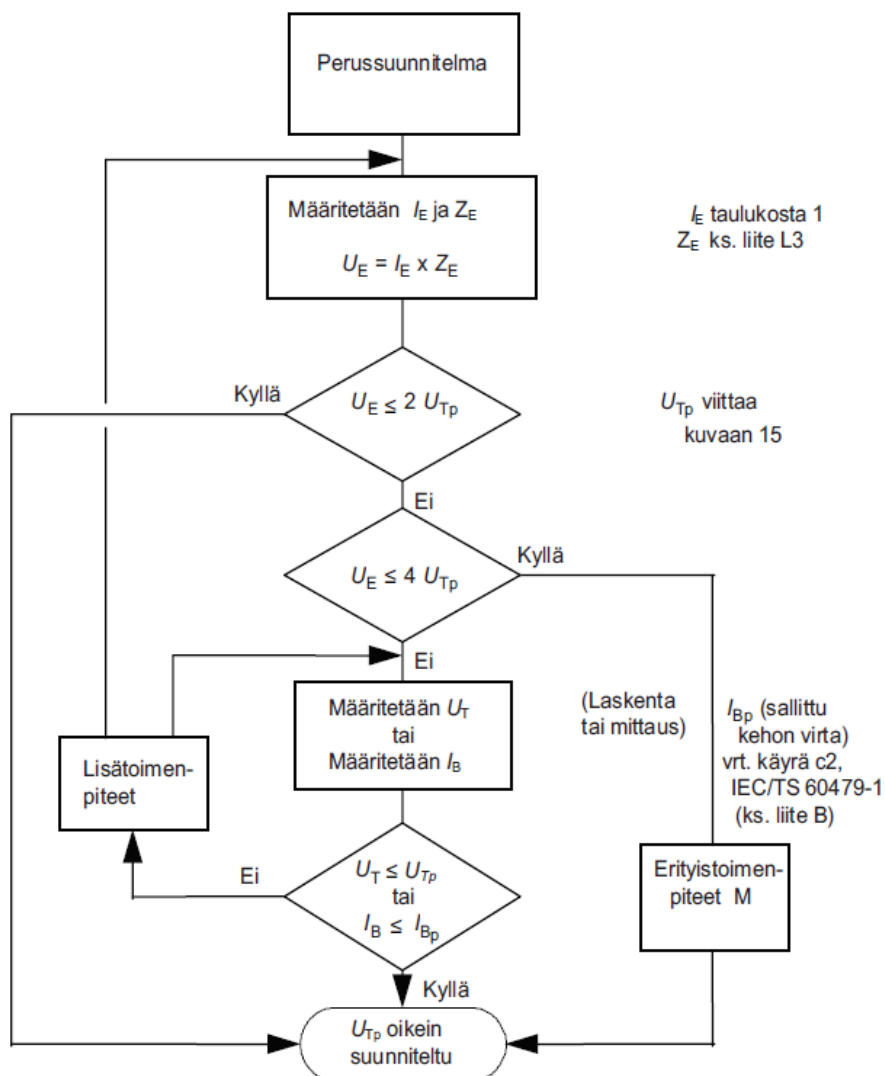


**Kuva 8.** Sallitut kosketusjännitteet  $U_{TP}$  /1, s. 93/

Kuvassa 8 on standardin antama käyrä, missä on sallittujen kosketusjännitteiden arvoja riippuen vian kestoajasta. Näitä arvoja verrataan aikaisemmin mainittuun maadoitusjännitteeseen  $U_E$ . Standardin mukaan kaikki vikatilanteet eli maasulut on kytkettävä mahdollisimman nopeasti pois joko automaattisesti tai käsin. Tämä johtaa siihen, ettei kosketusjännitteet ole liian pitkäaikaisia tai rajoittamattoman pituisia. /1, s. 91/

### 3.6 Maadoitusjärjestelmän suunnittelu

Ennen maadoitusten rakentamista on sille luotava suunnitelma, jossa määritetään maadoitusjärjestelmän kyky estää vikatilanteessa syntyvää kosketusjännitettä. Standardi SFS 6001 tarjoaa suunnittelumenetelmän, jota seuraamalla ja perusvaatimuksia soveltamalla muodostetaan perussuunnitelma. Tämä suunnitelma tarkastetaan kosketusjännitteiden suhteen, jonka jälkeen sitä voi pitää mallisuunnitelmana tulevaisuuden kohteita varten. Suunnitelman eri vaiheet löytyvät kuvasta 9. /1, s. 91/



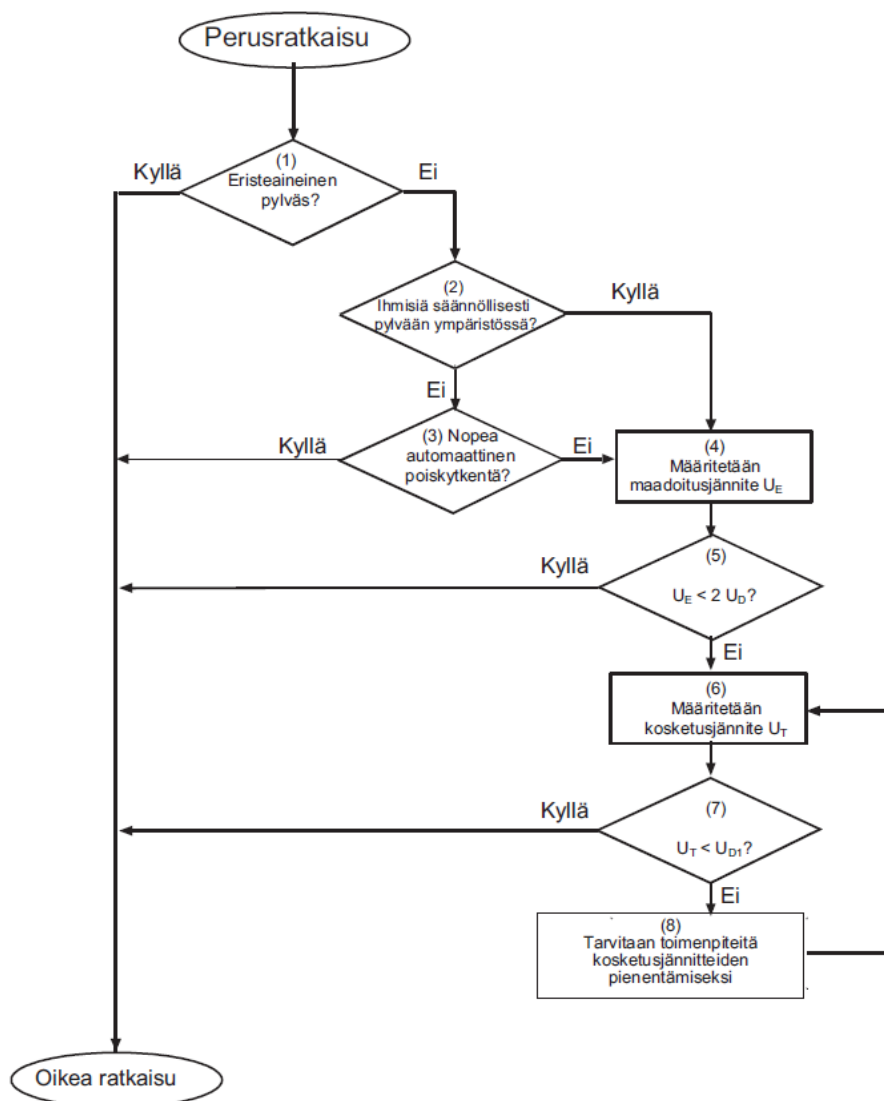
**Kuva 9.** Maadoitusjärjestelmän suunnittelukaavio /1, s. 94/

Perussuunnitelma, kuten se on esitetty kuvassa 9, aloitetaan tarvittavien perustietojen keruulla. Näihin perustietoihin kuuluu esimerkiksi maasulkuvirrat, vian kesto-aika, suunniteltavan verkon rakenne ja että onko maadoitusjärjestelmä osana laajempaa järjestelmää.

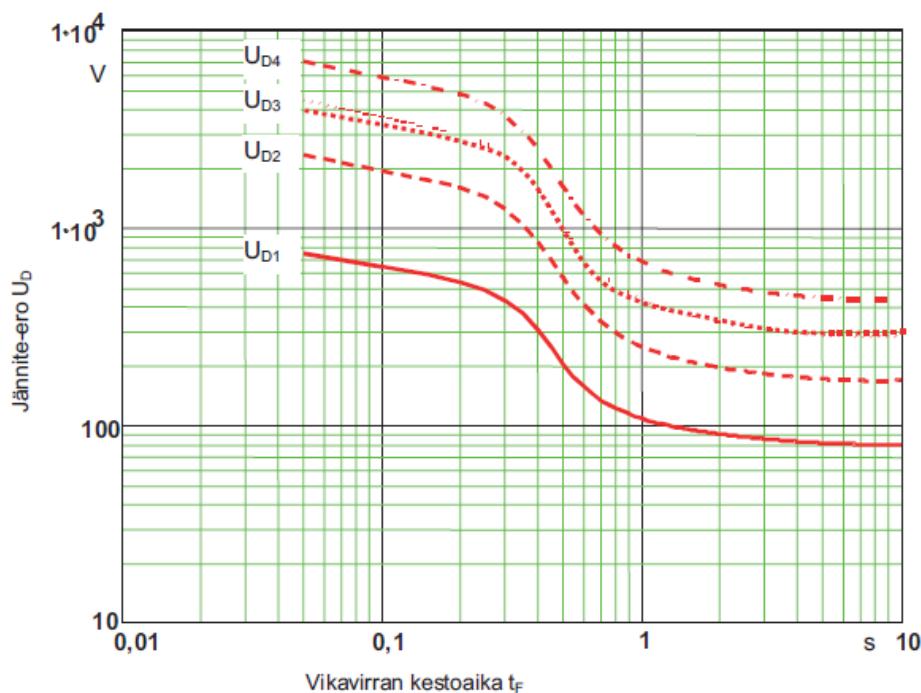
Perustietojen jälkeen määritetään kuvan mukaisesti maasulkuvirta  $I_E$  ja kokonaismaadoitusimpedanssi  $Z_E$ . Näistä arvoista lasketaan maadoitusjännite  $U_E$  ja sitä verrataan kaksinkertaiseen sallittuun kosketusjännitteeseen  $U_{TP}$  arvoon. Jos maadoitusjännite on alle kaksinkertaisen kosketusjännitteeseen, on maadoitus suunnitelma valmis. Jos näin ei kuitenkaan ole, verrataan sitä vielä nelinkertaiseen sallittuun kosketusjännitearvoon ja jos arvo on alle sen, voidaan noudattamalla standardin määrittämiä erityistoimenpiteitä viedä suunnittelu päätökseen. Maadoitusjännitteeseen ylittäessä jopa nelinkertaisen sallitun kosketusjännitteeseen, täytyy määrittää ominaisresistanssista ja maadoitusjärjestelmän maadoitusimpedanssista maadoituskohteen oma kosketusjännite  $U_T$ , jota verrataan sallittuun kosketusjännitteeseen. Tässä kohdassa voidaan myös verrata sallittua ihmiskehon kautta kulkevaa virtaa  $I_{Bp}$ .

Tämän viimeisen vertailun läpäistyä suunnitelma saatetaan päätökseen, muuten maadoitukseen vaaditaan lisätoimenpiteitä ja suunnitelma joudutaan aloittamaan alusta. Suunnittelua voidaan tarkentaa toistamalla nämä vaiheet. /1, s. 92/

Pylväsmaadoituksen suunnitteluun on luotu oma suunnittelumalli, joka on esitetty kuvassa 10. Tässä mallissa vertaillaan samankaltaisesti kuin perussuunnitelmassa maadoitusjännitettä ja sallittua kosketusjännitettä. Erona on joitakin pylväsmaadoitus suunnitteluun ominaisia asioita, kuten pylvään materiaali, ihmisten oleskelu pylvään lähistöllä ja nopea automaattinen poiskytkentä. Huomattavana erona on myös sallitun kosketusjännitteen  $U_D$  laajempi käyräkuvio (**Kuva 11**). Erilaiset sallitun kosketusjännitteen  $U_D$  arvot johtuvat lisätystä resistanssista, joka taasen johdetaan alueesta missä pylväs sijaitsee ja siitä onko pylvään lähellä asutusta. /6/



**Kuva 10** Suurjännitepylvään maadoituksen suunnittelukaavio /6/



**Kuva 11** Sallitut kosketusjännitteet  $U_D$  /6/

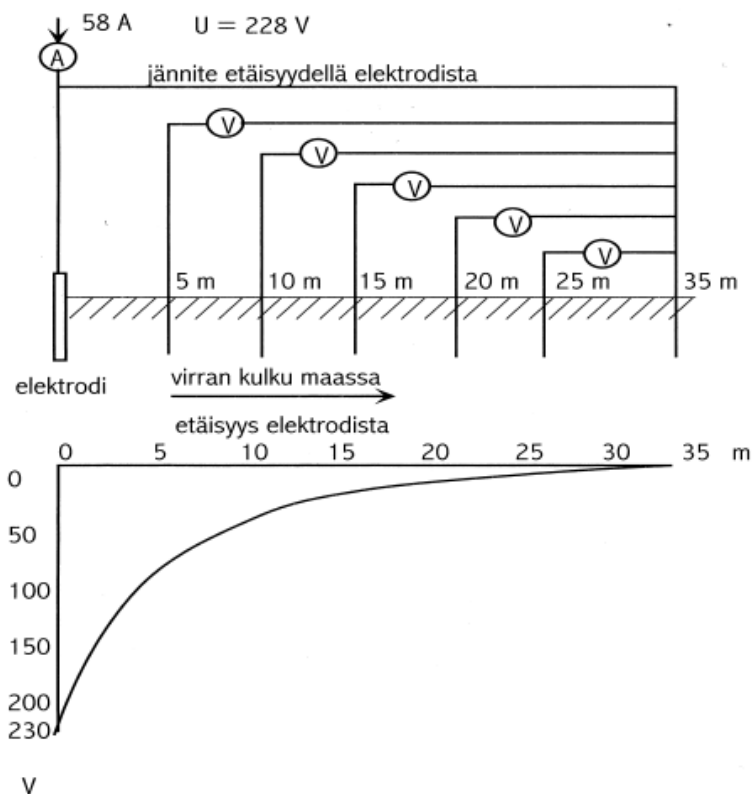
### 3.7 Maadoitusresistanssin mittaustavat ja niiden käyttö

Maadoitusresistanssi mitataan pylvään maadoituselektrodista ja se koostuu elektrodin resistanssista sekä maan neutraalipisteen ja elektrodin välisestä resistanssista. Maadoitusresistanssi mitataan aina kun suunnittelun jälkeen sille on laskettu suurin sallittu arvo. Standardissa on myös määrätty, että maadoituksen asentamisen jälkeen maadoitukselle on tehtävä mittauksia suunnittelun riittävyyden varmentamiseksi /1, s. 98/. /2/

Eri mittaustapoja suurjännitepylväiden resistanssimittaukseen on monia. Mittaustapa tai menetelmä riippuu maadoituselektrodien pituudesta, pylvään materiaalista, häiriötasosta ja siitä onko pylväällä haruksia. /7, 1, s.127/

Perusmenetelmä maadoitusresistanssin mittaukseen on syöttää mitattavan maadoituselektrodin kautta virtaa  $I_E$  ja mitata samalla elektrodin yli vaikuttava jännite eli maadoitusjännite  $U_E$ . Täten saadaan laskettua maadoitusresistanssi samantapaisesti kuin jo esitetystä kaavassa 1. Kun mittaus suoritetaan perusmenetelmällä, virta ja-

kaa itsensä elektrodista siten, että virran tiheys on suurin mitattavan maadoitus-  
elektrodin läheisyydessä. Tämä johtaa siihen, että maahan siirtyvä virta aiheuttaa  
myös suuria jännite-eroja elektrodin läheisyydessä. Tätä mittaustilannetta ja jännit-  
teen jakautumista havainnollistaa kuva 12. Muita mittausmenetelmiä, jotka ovat  
yleisemmässä käytössä, käydään läpi seuraavissa kappaleissa. /2/



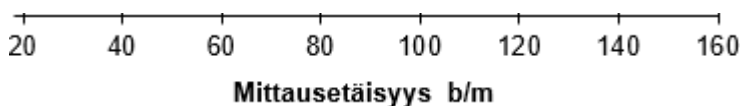
**Kuva 12.** Jännitteen jakautuminen mittaustilanteessa /2/

### 3.7.1 Käännepistemenetelmä

Käännepistemenetelmää käytetään, kun mitataan yksittäisiä maadoituselektrodeja ja pieniä tai keskikokoisia maadoitusjärjestelmiä /1, s. 127/. Menetelmässä mitataan suoraa kohteen maadoituksen resistanssiarvoja useasta eri mittauskohdasta /2/. Mittauksessa käytetään jänniteapuelektrodiä ja virta-apuelektrodiä, joista virta-apuelektrodi vietään kauimmaiseksi pylvästä. Jänniteapuelektrodiä siirretään pylvään ja virtamittauselektrodin välillä vähintään 0,5 metrin välein. /7/

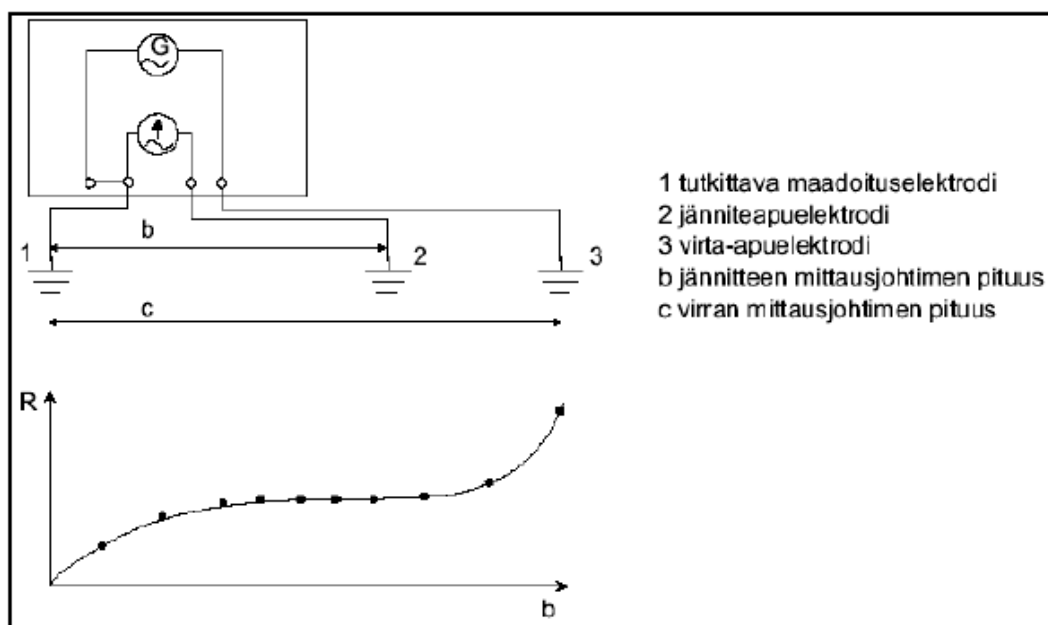
Apuelektrodien on oltava mahdollisimman kaukana toisistaan ja suorassa linjassa verrattuna mitattavaan maadoituselektrodiin. Jänniteapuelektrodin etäisyyden mitattavasta maadoituselektrodista pitää olla vähintään 2,5 kertaa maadoituselektrodin enimmäislaajuus, kuitenkin vähintään 20 m. Virta-apuelektrodin etäisyyden pitää olla vähintään 4 kertaa enimmäislaajuus, kuitenkin vähintään 40 m. /1, s. 127/

Empowerin käytäntönä on viedä virta-apuelektrodi noin 200 metrin päähän ja suorittaa kahdeksan mittausta, jolloin siirretään jänniteapuelektrodi kohti mitattavaan maadoituselektrodiin. Jänniteapuelektrodin mittaussväli on noin 20 metriä ja sen mittauskohdat ovat näkyvissä kuvassa 13.



**Kuva 13.** Mittauskohdat käänne pistemenetelmässä

Kuvan 14 vasemmassa yläkulmassa näkyy havainnollistava piirros mittausmenetelmästä ja numerointia menetelmässä käytössä olevista osista 1,2,3. Mittauksessa käytettävä mittari toimii niin, että se syöttää mittausvirran tutkittavaan maadoituselektrodiin 1. Tämän jälkeen virta kulkee maan kautta virta-apuelektrodiin 3 ja sieltä takaisin virtalähteeseen. Tutkittavan maadoituselektrodin ja jänniteapuelektrodin 2 välille syntyy potentiaaliero. /2/



**Kuva 14** Käännepistemethodin mittaustapa ja siitä muodostettu käyrä /2/

Kun mittaus on suoritettu saaduista maadoitusresistanssiarvoista, luodaan käyrä, joka löytyy kuvan 14 vasemmasta alakulmasta. Pisteet käyrällä ovat mittauskohtia, missä jänniteapuelektrodi on lyöty maahan. Käyrästä saadaan tarvittava maadoituksen resistanssiarvo riippuen käyrän muodosta ja mittauksen onnistumisesta. Jos käyrämuoto on hyvä, kuten kuvassa 14, voidaan resistanssiarvo ottaa käyrän tasaisesta alueesta, jossa arvo pysyy samana. Tässä tasaisella alueella ollaan niin sanottuissa neutraalimaassa, jolloin resistanssiin ei vaikuta mikään häiriötekijä ja se pysyy samana, vaikka mittauskohtaa siirretään. Kuvassa 14 oleva käyrä on kuitenkin paras mahdollinen muoto, mikä voidaan mittauksessa saada. Yleisemmin tasainen alue ei ole näkyvässä ja resistanssiarvo on otettava joko käyrän käännepisteestä tai käyttämällä niin sanottua 60 % sääntöä, jossa resistanssiarvo otetaan käyrältä sen 60 prosentin kohdalta. /7, 2, 8/

Mittauksesta saatavaan käyrään voi vaikuttaa useat eri häiriötekijät. Käyrän alussa ja lopussa ollaan lähellä joko mitattavaa maadoituselektrodiä tai virta-apuelektrodiä. Tämä näkyy käyrällä joko sen jyrkkänä laskuna tai nousuna. Samanlaisia käyrän heilahteluita voi myös syntyä keskelle käyrää, jolloin resistanssiarvon määrittäminen vaikeutuu. Nämä heilahtelut ovat jo aikaisemmin mainittuja häiriötekijöitä, joita on vaikea ottaa huomioon mittaustilanteessa. Häiriötekijöitä on useita, kuten muut



maadoituselektrodit, metalliset vesijohdot, maahan asennetut sähkökaapelit ja muut johtavat osat maastossa. Jos mittauksen jälkeen käyrässä havaitaan useita häiriötekijöitä, on mittaus uusittava eri suunnasta. Jos mitattava maadoitus koostuu useasta maadoituselektrodista, mittauskohta on valittava mahdollisimman keskeltä järjestelmää /2, 7, 8/.

Käännepestemenetelmä sopii suurimmalle osalle pylvästyypeistä. Ainoana poikkeuksena, missä menetelmää ei saa ehdottomasti käyttää, on teräspylväät, jossa maadoituselektrodit ovat galvaanisesti tai suoraan yhteydessä pylvään perustusrakenteisiin. /7/

### 3.7.2 Lyhyt käännepestemenetelmä

Lyhyt käännepestemenetelmä on nimensä mukaisesti lyhyempi versio käännepestemenetelmästä. Toisin kuin normaalissa versiossa, lyhyessä käännepestemenetelmässä suoritetaan vain yksi mittaus ja apuelektrodit viedään lyhyemmän matkan päähän mitattavasta kohteesta. Mittaustapaa saa käyttää pidemmän version sijasta silloin, kun mitattavan maadoituselektrodin pituus on alle 25 metriä. /7/

Empowerilla on käytössä tällä hetkellä kaksi eri mittauspituutta: 40/25 metriä ja 100/63 metriä. Mittauspituus valitaan maadoituselektrodin pituuden mukaan eli jos mitattava maadoituselektrodi on 25 metrin pituinen, valitaan 100 metrin pituus virta-apelektrodin etäisyydelle. Menetelmään vaikuttaa myös samat rajoitukset teräspylväille, kun käännepestemenetelmään. /7/

### 3.7.3 Sarjamittausmenetelmä

Sarjamittausmenetelmässä mitataan alla olevan kaavan mukaisesti ketjuimpedanssin  $R_x$  kanssa sarjassa olevan resistanssiarvo  $R_{mitt}$ . Maadoitusresistanssi  $R_m$  saadaan näiden kahden arvon erotuksena. /7/

$$R_m = R_{mitt} - R_x, \text{ jossa } R_m = \text{Maadoitusresistanssi} \quad (3)$$

$$R_{mitt} = \text{Mitattu resistanssi}$$

$$R_x = \text{Ketjuimpedanssi}$$

Suurjännitepylväiden maadoituksen mittauksessa sarjaresistanssi tarkoittaa ukkosjohtimien ketjuimpedanssin ja pylvään maadoitusresistanssin sarjakytkentää. Ketjuimpedanssin arvo on riippuvainen ukkosjohtimien materiaalista ja viereisten pylväiden maadoitusresistansseista. Ketjuimpedanssin arvo yleensä jää yhden ohmin lähettyville, mutta ukkosjohtimilla, joiden materiaali on terästä, voi arvo vaihdella paikan mukaan. Tästä vaihtelusta johtuva virhe voidaan kuitenkin tarvittaessa poistaa laskemalla kunkin pylvään ketjuimpedanssiarvo ja vähentämällä se tuloksesta. /7/

Sarjamittausmenetelmää saa käyttää vain, jos pylväs on luotettavasti yhteydessä ukkosjohtimiin. Pylväs ja ukkosjohtimet ovat kiinnitetty toisiinsa liitoksilla. Jos nämä liitokset eivät ole luotettavat tai niitä ei ole asennettu, mittauksessa oleva ketjuimpedanssin virhetekijä jää tuntemattomaksi ja mittaus epäonnistuu. Ennen mitausta on myös selvitettävä virta-jännitemittauksessa saatava oikosulkuvirta  $I_K$ , jota verrataan mittarinvalmistajan ilmoittamaan raja-arvoon. Jos oikosulkuvirta ylittää raja-arvon, rikkoo se mittarin sulakkeen. Sarjamittausmenetelmään vaikuttaa myös samat rajoitukset teräspylväille kuin käännepestemenetelmään. Tämän lisäksi mitaustapaa ei saa käyttää pylväillä, missä haruseristys puuttuu tai on rikkoutunut. /7/

#### 3.7.4 Virta-jännitemittausmenetelmä

Virta-jännitemittausmenetelmässä irrotetaan yksittäisen pylvään maadoituselektrodit galvaanisesti pylväsrakenteesta ja sitä kautta ukkosjohtimista. Kun irrotus on tehty, mitataan menetelmän nimensä mukaisesti pylvään ja maadoituselektrodin välistä oikosulkuvirtaa  $I_K$  ja siinä muodostuman piirin tyhjäkäyntijännitettä  $U_0$ . Näiden mittausten avulla saadaan laskettua sarjaresistanssi. /7/

$$R_S = U_0 / I_K, \text{ jossa} \quad \begin{array}{l} R_S = \text{Sarjaresistanssi} \\ U_0 = \text{Tyhjäkäyntijännite} \\ I_K = \text{Oikosulkuvirta} \end{array} \quad (4)$$

Tämän jälkeen voidaan laskea maadoitusresistanssin samantapaisesti kuin sarjamittausmenetelmässä. /7/

$$R_m = R_s - R_x, \text{ jossa} \quad R_m = \text{Maadoitusresistanssi} \quad (5)$$

$$R_s = \text{Sarjaresistanssi}$$

$$R_x = \text{Ketjuimpedanssi}$$

Empowerilla virta-jännitemenetelmää käytetään pääsääntöisesti vertailutarkoituksissa. Täten se mitataan, jos vain mahdollista jokaiselta pylvältä. Sitä voi ainoastaan käyttää maadoitusresistanssin mittaamisessa puupylväillä, joissa on todettu olevan luotettavat liitokset ukkosjohtimiin. Tällöinkin oikosulkuvirran  $I_K$  on oltava vähintään 20 mA jotta mittaustulos olisi luotettava. Menetelmää voidaan myös käyttää puupylväillä, joissa ei ole luotettavia liitoksia, jos oikosulkuvirta  $I_K$  on yli 200 mA. Virta-jännitemittausmenetelmään vaikuttaa myös samat rajoitukset teräspylväille kuin käännepestemenetelmään. /7/

### 3.7.5 Suurtaajuusmenetelmä

Suurtaajuusmenetelmä on käytännössä samanlainen kuin lyhyt käännepestemenetelmä. Erona menetelmissä on mittausvirran suuri taajuus, joka on noin 25 kHz. /7/

Menetelmässä ei eristetä ukkosjohtimia kuten virta-jännitemittausmenetelmässä. Tällöin mittausvirran on oltava niin suuri, ettei ukkosjohtimen ja naapuripylväiden maadoituksen muodostama ketjuimpedanssi vaikuta mitattavaan maadoitusresistanssiarvoon. /1, s. 127/

Suurtaajuusmenetelmä on Empowerin ohjeistuksen mukaan ainoa tapa mitata teräspylväät, joilla pylväsrakenne on galvaanisesti yhteydessä pylvään perustusrakenteisiin. /7/

### 3.7.6 Tasavirtamittaus

Empowerin ohjeistuksen mukaan kaikille pylväille on tehtävä tasavirtamittaus. Mittauksesta saatavasta tasavirrasta voidaan päätellä vaikuttaako mitattavaan maadoituselektrodiin jokin ulkoinen syövyttävä aiheuttaja. Jos tasavirta ylittää 5 mA, on sille löydettävä mahdollinen syy ja kirjattava se raporttiin. /7/

### 3.7.7 Pylvään kuntotarkastus

Jokaiselle pylväälle tehdään mittauksen yhteydessä myös silmämääräinen kunnontarkastus. Standardin mukaan kaikille suurjänniteasennuksille on luotava kunnosapito-ohjelma, joka varmistaa asennuksen turvallisuuden ja luotettavuuden tulevaisuuden varalta /1, s. 146/. Kuntotarkastus kattaa tämän standardin määräämän kohdan.

Tarkastus sisältää maadoitusjohtimien maanpinnan yläpuoliset osat ja maadoitukseen liittyvät liitokset. Esimerkkejä näistä on säieauriot J-lenkeissä, vioittuneet pulttiliitokset, kaivettujen ojien tai teiden aiheuttamat vauriot maadoituselektrodeille, haruseristysten puute tai viat ja ilmoitus siitä korjattiinko viat. Myös maadoituselektrodin poikkipinta-ala pitää kirjata ylös sillä, sitä käytetään maadoitusresistanssiarvoihin liittyvissä kaavoissa. /7/

### 3.7.8 Pylvään tutkaus

Tutkauksella tarkoitetaan maadoitustutkalla tehtävää ehjyystarkastusta, jolla saadaan selville maadoituksen ehjyys. Tutkaus tehdään, jos pylvään maadoitusresistanssiarvo on kaksi kertaa suurempi kuin sille määritelty sallittu maadoitusresistanssi. Tutkaus suoritetaan myös, jos maadoitusresistanssin mittaus ei onnistunut. Tutkauksella käydään läpi koko maadoituselektrodi ja kirjataan mahdolliset havainnot raporttiin. /7/

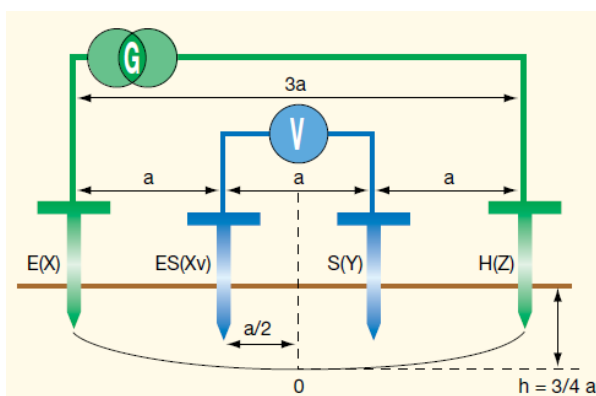
## 4 SUUNNITTELUMITTAUKSET

Suunniteltaessa uutta pylväsmaadoitusta tulee tuntea maaperään liittyviä ominaisuuksia, kuten sen laatu ja siitä johtuva maaperän resistiivisyys  $\rho_E$ . Näiden tietojen perusteella voidaan laskea odotettavissa oleva maadoitusresistanssi. Esimerkki tästä laskennasta löytyy kaavasta 2. Jotta maaperän resistiivisyys saataisiin selville, suoritetaan ennen pylvään asennusta niin sanottuja suunnittelumittauksia.

### 4.1 Maaperän resistiivisyyden mittaaminen

Suunnittelumittauksissa mitataan jo aikaisemmin mainittua maaperän resistiivisyyttä  $\rho_E$ . Standardi ohjeistaa maaperän resistiivisyydsmittauksissa käytettäväksi neljän piikin menetelmää. Esimerkkinä tästä menetelmästä on Wenner -menetelmä, jota Empower käyttää kaikissa resistiivisyyden mittauksissa. /1, s. 127/

Kuvasta 15 löytyy Wenner -menetelmän mittauksen kytkentä. Wenner -menetelmässä neljä apuelektrodiä lyödään maahan suoraan linjaan toisiinsa verrattuna. Mittauksessa suoritetaan neljä tai viisi mittauskertaa riippuen siitä, kuinka tarkka maaperän resistiivisyysarvo halutaan. Apuelektrodien välimatkaa lisätään jokaisella mittauskerralla. Mittalaite syöttää apuelektrodien E ja H välille mittausvirran ja mittaa myös jännitteen apuelektrodien ES ja S väliltä. Näistä arvoista mittari laskee ja ilmoittaa resistanssiarvon R, jonka avulla määritetään haluttu maaperän resistiivisyyden arvo. /9/



**Kuva 15.** Wenner -menetelmä /9/

Mittarin antamasta resistanssiarvosta voidaan laskea maaperän resistiivisyyden arvo kaavan 6 mukaisesti. /9/

$$\rho_E = 2\pi aR, \text{ jossa} \quad \rho_E = \text{Maaperän resistiivisyys} \quad (6)$$

a = Mittauksen välimatka  
R = Mittarin antama resistanssi

Maaperän resistiivisyys vaihtelee merkittävästi riippuen eri kohteiden maaperän koostumuksesta, tiheydestä ja kosteudesta /1, s.121/. Taulukosta 2 näkyy resistiivisyyden muutokset eri maatyypeille.

**Taulukko 2.** Maaperän resistiivisyys 50 Hz taajuudella /1, s. 121/

Maaperän tyyppi	Maaperän resistiivisyys $\rho_E/\Omega\text{m}$
Suoperäinen maa	5 – 40
Savi, hiesu, humus	20 – 200
Hiekka	200 – 2500
Sora	2000 – 3000
Rapautunut kivi	Yleensä alle 1000
Hiekkakivi	2000 – 3000
Graniitti	50 000 saakka
Moreeni	30 000

Resistiivisyyden arvoon vaikuttaa myös vuodenaika ja nimenomaan siitä johtuva kosteus. Tästä johtuukin mittauskielto talvella, sillä maaperä johtaa liian hyvin ja tulokset ovat tällöin virheellisiä.

## 4.2 Suunnittelumittausten tulosten raportointi

Saadut mittarin ilmoittavat resistanssiarvot lisätään maadoitusmittauspohjaan, joka löytyy kuvasta 16. Pohja on rakennettu Excel-ohjelmistoa käyttäen. Pohja laskee kaavan 6 mukaisesti maaperän resistiivisyyden ja eri mittausten tuloksista muodostetaan keskiarvo, jota käytetään määrittämään odotettavissa oleva maadoituksen resistanssiarvo. Maaperän resistiivisyyteen liittyvien tulosten raportointi, laskenta ja muut tiedot merkitään pohjan vasemman yläosan taulukoihin. Tämä taulukko näkyy tarkemmin kuvasta 17.

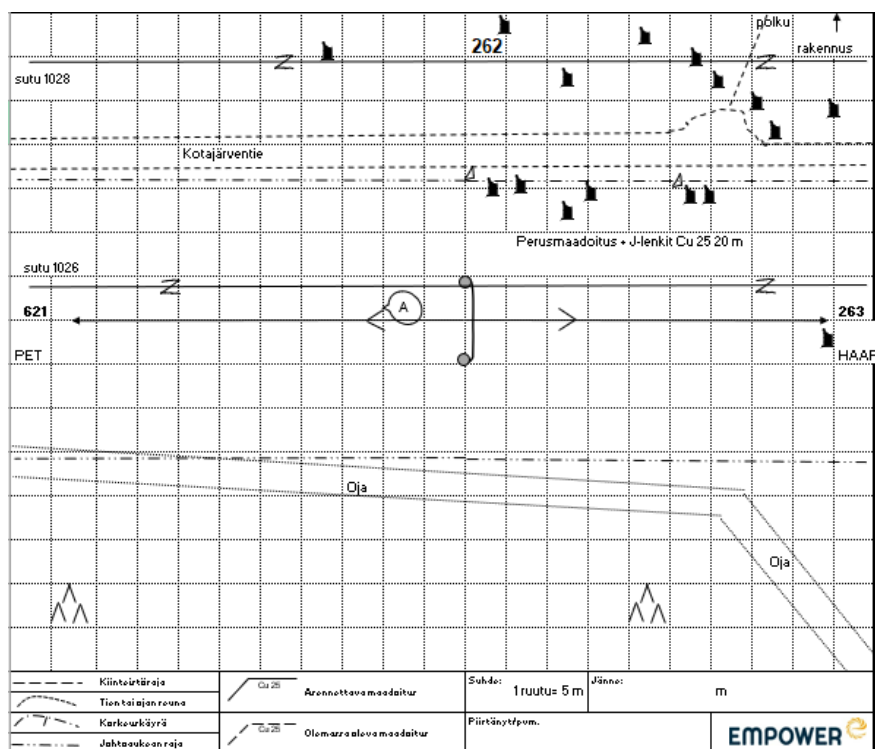
PYLVÄSMAADOITUKSET														
400 kV			Työno. 262			Lop.no.			Pylv.laji			Mater. Perus.		
Suunniteltu pvm. / Suunnittelija					Luonnollinen res. $R_{m1} = 38.3 \Omega$					Tavoitearvo $R_T = 15.8 \Omega$ 100%				
Pvm. / Mittaaja					Kontrollimittaus:					Pvm. / Mittaaja				
Pka:					Maan ominaisv. ka					R <sub>m</sub> = $\Omega$ sarjam. jännite-virtamittausm				
Maa:					Maan ominaisv. ka					I <sub>k</sub> = mA U <sub>0</sub> = V				
a					mittaus					jälkimittaus:				
m					paikka					a/m				
1					-					R/Ω				
2					A					R <sub>m</sub> = $\Omega$ 60 / 40 m 100 / 63 m				
4					B					Pvm. / Mittaaja				
8					C					Pvm. / Mittaaja				
16					D					Pvm. / Mittaaja				
Maadoitus suunnitelma:					Maadoitus työ:					R <sub>m</sub> = $\Omega$ sarjam. jännite-virtamittausm.				
Odotettavissa R <sub>spz</sub> / R <sub>stv</sub> $\Omega$					Valmistunut / 20					I <sub>k</sub> = mA U <sub>0</sub> = V				
25 mm <sup>2</sup> Cu -köyttä m					mm <sup>2</sup> Cu -köyttä m									
mm <sup>2</sup> -köyttä m					mm <sup>2</sup> -köyttä m									
Muoviputkea (PVC) m					Muoviputkea (PVC) m									
Huom.					Huom.					Pvm. / Mittaaja				
										R <sub>m</sub> = $\Omega$ sarjam. jännite-virtamittausm.				
										I <sub>k</sub> = mA U <sub>0</sub> = V				

**Kuva 16.** Maadoitusmittauspohja, johon mittaustulokset ja karttاپohja merkitään

Pka:	A		B		C		D		Maan ominaisv. ka	
Maa:	Multa									
a m	R $\Omega$	$\rho_r$ $\Omega m$	R $\Omega$	$\rho_r$ $\Omega m$	R $\Omega$	$\rho_r$ $\Omega m$	R $\Omega$	$\rho_r$ $\Omega m$	mittaus paikka	$\rho_r$ $\Omega m$
1		0		0		0		0	-	535
2	31.3	393		0		0		0	A	535
4	14.3	359		0		0		0	B	
8	10.6	534		0		0		0	C	
16	8.5	853		0		0		0	D	

**Kuva 17** Tarkennettu kuva maaperän resistiivisyyden taulukoista

Pohjan alaosaan, josta on otettu laajennettu kuva 18, sijoitetaan maaston muodot ja muut karttamerkit. Tämä karttapohja on oleellinen, kun harkitaan pylväsmaadoituksen elektrodien sijoittamista. Maastossa olevat esteet, kuten suuret kivilohkaareet, ojat tai muut vesistöt, avokalliot, sähköjohdot ja muut haitat estävät maadoituksen asentamisen.



**Kuva 18.** Laajennettu kuva maastokartasta



## 5 AUTOCAD-MAADOITUSMITTAUSPOHJA

### 5.1 Excel-ohjelmiston puutteet

Maadoitusmittauspohjan arvojen taulukointi ja laskenta toimii hyvin Excel-ohjelmistolla, mutta karttapohjan piirto Excelillä on vaikeaa ja aikaa vievää. Tämä johtuu siitä, että Excel on suunniteltu taulukoiden rakentamiseen eikä piirustustyökaluksi. Myös symboleita eli kuvassa 18 näkyviä karttamerkkejä on rajallinen määrä käytössä Excel-pohjassa.

### 5.2 Autocad-pohjan rakennus

Empowerin suunnitteluosasto on siirtymässä vuoden 2019 aikana kokonaan pois Excel-ohjelman käytöstä karttapohjien piirtämisessä. Tilalle on tulemassa Autocad-ohjelma, joka on tarkoitettu nimenomaan suunnitteluun ja pohjien piirtoon.

Tämän takia toinen osa tästä opinnäytetyöstä on luoda Autocad-pohja maadoitusmittaussuunnitteluun. Pohjan tulee toimia samantapaisesti kuin Excel-pohja, mutta siinä olisi paremmat työkalut karttapohjien piirtoon ja myös laajempi symbolikirjasto. Pohjassa olisi kuitenkin samat taulukot ja kaavat pylväiden maadoitusresistanssin laskemiseen.

PYLVÄ SMAADOITUKSET														m					
400 kV		Työno.				Lop.no.		Pylv.laji		Mater.		Perus.							
Suunniteltu pvm. / Suunnittelija				Luonnollinen res.				Tavoitearvo 50%		Kontrollimitaus:									
				$R_{mi} = \text{[ ] } \Omega$				$R_l = \text{[ ] } \Omega$		Pvm. / Mittaaja		20							
Pka:		A		B		C		D		$R_m = \text{[ ] } \Omega$		<input type="checkbox"/> sarjam.		<input type="checkbox"/> jännite-/virtamittausm.					
Maa:										$I_k = \text{[ ] mA}$		$U_o = \text{[ ] V}$							
a	R	$\rho_r$	R	$\rho_r$	R	$\rho_r$	R	$\rho_r$	mittaus	$\rho_r$	Jälkimittaus:								
m	$\Omega$	$\Omega m$	$\Omega$	$\Omega m$	$\Omega$	$\Omega m$	$\Omega$	$\Omega m$	paikka	$\Omega m$	a/m	20	40	60	80	100	120	140	160
1									-		$R/\Omega$								
2									A		$R_m = \text{[ ] } \Omega$	<input type="checkbox"/> 60 / 40 m	<input type="checkbox"/> 100 / 63 m						
4									B		Pvm. / Mittaaja		20						
8									C		Pvm. / Mittaaja		20						
16									D		Pvm. / Mittaaja		20						

Kuva 19 Näkymä Autocad-ohjelmistossa

Pohjan luominen Autocad-ohjelmistoon ei ole hankalaa. Erityisesti karttapohjan ja tarvittavien symboleiden piirto luonnistuu nopeasti ja helposti. Ohjelmassa pystyy myös käyttämään taulukoita samantapaisesti kuin Excelissä. Esimerkki rakennetusta taulukosta, kun Autocad-ohjelma on piirtotilassa, löytyy kuvasta 19. Peruslaskutoimitukset toimivat hyvin Autocadin taulukoissa, mutta logiikkakaavat, kuten JOS-funktio, puuttuu täysin ohjelman perusversiosta. JOS-funktiota käytetään pohjan tavoitearvokaavassa ja jotta se toimisi Autocad-ohjelmassa, joudutaan lataamaan erillinen lisäosa nimeltään Autofield. Lisäosa on maksullinen, mutta koska Autocadissa on hyvin toimiva lisäosakauppa ja latausjärjestelmä, ei sen lataaminen ole ongelma. Tavoitearvon kaava, jossa JOS-funktiota käytetään, näkyy kuvassa 20. Tavoitearvoa käytetään tarvittavan lisäresistanssin laskussa, joka esitetään kaavassa 7.

$$R_x = R_{ml} * R_T / (R_{ml} - R_T), \text{ jossa} \quad (7)$$

$R_{ml}$  = Luonnollinen resistanssi

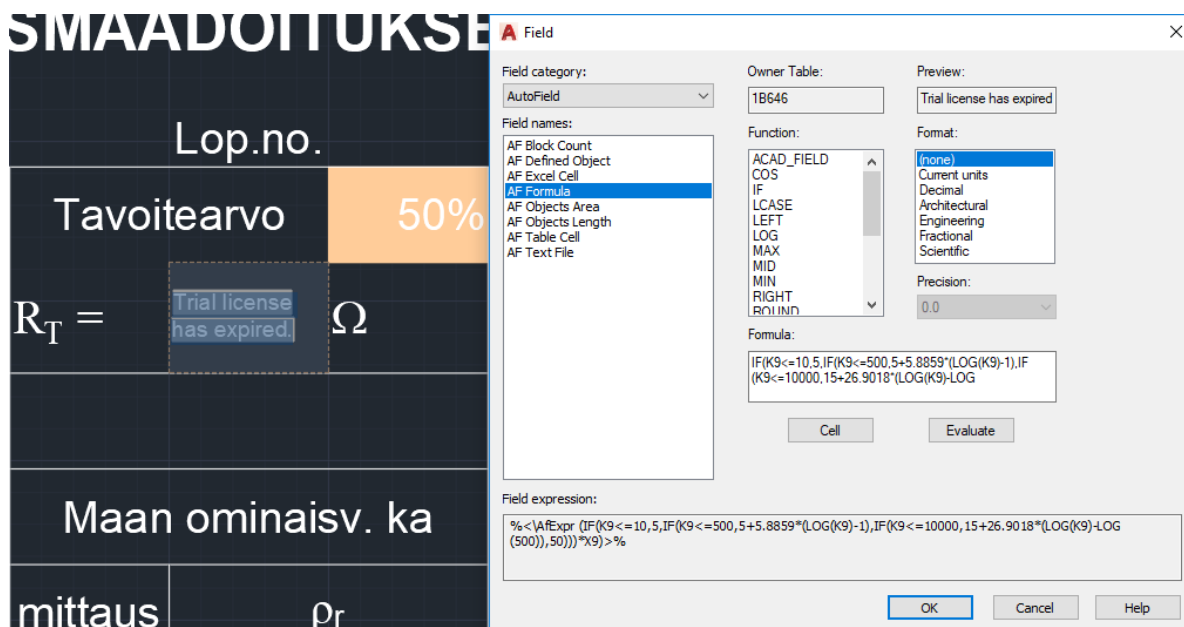
$R_T$  = Tavoitearvo

$R_x$  = Tarvittava lisäresistanssi

=JOS(\$K\$14<=10,5,JOS(\$K\$14<=500,5+5.8859*(LOG(\$K\$14)-1),JOS(\$K\$14<=10000,15+26.9018*(LOG(\$K\$14)-LOG(500)),50)))*L5												
G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
	Luonnollinen res.		Tavoitearvo	100%	Kontrollimittaus:							
	$R_{ml} = 38.3 \Omega$		$R_T = 15.8 \Omega$		Pvm./ Mittaaja	/	20					

**Kuva 20** Esimerkki tavoitearvokaavasta Excel-ohjelmassa

Tavoitearvon laskeminen Autofield-lisäosan avulla löytyy kuvassa 21. Lisäosa sisältää useita muitakin toimintoja, jotka toisaalta ovat jo Autocad-ohjelman perusversiossa käytössä. Kuvassa lisäosan kokeiluversion käyttöaika on mennyt umpeen.

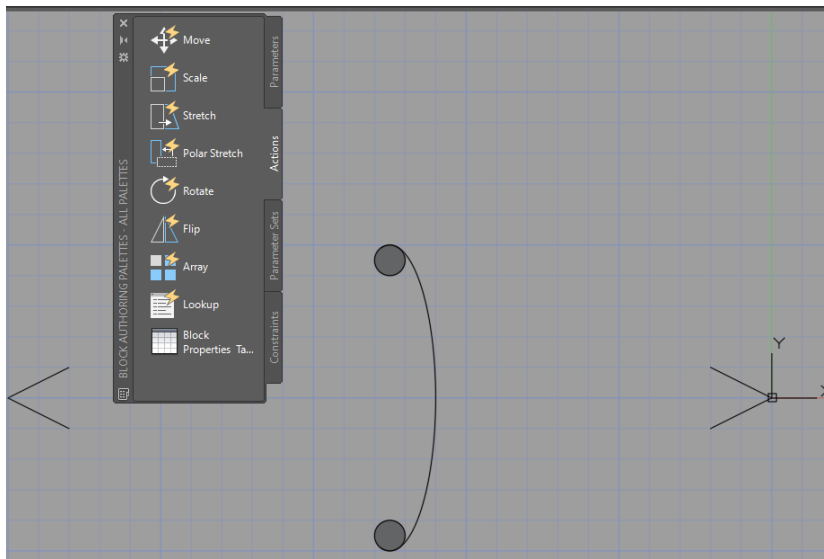


**Kuva 21** Esimerkki tavoitearvokaavasta Autocad-ohjelmassa käyttäen Autofield-lisäosaa

400 kV perusmaadoitus:	25	m
Tarvittava lisäresistanssi:	Ω	
Lisämaadoituksen pituus Kun L = 0 - 50 m:	m	
Lisämaadoituksen pituus Kun L > 50 m:	m	
Vaakasäteen pituus	35	m
Maan ominaisv. ka	Ωm	
Saavutettava R:	Ω	
Normaalisti tavoite arvo:	1	100%
Aseman 10 lähintä pylvästä tavoitearvo:	0.5	50%
Jos yhdistetään viereiseen, tavoitearvo:	0.75	75%

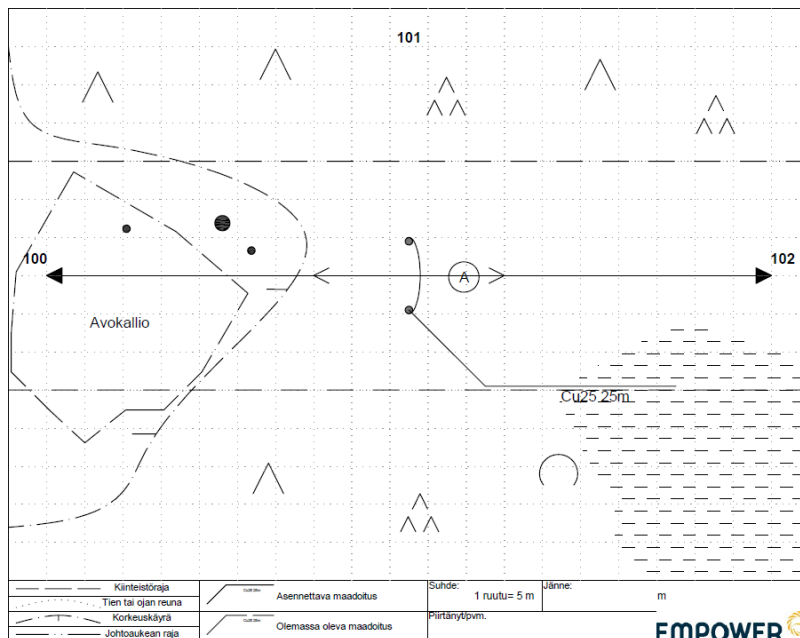
**Kuva 22** Maadoitusmittauspohjan muuttujat

Kuvassa 22 löytyy maadoitusmittauspohjan kaavoja ja muuttujia, joita ei näytetä pohjan tulostusversiossa. Nämä muuttujat ovat suurjännitepylväiden perustietoja, kuten resistiivisyysmittauksissa saadut tulokset, pylvään perusmaadoituksen pituus, vaakasäteen pituus ja tavoitearvon prosenttikertoimet. Näitä muuttujia käytetään avustuksena, kun lasketaan pylvääseen tulevien maadoituselektrodien pituutta ja odotettavissa olevaa maadoituksen resistanssiarvoa.



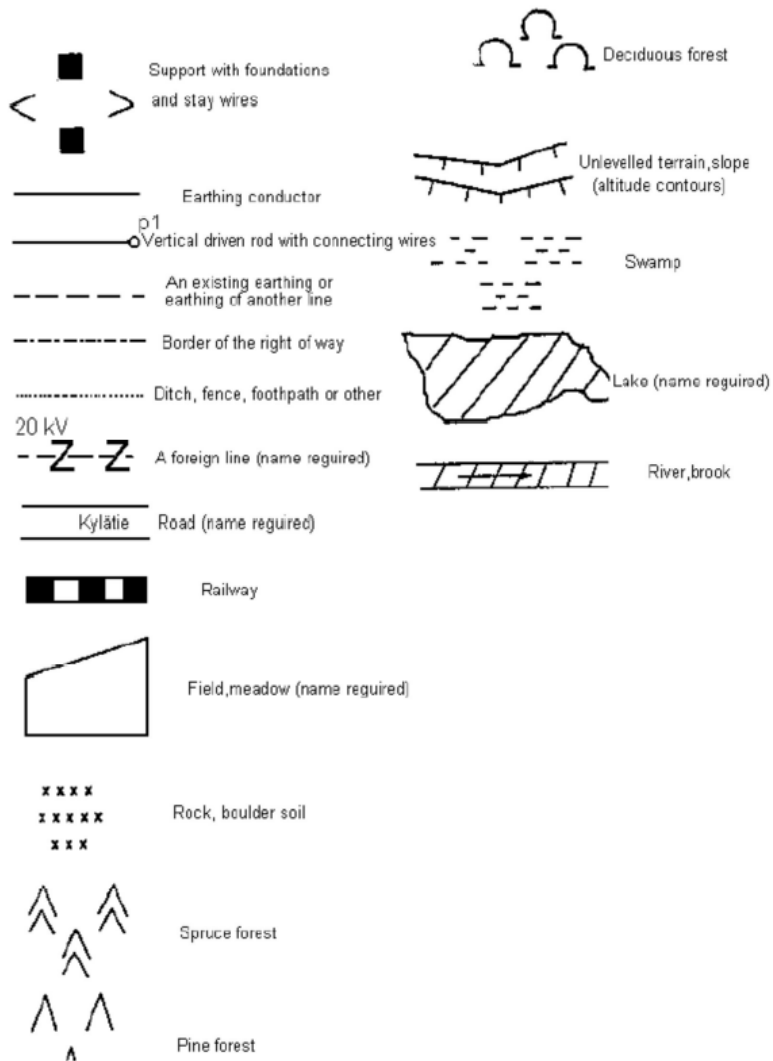
**Kuva 23.** Autocad-ohjelman block eli symbolieditori

Autocad-ohjelma sopii erityisen hyvin karttapohjien piirtoon. Ohjelmassa voi muokata käytettäviä symboleita sen omalla muokkausohjelmalla, kuten kuvassa 23. Tämä on erityisen kätevää, jos on tarve luoda nopeasti uusia symboleita kesken suunnittelun. Uudet piirretyt symbolit voi tämän jälkeen tallentaa tulevaisuutta varten.



**Kuva 24.** Joitain rakennettuja symboleita esimerkkipiirroksessa

Kuvassa 24 on esimerkki piirros, joka on rakennettu Autocad-pohjaan ja käyttäen sen omia työkaluja ja symboleita. Piirroksessa ei kaikkia rakennettuja symboleja ole käytössä. Kaiken kaikkiaan valmiita symboleita pohjassa on käytössä 25. Lista yleisimmistä olevista symboleista ja niiden merkityksestä löytyy kuvasta 25.



**Kuva 25.** Karttapohjan symboleiden merkitykset /3/

PYLVÄSMAADOITUKSET												### m											
400 kV				Työno.				Lop.no.				Pylv./ajj				Mater.				Perus.			
Suunniteltu pvm. / Suunnittelija					Luonnollinen res.					Tavoitearvo					50% Kontrollimittaus.								
/					$R_{eq} = ### \Omega$					$R_{1-} = \Omega$					Pvm. / Mittaaja / 20 _____								
Pika:		A		B		C		D		Maan ominaisv. ka					$R_{eq} = \Omega$ <input type="checkbox"/> sarjam. <input type="checkbox"/> jännite-/virtamittausm.								
Maa:										$I_k = \text{mA}$ $U_0 = \text{V}$													
a		R		P		R		P		mittaus					Jälkimittaus:								
m		$\Omega$		$\Omega$		$\Omega$		$\Omega$		paikka $\Omega$ m					aim 20 40 60 80 100 120 140 160								
1		#		#		#		#		-					R/0								
2		#		#		#		#		A					$R_{eq} = \Omega$ <input type="checkbox"/> 60 / 40 m <input type="checkbox"/> 100 / 63 m								
4		#		#		#		#		B					Pvm. / Mittaaja / 20 _____								
8		#		#		#		#		C													
16		#		#		#		#		D					Pvm. / Mittaaja / 20 _____								
Maadoitussuunnitelma:						Maadoitustyö:						$R_{eq} = \Omega$ <input type="checkbox"/> sarjam. <input type="checkbox"/> jännite-/virtamittausm.											
Odotettavissa R50Hz / Rekv $\Omega$						Valmistunut / 20 _____						$I_k = \text{mA}$ $U_0 = \text{V}$											
25 mm <sup>2</sup> Cu -körtä _____ m						mm <sup>2</sup> Cu -körtä _____ m																	
mm <sup>2</sup> -körtä _____ m						mm <sup>2</sup> -körtä _____ m																	
Muoviputkea (PVC) _____ m						Muoviputkea (PVC) _____ m						Pvm. / Mittaaja / 20 _____											
Huom.						Huom.						$R_{eq} = \Omega$ <input type="checkbox"/> sarjam. <input type="checkbox"/> jännite-/virtamittausm.											
												$I_k = \text{mA}$ $U_0 = \text{V}$											

Kliintistöraja		Asennettava maadoitus		Suhde: 1 ruutu= 5 m		Lisäne:		m	
Tien tai ojan reuna		Olemassa oleva maadoitus		Piiritysivm.					
Korkeuskäyrä									
Johtokäytön raja									

**EMPOWER**

**Kuva 26.** Autocad-ohjelmalla rakennettu kopio maadoitusmittauspohjasta

Kuvassa 26 on valmis tulostettu versio maadoitusmittauspohjasta. Joitain pieniä kosmeettisia eroja lukuun ottamatta, pohja näyttää samalta kuin Excel-version pohja. Kuitenkin pohjan käyttö vaatii uudelleen kouluttamista, jos Autocad-ohjelma ei ole ennestään tuttu.

## **6 MAADOITUSMITTAUSPROSESSIN KEHITYS**

### **6.1 Maadoitusmittausdokumentti**

Empower tarvitsee mittausten tueksi dokumentin, josta löytyy selvennystä Fingridin ohjeistukseen mittaajille ja myös kehitysehdotuksia koskien itse mittausprosessia. Tämän takia maadoitusmittausdokumentti on jaettu kahteen eri osaan eli mittausohjeeseen ja kehitysehdotuksiin. Dokumentti on tehty osana opinnäytetyötä ja se perustuu samoihin lähteisiin kuin tämän opinnäyteraportin lähteet.

### **6.2 Maadoitusresistanssin mittausohje**

Mittausohjeessa käydään läpi samantapaisesti kuin tässä opinnäyteraportissa eri mittaus tapoja ja niiden käyttökohteita. Siinä tuodaan myös esille eri käytäntöjä ja teoriaa selventämään miksi ylipäätään suurjännitepylväille mittauksia tehdään. Erityisesti se selventää mitä mittausmenetelmiä on suositeltavaa käyttää eri pylvästyypeille.

### **6.3 Mittausprosessin kehitysehdotukset**

Maadoitusmittausdokumentissa tuodaan myös esille muutoksia mittausprosessiin. Näiden kehitysehdotusten tarkoitus on tuoda esille standardissa ja muussa materiaalissa olevia käytäntöjä.

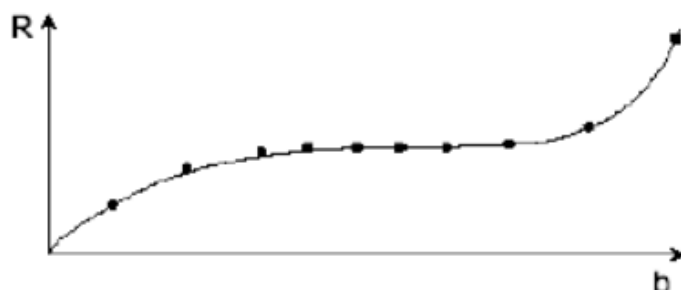
#### **6.3.1 Mittaussuunnan valinta**

Erityisesti käänne pistemittauksissa tärkeä tekijä on mittaussuunnan valinta. Tämä johtuu siitä, että mittaustulokseen voi luoda virhettä useat eri tekijät, kuten mitattavan maadoituselektrodin ja muiden maadoituselektrodien häirintä, maaston maaperän muutos ja muut maastossa olevat johtavat kappaleet (vesiputket, sähköjohdot tms.). Jos on mahdollista, on mittaus tehtävä suuntaan, jossa vähiten häiriötekijöitä esiintyy. Mittaukseen suurin vaikuttava tekijä on maaperä ja erityisesti sen muutokset. /7/

Dokumentissa ehdotetaan, että ennen mittauspaikalle menoa, mittaajille voisi olla jo tiedossa joitakin mittaussuunnan ehdotuksia. Nämä ehdotukset voitaisiin määrittellä maadoitusmittausdokumenteista ja merkata mittaajille käytössä olevaan karttaan pylväistä.

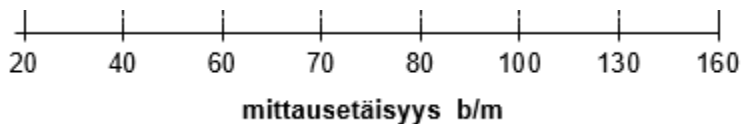
### 6.3.2 Käännepestemittauksen mittaustiheyden muutos

Käännepestemenetelmässä maadoituksen resistanssiarvo luetaan käyrältä, joka muodostetaan mittaustuloksista. Käyrän keskikohta halutaan mahdollisimman taseiseksi, jotta arvon tarkkuus olisi mahdollisimman hyvä. Mittaustapaa voisi parantaa tekemällä keskikohdan mittauksia tiheämmin. Tämä esitetään kuvassa 27, jossa käyrällä näkyvät mustat pisteet ovat mittauskohтия. Empowerilla on käytäntönä tehdä aina tietty määrä mittauksia ja jos mittaus epäonnistuu, tehdään se uudestaan eri suuntaan. Jos tiedetään jo, että maastossa on paljon häiriötekijöitä, voitaisiin mittaustiheyttä lisätä jo ensimmäisellä mittauksella. Tämä saattaisi poistaa tarpeen tehdä useampia mittauksia. /2/



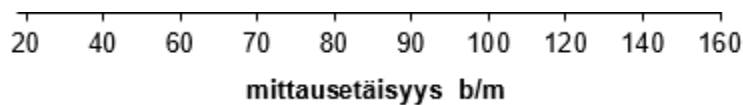
**Kuva 27.** Käännepestemittauksen käyrä, jossa mittauksia on lisätty käyrän keskelle. Mittaustiheyttä voitaisiin muuttaa ilman, että lisättäisiin mittauskohтия kuvan 28 mukaisesti. Tässä tavassa on yksinkertaisesti käyrän loppupäästä siirretty yksi mittaus lähelle käyrän keskikohtaa.





**Kuva 28.** Tiheyden muutostapa 1 (Yksi mittaus käyrän lopusta siirretty)

Paras tiheyden lisääminen olisi tietenkin mittauksien lisääminen lähellä keskikoh-  
taa kuten kuvassa 29 näkyy. Tämä tekee mittauksesta työläämpää, mutta tapa voisi  
olla käytössä, kun mittaustulos on muuten huono tai käyrässä on paljon vääristymiä.



**Kuva 29.** Tiheyden muutostapa 2 (Kaksi mittausta lisätty 70 m ja 90 m)

### 6.3.3 Käänne pistemenetelmän käyrämuoto näkyviin mittajille

Mittaajan työtä ja tulosten paikan päällä tehtävää arviointia helpottaisi, jos käyrä-  
muoto saataisiin näkyviin heti kun tulokset ovat selvillä. Dokumentissa ehdotetaan,  
että hyvä tapa toteuttaa tämä, on siirtyä pois paperiversioraporteista ja siirtyä netissä  
täytettävään pohjaan, joka piirtää käyrän valmiiksi.

### 6.3.4 Erillään olon varmistus

Erillään ololla viitataan teräspylvään maadoituksen ja sen perustusten yhteyteen.  
Empowerin ohjeistuksen mukaan, jos teräspylvään maadoitus voidaan todeta ole-  
van irti sen perustuksista, voidaan pylvään maadoituksen mittaamiseen käyttää  
muitakin menetelmiä kuin suurtaajuusmenetelmää. Muiden menetelmien käyttö tu-  
lee eteen etenkin tilanteissa, joissa suurtaajuusmittarin mittausalue ei mahdollista  
pylvään mittausta johtuen suurista resistanssiarvoista. Nämä muut menetelmät ovat  
käänne pistemenetelmä ja sen lyhyempi versio. /7/

Dokumentissa ehdotetaan, että jos erillään olon voitaisiin varmistaa nopeammalla  
tavalla kuin mittaus, esimerkiksi silmämääräisesti, tekisi se mittaustavan valinnasta  
helpompaa.

## **7 YHTEENVETO**

### **7.1 Opinnäytetyön haasteet**

Vaikeuksia maadoitusmittauspohjan rakentamisessa aiheutti Autocad-ohjelmiston puutteet, kuten JOS- funktioon tarvittava lisäosa Autofield. Lisäosa tulisi ehdottomasti korvata jollain paremmalla ratkaisulla, mutta tämä mahdollisesti vaatisi ohjelmointikielen, jolla Autocad on rakennettu, osaamista. Lisäosa on kuitenkin vähiten aikaa ja erikoisosaamista vaativa ratkaisu.

Maadoitusmittausdokumentin rakentamista vaikeutti materiaalin puute mittaustavoista. Vain Empowerin sisäiset tahot ovat tehneet aiheesta manuaaleja ja näissä manuaaleissa olevien käytäntöjen vertaaminen käytössä olevaan standardiin aiheutti hankaluuksia.

### **7.2 Kokeilumittaukset**

Liittyen luvussa kuusi viitattuihin kehitysehdotuksiin, on tarkoitus tehdä mittauksia varmentamaan ehdotusten käyttömahdollisuudet. Erityisesti mittaustiheyden muutos ja erillään olon varmistusehdotukset testataan Empowerin toimesta. Valitettavasti näiden mittausten tulokset eivät ehdi tähän opinnäytetyöraporttiin sillä mitaukset on mahdollista suorittaa vasta maaperän sulettua roudasta. Maaperässä oleva routa vaikuttaa mittauksiin ja tekee tuloksista epäluotettavat.

### **7.3 Opinnäytetyön lopputulos**

Opinnäytetyössä tehty Autocad-pohja tulee käyttöön vasta tämän vuoden eli 2019 lopulla. Silloinkin pohjaa joudutaan muuttamaan suunnittelijoiden toiveiden mukaan, mutta se toimii hyvänä aloituspisteenä Autocad-ohjelmistoon siirtymisessä.

Maadoitusmittausdokumentti toimii tukena mittaajille ja siinä tehdyt kehitysehdotukset tulevat käyttöön mahdollisimman pian. Aikaisemmin mainitut kokeilumittaukset tehdään mahdollisesti normaalien työtehtävien ohella ja niiden perusteella päätetään, otetaanko ehdotus käyttöön.

## LÄHTEET

- /1/ SFS 6001. Suurjännitesähköasennukset. 5. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliito. 2018. 155 s.
- /2/ Maadoituskirja. Helsinki: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2007. 176 s.
- /3/ Elovaara J & Haarla L. Sähköverkot II. Helsinki: Otatieto. 2011. 551 s.
- /4/ Fingrid. Voimajohto pylvään osat 2019. Viitattu 12.04.2019 <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kunnossapito/voimajohdot/pylvaan-osat/>
- /5/ S23701E. Earthing instructions. Fingrid. 2017. 7 s.
- /6/ SFS-EN 50341. Vaihtosähköilmajohdot yli 1 kV jännitteillä. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliito. 2014. 503 s.
- /7/ Työohje. Siirtoverkon pylväsmaadoitusten mittaus. Empower. 2011. 15 s.
- /8/ Verkostosuositus TJ 1:05. Sähkönjakeluverkkojen Maadoitusmittaukset. Energiäteollisuus ry. 2003. 31 s.
- /9/ Maadoitusvastuksen mittausopas. Chauvin arnoux.2014. 36 s.