

Laajan maadoituksen nykytilan kartoitus ja dokumentointi Oulun
Energia Siirto ja Jakelu Oy:n jakeluverkossa

Matti Hannula

Sähkötekniikan opinnäytetyö
Sähkövoimatekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2014

ALKUSANAT

Kiitän Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n verkostopäällikköä Markku Kallunkia ja OESJ:n henkilökuntaa jotka mahdollistivat opinnäytetyön tekemisen. Suuret kiitokset myös Jaakko Etolle hyvästä opinnäytetyön ohjauksesta.

Oulussa 7.4.2014

Matti Hannula

TIIVISTELMÄ

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU, Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisala

Koulutusohjelma:	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyön tekijä:	Matti Hannula
Opinnäytetyön nimi:	Laajan maadoituksen nykytilan kartoitus ja dokumentointi Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n jakeluverkossa
Sivuja (joista liitesivuja):	60 (7)
Päiväys:	7.4.2014
Opinnäytetyön ohjaajat:	DI, Jaakko Etto Verkostopäällikkö, Markku Kallunki
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:lle kartoitus ja dokumentointi laajan maadoituksen nykytilasta. Kartoitus tehtiin Tekla NIS -verkkotietojärjestelmään ja dokumentointi Excel-taulukkoon.</p> <p>Aihe oli hyvin ajankohtainen, koska maadoitusmittauksien dokumentointi oli hieman puutteellinen eikä ollut yhtenäistä verkkotietojärjestelmän tasoa josta olisi nähnyt ainoastaan laajaan maadoitukseen kuuluvat muuntamot. Maadoitusten tärkeyttä ja suunnittelua käsitellään opinnäytetyön teoriaosassa.</p> <p>Nykytilanteen kartoitus toteutettiin Tekla NIS -verkkotietojärjestelmän avulla, josta maadoitusryhmään kuulumattomat muuntamot poistettiin. Muuntamoiden listaus Excel-taulukkoon tapahtui poimimalla muuntamot valmiista verkkotietojärjestelmän tasosta yksi kerrallaan. Opinnäytetyöprojektin aikana toteutettiin verkkotietojärjestelmään kolme eri maadoitustasoa, muuntamotaulukoita maadoitustasosta sekä ohje maadoitusryhmien valinnasta ja dokumentoinnista.</p> <p>Verkostosuositusten mukaisesti verkkotietojärjestelmään tehdyt maadoitustasot ovat selkeitä ja niistä käy yksiselitteisesti ilmi muuntopiirit, jotka kuuluvat tiettyyn maadoitusryhmään. Tämä helpottaa dokumentoijien sekä suunnittelijoiden työtä kun saatavilla on aina uusin tieto. Tietojen päivittäminen on myös hyvin yksinkertaista ja helppoa sähköverkon muutosten yhteydessä. Muuntamoista tehdyt taulukot palvelevat dokumentoijien ja suunnittelijoiden lisäksi erittäin hyvin maadoitusmittauksia suorittavia henkilöitä, kun muuntamot on lueteltu fyysisen sijainnin sekä numerojärjestyksen mukaan.</p>	
Asiasanat: maadoitus, kartoitus, laaja maadoitus, erillismaadoitus.	

ABSTRACT

LAPLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Industry and Natural Resources

Degree programme:	Electrical Engineering
Author:	Matti Hannula
Thesis title:	Survey and Documentation of Global Earthing in the Distribution Network of Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy
Pages (of which appendixes):	60 (7)
Date:	7 April 2014
Thesis instructors:	Jaakko Etto, MSc (El.eng) Markku Kallunki, Network manager
<p>The purpose of this bachelor thesis was to do a survey and documentation of current global earthing for Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy. Survey was done to Tekla NIS -network information system and documentation to an Excel -spreadsheet.</p> <p>The subject was really topical, because the documentation of the earthing measurements was insufficient and there was no common level in the network information system with access to the transformers of global earthing only. The importance and design of the earthing are considered in the theoretic part of thesis.</p> <p>The survey of the current state was carried out with Tekla NIS -network information system and the transformers outside the earthing group were excluded. Listing of the transformers into the Excel -spreadsheet was realized by picking them one- by-one from the formed level of the network information system. Three different levels of earthing, transformer spreadsheets of the earthing levels and an instruction about selecting and documenting groups of earthing were produced in the network information system during this thesis project.</p> <p>According to the network recommendations, these earthing levels made in the network information system are clear and they indicate unambiguously the transformer circuits belonging to a certain earthing group. The facilitates documentation and designing because the latest information is always accessible. Updating the information is very simple when making changes to the electric network. The spreadsheets made about the transformers serve the documenting and designing as well as the persons making the earthing measurements when the transformers are listed according to the physical location and the numerical order.</p>	
Keywords: earthing, mapping, global earthing, separate earthing.	

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTAJA	8
3 MAADOITUSJÄRJESTELMÄT	12
3.1 Laaja maadoitusjärjestelmä	13
3.2 Erilliset maadoitukset	14
3.3 Muuntajien maadoitusjärjestelmät	15
3.4 Sähköasemien maadoitusjärjestelmät	17
4 VIKATILANTEET SÄHKÖNJAKELUVERKOSSA	18
4.1 Maasulku	18
4.1.1 Maasulun vikatyypit	19
4.1.2 Maasulkuvirran laskenta	22
4.2 Oikosulku	23
4.2.1 Oikosulun vikatyypit	24
4.2.2 Oikosulkuvirran laskenta	26
4.3 Ylijännitteet	29
4.4 Alijännitteet	29
4.5 Johdinten katkeamiset	30
5 MAADOITUKSIEN MITTAUKSET JA KUNTOTARKASTUKSET	31
5.1 Maadoitusten käyttöönotto	31
5.2 Sallitut maadoitusresistanssit	32
5.3 Maadoitusten mittaaminen	35
5.4 Laajaan maadoitukseen soveltuvat mittalaitteet	37
6 MAADOITUSTASOT VERKKOTIETOJÄRJESTELMÄSSÄ	39
6.1 Maadoitustasojen muodostuminen	39
6.2 Laaja maadoitusverkko	39
6.3 Erilliset maadoitusverkot	43
7 MAADOITUSTEN DOKUMENTOINTI	48
8 POHDINTA	51
LÄHTEET	52

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

OESJ	Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy
SJ	Suurjännite
KJ	Keskijännite
PJ	Pienjännite
Tekla NIS	Tekla NIS (Network information service) - verkkotietojärjestelmä
Excel	Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelma

1 JOHDANTO

Nykyisin verkostosuositukset suosittelevat verkkoyhtiötä dokumentoimaan maadoitusjohtimet ja muuntamot verkkotietojärjestelmään niin, että siitä näkyy yksiselitteisesti, mitkä muuntamot kuuluvat laajaan maadoitukseen. Muuntamoiden dokumentoinnin ansiosta uusia muuntamokohteita on helpompi rakentaa ja suunnitella vastaamaan laajan maadoituksen vaatimuksia, kun nähdään verkkotietojärjestelmästä laajaan maadoitukseen yhdistävät maadoitusjohtimet ja muuntamot. Nykytilanteen kartoitus selkeyttää myös tämänhetkistä tilannetta maadoitusmitattavista kohteista ja samalla saadaan varmuus, ettei yksikään kohde jää mittauksien ulkopuolelle.

Tämä opinnäyteyö käsittelee maadoitusverkon nykytilanteen kartoittamista ja dokumentointia. Nykytilanteen kartoitus ja dokumentointi on tehty Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n jakeluverkosta. Kartoitus tapahtuu Tekla NIS -verkkotietojärjestelmän avulla ja dokumentointi Excel-taulukkolaskentaohjelmalla.

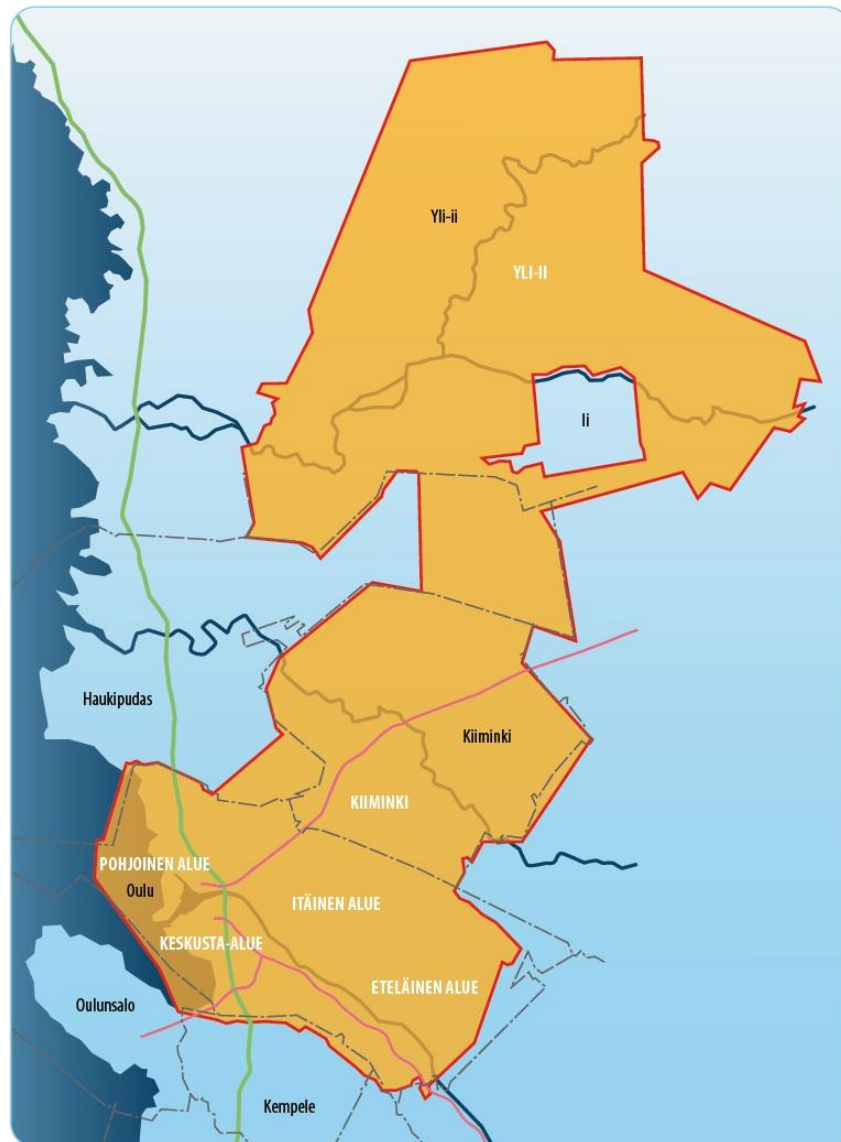
Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää jakeluverkon maadoitusten vaatimukset ja toteutustavat, kehittää maadoitusten dokumentointijärjestelmä sekä laatia dokumentaatio ohjeistuksineen. Lisäksi tavoitteena on selvittää laajan maadoituksen ja erillismaadoituksen nykytilanne ja dokumentoida ne verkkotietojärjestelmään.

Opinnäytetyö on rajattu maadoitusten tämän hetkisen tilanteen kartoittamiseen ja dokumentointiin. Työn alkupuolella käsitellään maadoitusten yleisiä vaatimuksia, maadoitusryhmien määrittämiä sekä sähkönjakeluverkon tyypillisimpiä vikatilanteita. Työn keskivaiheella käsitellään maadoitusten mittausta ja kuntotarkastusta. Työn loppupuolella kerrotaan maadoitustasojen muodostumisesta sekä dokumentoinnista.

Työn tarkoituksena on sisäistää jakeluverkolle asetetut vaatimukset ja niiden pohjalta tehdä verkkotietojärjestelmään verkostosuositusten mukaisesti maadoitustasot, joista käy yksiselitteisesti ilmi muuntamoiden maadoitusryhmä.

2 OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTAJA

Tämän opinnäytetyöprojektin toimeksiantajana toimii Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy, joka on osa Oulun Energia Oy konsernia. OESJ:n lisäksi konserniin kuuluvat myös Oulun sähkönmyynti Oy, Oulun Energia Urakointi Oy ja Turveruukki Oy. OESJ:n tehtävänä on siirtää sähköä luotettavasti omalla sähkönsiirtoalueellaan (kuvio 1), johon kuuluvat uuden Oulun verkkoalueet poislukien Haukipudas, Oulunsalo ja Ylikiiminki. Lisäksi OESJ huolehtii asiakkaiden sähkömittauksista, sähkökaupan mittaustietojen käsittelystä ja sähkön laadullisista mittauksista. (Oulun Energian www-sivut 2014, hakupäivä 13.2.2014.)



Kuvio 1. Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy sähkön jakelualue (Oulun Energian www-sivut 2014, hakupäivä 7.1.2014)

Taulukko 1. OESJ:n tunnusluvut 2012 (Oulun Energian www-sivut 2014, hakupäivä 13.2.2014)

Alueverkko 110 kV (maakaapelia)	49 km (8 %)
Keskijännitejakeluverkko 10,20 kV (maakaapelia)	838 km (65 %)
Pienjännitejakeluverkko 0,4 kV (maakaapelia)	2645 km (86 %)
Jakelumuuntamoita	1168 kpl
Sähköasemia	12 kpl
Häiriökeskeytysaika	0,09 h/as.

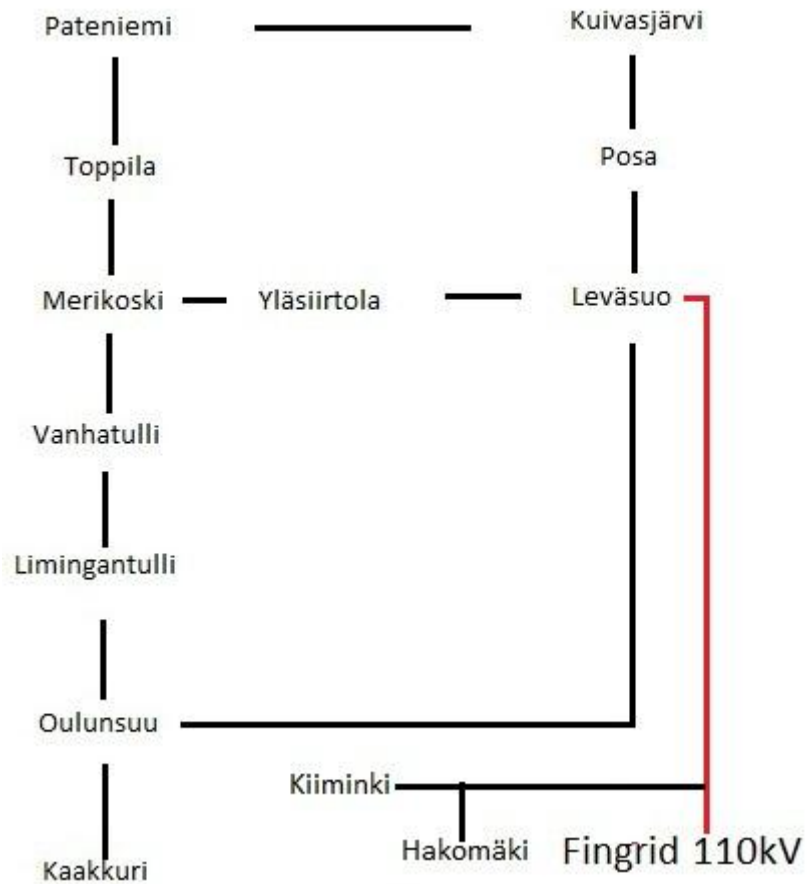
OESJ sähkönjakelualueella on taulukon 1 mukaisesti 110 kV, 10 ja 20 kV sekä 0,4 kV verkkoa. 110 kV alueverkko on pääosaltaan kahdessa rengasmaisessa verkossa, josta muodostuu kahdeksikko. Oulun alueen 110 kV rengasverkko on myös yhdistetty Kii-
mingin 110 kV sähkön syöttöön, joka haarautuu myös Hakomäkeen. Sähköasemia OESJ:n jakelualueella on 12, joista neljä 110/10 kV:n asemaa:

- Merikoski
- Limingantulli
- Toppila
- Vanhatulli

ja 110/20 kV:n asemia on kahdeksan:

- Hakomäki
- Kaakkuri
- Kiiminki
- Kuivasjärvi
- Oulunsuu
- Pateniemi
- Posa
- Yläsiirtola. (Oulun Energian www-sivut 2014, hakupäivä 13.2.2014.)

Kuviossa 2 on havainnollistettu 110 kV-alueverkon rakenne. Syöttö voidaan ohjata kahdesta rengasmaisesta kytkennästä yhdeksi renkaaksi avaamalla katkaisija Merikosken tai Leväsuon sähköasemalta. Fingridin kantaverkkoon liittyminen tapahtuu Leväsuon sähköasemalla kolmella johtolähdöllä, ja varayhteys tulee Kaakkurin sähköaseman kautta.



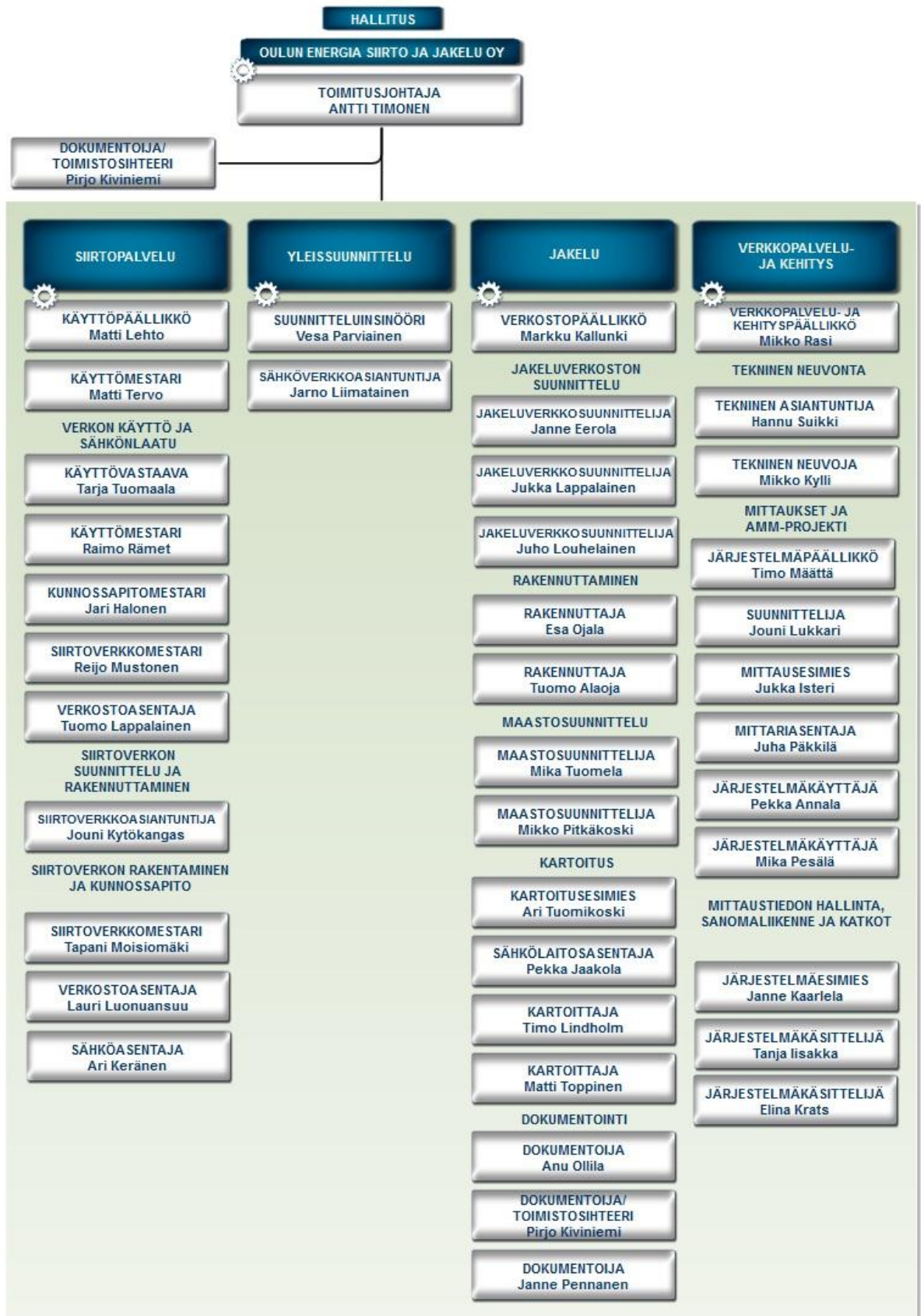
Kuvio 2. OESJ:n 110 kV siirtorengas

Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n organisaatio on jaettu neljään eri vastuualueeseen:

- siirtopalveluun
- yleissuunnitteluun
- jakeluun
- verkkopalveluun ja kehitykseen.

Siirtopalveluissa työskentelee käyttöpäällikön lisäksi henkilöitä, jotka takaavat sähkön laadun ja käytön, siirtoverkon suunnittelun ja rakentamisen sekä kunnossapidon.

Yleissuunnittelussa olevat henkilöt vastaavat yleissuunnittelusta ja asiantuntijatehtävistä. Jakelu johon itsekin kuului, huolehtii jakeluverkon suunnittelusta, rakennuttamisesta, kartoituksesta sekä dokumentoinnista. Verkkopalvelussa ja kehityksessä vastataan verkon monipuolisesta kehittämisestä. Edellä mainitut organisaatiotiedot ovat kuviossa 3.



Kuvio 3. OESJ:n organisaatiokaavio (Oulun Energian www-sivut 2014, hakupäivä 12.2.2014)

3 MAADOITUSJÄRJESTELMÄT

Jakeluverkon laajaa maadoitusta selvitetessä on hyvä tietää mitä vaatimuksia maadoitusjärjestelmillä on yleisesti.

Maadoitusjärjestelmän on toimittava kaikissa olosuhteissa ja varmistettava ihmisten turvallisuus paikoissa, joissa henkilöillä on oikeus kulkea. Lisäksi on varmistettava järjestelmään kytkettyjen laitteiden toimintakunto. (SFS 6001+A1 2005, 78.)

Sähköturvallisuuden kannalta maadoituksen tarkoituksena on

- estää vaarallisten jännitteiden siirtymistä järjestelmästä toiseen
- estää vaarallisten vuotovirtojen, kipinöiden ja valokaarien syntyminen
- luoda toimintaedellytykset maasulku- ja vikasuojaukselle. (DI-2012, 275.)

Maadoitusjärjestelmien rakenteen on täytettävä neljä vaatimusta, jotka ovat:

- riittävä mekaaninen lujuus ja korroosionkestävyys
- suurimman vikavirran kestävyys termisesti (lämmönkestävyys)
- omaisuuden ja laitteiden vaurioitumisen estäminen
- henkilöiden turvallisuuden varmistaminen suurimman maasulkuvirran aikana maadoitusjärjestelmissä esiintyvien jännitteiden suhteen. (SFS 6001+A1 2005, 78.)

Jos asennuksessa on eri jännitetasoja, kunkin suurjännitejärjestelmän on täytettävä edellä mainitut neljä vaatimusta. Samanaikaisia vikoja eri jännitetasoilla ei tarvitse ottaa huomioon. Maadoitusjärjestelmän mitoituksen olennaiset tekijät ovat

- vikavirtojen arvot
- vian kestoaika
- maaperän ominaisuudet.

Mekaanisen lujuuden ja korroosionkestävyyden takia vähimmäispoikkipinnat ovat

- kupari 16 mm²
- alumiini 35mm²
- teräs 50mm². (SFS 6001+A1 2005, 79.)

3.1 Laaja maadoitusjärjestelmä

Standardi 6001+A1 määrittää laajan maadoitusjärjestelmän seuraavasti:

”Maadoitusjärjestelmä on tehty liittämällä useat paikalliset lähellä toisiaan olevat maadoitusjärjestelmät verkkomaisesti yhteen siten, että järjestelmä muodostaa lähes tasopotentiaalipinnan. Järjestelmän laajuus ja maadoitusverkon tiheys varmistavat sen, ettei alueella esiinny vaarallisia kosketusjännitteitä”. (SFS 6001+A1, 25.)

Laajan maadoitusjärjestelmän voi muodostaa kolmen muuntopiirin maadoitusten yhdistämisellä, jos maadoitusverkko muodostaa verkkomaisen ja tarpeeksi tiheän maadoitusalueen. Jokainen muuntamo tulee liittää usealla yhteydellä (2-3) laajaan maadoitusjärjestelmään. Muuntamoilla tulee olla vähintään kaksi maadoitusyhteyttä, jotka muodostuvat lähimuuntamoista. Laaja maadoitus muodostuu näin ollen erinomaisesti taajamissa ja teollisuusalueilla useiden muuntajien ollessa lähellä toisiaan. Pienjänniteverkon useat yhteydet takaavat myös jatkuvan yhteyden laajaan maadoitukseen ja säilyttävät verkkomaisen rakenteen vaikka yksi maadoitusjohdin katkeaisi. (Verkostosuositus TJ 1:05, 9.)

Laajan maadoitusjärjestelmän yhdistysjohtimina toimivat

- suurjännitekaapeleiden vaipat ja keskusköydet
- pienjänniteverkon PEN-johtimet sekä maakaapeleissa että ilmajohdoissa
- erilliset muuntamoita yhdistävät maadoitusjohtimet ja elektrodit
- muuntamoiden maadoituksia yhdistävät keskijänniteilmajohdonpylväisiin rakennettavat maadoitusjohtimet. (Verkostosuositus RJ 19:06, 21.)

Sähköasemien, muuntamoiden, pienjänniteverkon ja liittymien maadoitukset toimivat laajan maadoitusjärjestelmän maadoituksina. Laajaan maadoitusjärjestelmään kuuluvat myös taajamissa olevat 110/20 kV:n tai 110/10 kV:n sähköasemien maadoitukset. Jos suurjänniteasennus syöttää pienjänniteasennuksia, jotka ovat suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmän alueen sisäpuolella, kaikki suoja- ja järjestelmämaadoitukset on kytkettävä yhteiseen maadoitusjärjestelmään. (Verkostosuositus RJ 19:06, 21.)

Pienjännitejärjestelmän tähtipiste voidaan maadoittaa suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmään jos seuraavat ehdot täyttyvät:

- Pienjännitejakeluverkossa tai siihen liitetyissä sähkön käyttäjän laitteistoissa ei esiinny vaarallisia kosketusjännitteitä.

- Sähkön käyttäjän pienjännitteisissä laitteistoissa esiintyvä pienjännitejärjestelmän tähtipisteen potentiaalinen noususta johtuva käyttötaajuuden raskausjännitteen suuruus ei ylitä sallittuja arvoja. (SFS 6001+A1 2005, 84.)

Laaja maadoitusjärjestelmä voi myös muodostua muuntopiirien verkoista, joiden kokonaismaadoitusimpedanssi täyttää kaavan (1) ehdon.

$$U_E \leq 2 \times U_{TP}, \quad (1)$$

missä

U_E = maadoitusjännite

U_{TP} = sallittu kosketusjännite. (Verkostosuositus RJ 19:06, 16.)

Uusille muuntopiireille on tehtävä laajasta maadoitusjärjestelmästä huolimatta standardien mukaiset maadoitukset muuntamolle (Verkostosuositus RJ 19:06,21).

Laajan maadoituksen reuna-alueilla voi muodostua tilanne, että järjestelmään kuulumaton muuntaja syöttää laajaa maadoitusjärjestelmän aluetta ja näin ollen mahdollistaa tilanteen, jossa vikatilanteen aikana voi siirtyä suuria virtamääriä esimerkiksi puhelinverkon kaapelivaippoihin aiheuttaen vaaratilanteita. Tämän vuoksi reuna-alueet tulee tarkastaa hyvin ja tarvittaessa erottaa syötöt tai rakentaa vikavirran kestävä laaja maadoitusjärjestelmä vaaran välttämiseksi. (Maadoituskirja 2007, 97.)

3.2 Erilliset maadoitukset

Suur- ja pienjänniteverkkojen maadoitusjärjestelmien on oltava erillisiä, jos maadoitusta ei voida kytkeä laajaan maadoitukseen tai se ei täytä pienjännitejärjestelmälle asetettuja vaatimuksia suojajohtimien maadoitustavasta ja vian kestoajasta. Maadoitusjärjestelmän erottaminen on tehtävä niin, ettei pienjänniteasennuksissa voi aiheutua vaaraa ihmisille tai vahinkoa laitteistoille.

Ukkossuojaus saattaa edellyttää ylijännitesuojien käyttöä sähköasemilla. Suojaus on sallittua, vaikka se johtaa maadoitusjärjestelmien hetkelliseen yhdistämiseen. Kosketusjännitesuojauksesta johtuen on suurjännitesähköaseman sisäpuolella olevien pienjännite-

telaitteiden jännitteelle alttiit osat kytkettävä suojajohtimilla suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmään.

Suur- ja pienjänniteverkkojen maadoitusjärjestelmien ollessa erillisiä, suurjännitesähköaseman sisäpuolella olevan pienjännitelaitteen eristystä mitoittaessa on huomioitava maadoituselektrodin jännitteen suuruus vikatilanteessa sekä vian kesto aika. (SFS 6001+A1, 2005, 85.)

3.3 Muuntajien maadoitusjärjestelmät

Puistomuuntamoon asennetaan aina rakennusvaiheessa maadoituselektrodi ja tarvittaessa maadoitusta voidaan parantaa asentamalla kaapeliojiin ja jakokaappeihin maadoituselektrodit. Puistomuuntamon maadoituselektrodi on 25 mm² kuparia. Puistomuuntamon maadoitusjärjestelmään kuuluvat:

- maadoituskiskon maadoitus- ja suojamaadoitusjohdin.
- potentiaalinojauselektrodi joka asennetaan noin 30cm syvyydelle ja metrin etäisyydelle seinistä. Jos rakennusvaiheessa tiedetään, että maadoitusimpedanssi täyttää kaavan (1) ehdon ei potentiaalinojauselektrodia tarvitse asentaa.
- maadoituselektrodi, joka asennetaan perustuksen alle ja jota voidaan tarvittaessa parantaa syvämaadoituksilla. Järjestelmä rakennetaan rengasmaiseksi, jotta sen eheys voidaan tarvittaessa todeta mittaamalla. (Maadoituskirja 2007, 90.)

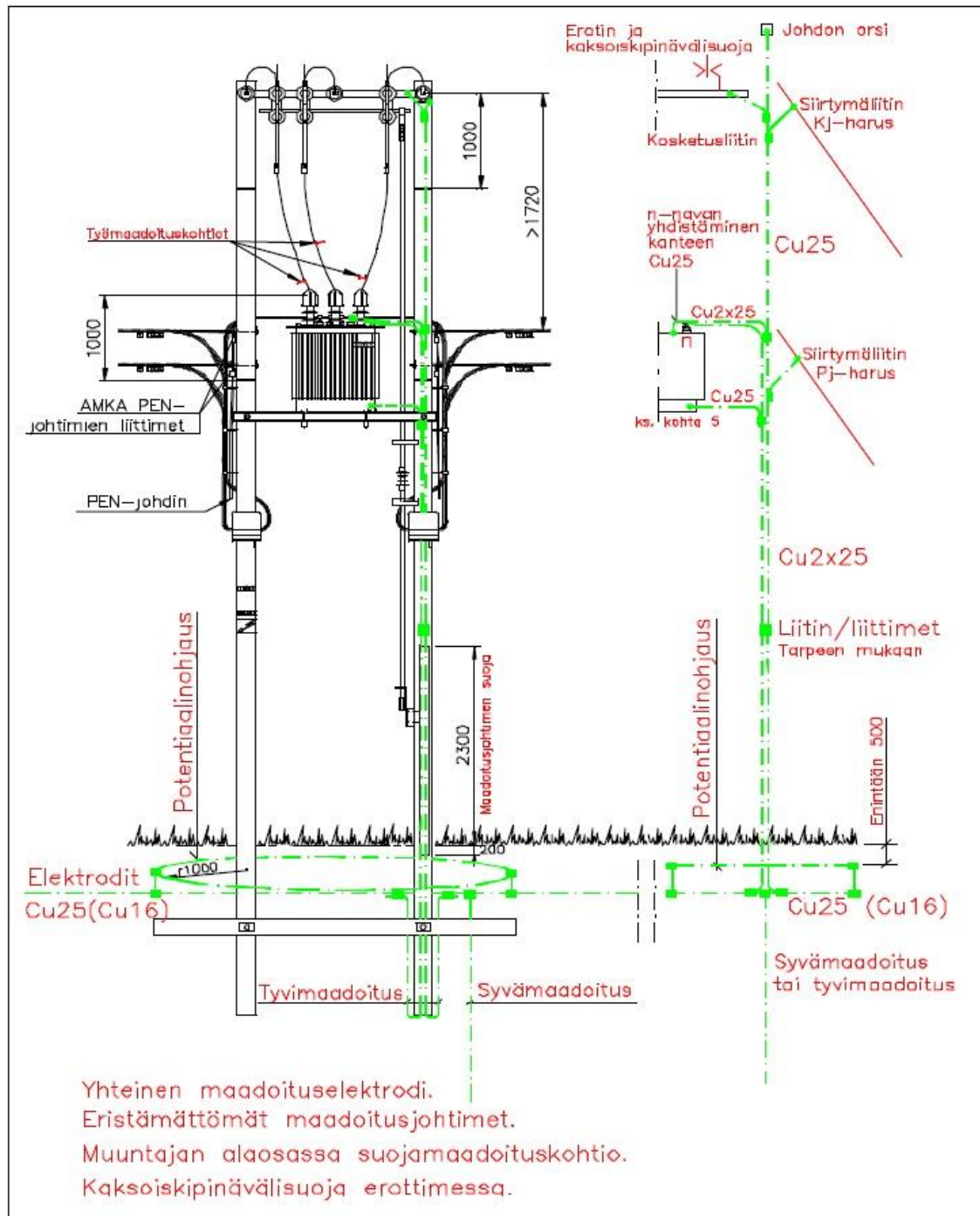
Pylväsmuuntamon maadoitusta rakentaessa suurjännitteen suojamaadoitusjohdin asennetaan pylvästä pitkin maahan. Tähän maadoitusjohtimeen kytketään:

- muuntaja
- pylväserottimen runko
- johdon orsi ja harukset.

Johdin jatkuu pylvästä pitkin tyvimaadoitukseen ja siitä maadoituselektrodiin. Muuntajan n-napaan asennetaan Cu 2x 25mm² -johdin, josta toinen menee tyvimaadoitukseen ja siitä potentiaalintasaukseen ja toinen suojamaadoitusjohtimeen. Tilanteissa, joissa ei pystytä asentamaan tyvimaadoitusta, se voidaan korvata syvämaadoituksella. Potentiaalinojauselektrodi asennetaan 0,5m:n syvyyteen, metrin etäisyydelle pylväistä sekä kytketään kahdesta pisteestä vaakasuoraan maadoituselektrodiin. Vaakasuorat maadoitusjohtimet voivat olla Cu 16mm² -johtimia, jos ne eivät ole alttiina korroosiolle tai me-

kaaniselle rasitukselle. Kaapeliojaan asennettujen vaakasuorien elektrodien tulee kuitenkin olla $\text{Cu } 25\text{mm}^2$ -johtimia.

Pylvästä pitkin menevät maadoitusjohtimet tulee suojata suojaputkelle joka ylittää 2.3 metrin korkeudelle maasta. Jos maadoitusjohtimia on liitetty, ne voidaan jättää suoja-putkien yläpuolelle. Muuntamossa olevan SJ-erottimen ohjausputkessa tulee olla eristin. Edellä mainitut pylväsmadoituksia koskevat vaatimukset ovat myös kuviossa 4. (Maadoituskirja 2007, 93.)



Kuvio 4. Pylväsmuuntamon maadoitukset (Verkostosuositus RM 5:03, 17)

3.4 Sähköasemien maadoitusjärjestelmät

Sähköasemille rakennetaan tyypillisesti verkkomainen maadoituselektrodi, joka muodostaa maadoitusruudukon. Maadoitusruudukkoon yhdistetään sähköasemalta lähtevien johtojen ukkosjohtimet. Sähköasemat rakennetaan pääsääntöisesti kovapohjaiselle maalle, jossa johtavuus on huono. Maadoituksia voidaan parantaa vaakamaadoituksilla, jotka asennetaan sähköaseman ympäristöön. Vaakamaadoitukset asennetaan johtoaukean reunoja pitkin ja yhdistetään pylväismaadoituksiin. Vaakamaadoituksen johtimet ovat yleensä muutamia kilometrejä, koska matkan pidentyessä johdon oma impedanssi kasvaa liian suureksi. Maadoitusruudukon ja muiden maadoituselektrodien tehtävänä on varmistaa, etteivät sähköaseman lähialueilla kosketus- ja askeljännitteet nouse vikatapauksissa liian suuriksi. Asemapotentiaalit ovat yleensä pienempiä kuin pylväspotentiaalit, mutta sen vaikutusalue on moninkertaisesti suurempi. Aseman ympäristössä potentiaali voi olla useita kymmeniä prosentteja aseman maadoitusjännitteestä 2–4 km päässä asemalta. (Elovaara & Laiho 1988, 423; Elovaara & Haarla 2011b, 446.)

Sähköaseman ympärillä olevat metalliset aidat on maadoitettava. Maadoitus tehdään useasta kohdasta. Voimajohtojen alla olevat paljaat metalliset aidat on maadoitettava tiheämmin, esimerkiksi jokaisesta aidan tukitolpasta maaston johtavuuden mukaan. Aitojen maadoitus tulee tehdä suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmään tai erillisiin maadoituselektrodeihin. Eristysaineella eristettyjä aidan paljaita metalliosia ei tarvitse maadoittaa. Induktion vaikutus on kuitenkin huomioitava. Sähköaseman aidan portit ja liikkuvat ovet on maadoitettava, ettei vaarallisia jännitteitä ei siirry aidan osien välillä.

Sähköaseman sisällä olevat metalliset vesiputket on kytkettävä maadoitusjärjestelmään. Sähköaseman ulkopuolella vesijohtojen putkimateriaalina tulee välttää metallia ja käytettävä materiaalia joka ei ole johtavaa. Sähköaseman sisäpuolella kulkevat sähköistämättömän rautatien kiskot on kytkettävä sähköaseman maadoitusjärjestelmään. Sähköaseman alueen rajalla tulee olla eristävät kiskoliitokset, että saadaan sähköinen erotus säilymään kiskoliikennejärjestelmän muihin osiin. (SFS 6001+A1 2005, 93.)

4 VIKATILANTEET SÄHKÖNJAKELUVERKOSSA

Maadoituksilla on tärkeä rooli sähköjakeluverkossa esiintyvien vikojen aikana. Maadoituksilla pyritään suojaamaan vian aikana lähellä olevia ihmisiä ja eläimiä sekä vähentämään laitteiden rikkoontumista ja sitä myötä minimoimaan sähköjakelun pitkäaikaisia keskeytyksiä. (SFS 6001+A1 2005, 80.)

Sähköjakeluverkossa esiintyy seuraavanlaisia vikatilanteita:

- oikosulut
- maasulut
- ylikuormitukset
- yli- ja alijännitteet
- Johtimien katkeamiset. (SFS 6001+A1 2005, 80.)

4.1 Maasulku

Maasulku on käyttömaadoittamattoman virtajohtimen ja maan tai maahan johtavassa yhteydessä olevan osan välinen eristysvika. Kaksoismaasulku on tilanne, jossa verkon kahdessa eri vaiheessa ja eri kohdissa verkkoa esiintyy samanaikaisesti eristysvika. Valokaaren kautta voi syntyä myös johtava yhteys. (SFS 6001+A1 2005, 80.)

Kun maasulussa tapahtuu monivaiheinen eristysvika samassa kohdassa järjestelmässä, kyseessä on maaosulku. Kun eristysvikoja on eri kohdissa järjestelmää, kutsutaan näitä kaksois- tai kolmoismaasuluiksi. (Satakunnan ammattikorkeakoulun www-sivut 2014, hakupäivä 14.1.2014; Lakervi & Partanen 2008, 182–183.)

Maasulkuja aiheuttavat

- puut
- ukkonen
- eläimet
- työkoneet
- eristimien rikkoutuminen
- johdinkatkeamat.

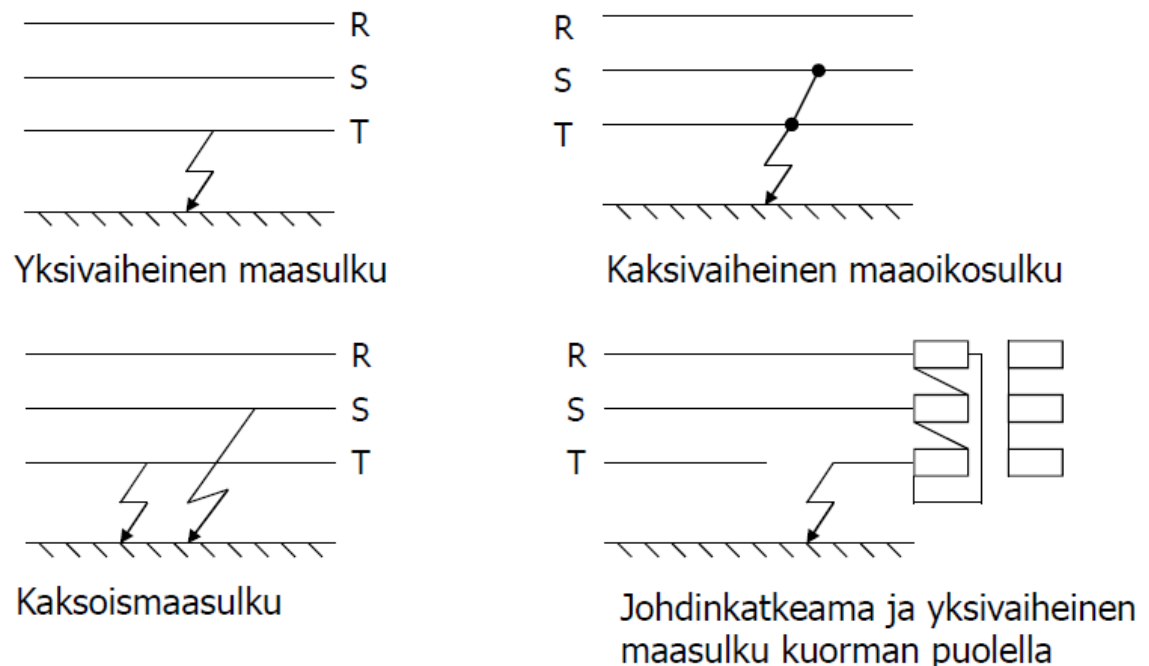
Kun verkko on normaalitilassa, vaihejännitteet maahan nähden ovat symmetrisiä. Maasulussa terveiden vaiheiden vaihejännitteet maahan nähden kasvavat ja tämän vuoksi varausvirtojen summa poikkeaa nolasta. Tämä osa varausvirtaa menee vikapaikan kautta maahan josta muodostuu maasulkuvirta. (ABB TTT 2000–07, 1.)

Maasulkuvirrasta aiheutuvat vaaratilanteet ovat

- hengenvaara, maasulkukohdassa.
- tulipalonvaara, maasulkuvirran termisten eli lämpövaikutusten takia.
- ylijännitevaara, maasulkuvalokaaren vaikutuksesta. (Lakervi & Partanen 2008, 28.)

4.1.1 Maasulun vikatyypit

Kuviossa 5 on esitetty tyypilliset maasulkutyypit keskijänniteverkossa joista on kerrottu maasulku- osiossa. (SFS 6001+A1 2005, 80.)



Kuvio 5. Maasulkutyypit keskijänniteverkossa (Lappeenrannan yliopiston www-sivut 2014, hakupäivä 13.1.2014; Korpinen 1997, hakupäivä 13.2.2014)

Maasulku tulee kytkeä pois automaattisesti tai käsin. Näillä toimenpiteillä varmistetaan, että kosketusjännitteitä ei esiinny pitkäaikaisesti. Pääsääntöisesti maasulku kytkeytyy

pois automaattisesti, mutta käsikäyttöistä ohjausta voidaan käyttää tilanteessa, jolloin maasulun aiheuttamaa katkosta on syytä siirtää sopivaan ajankohtaan.

Maasulun poislytkennän ajankohtaa voidaan siirtää, jos verkon rakenne täyttää seuraavat ehdot:

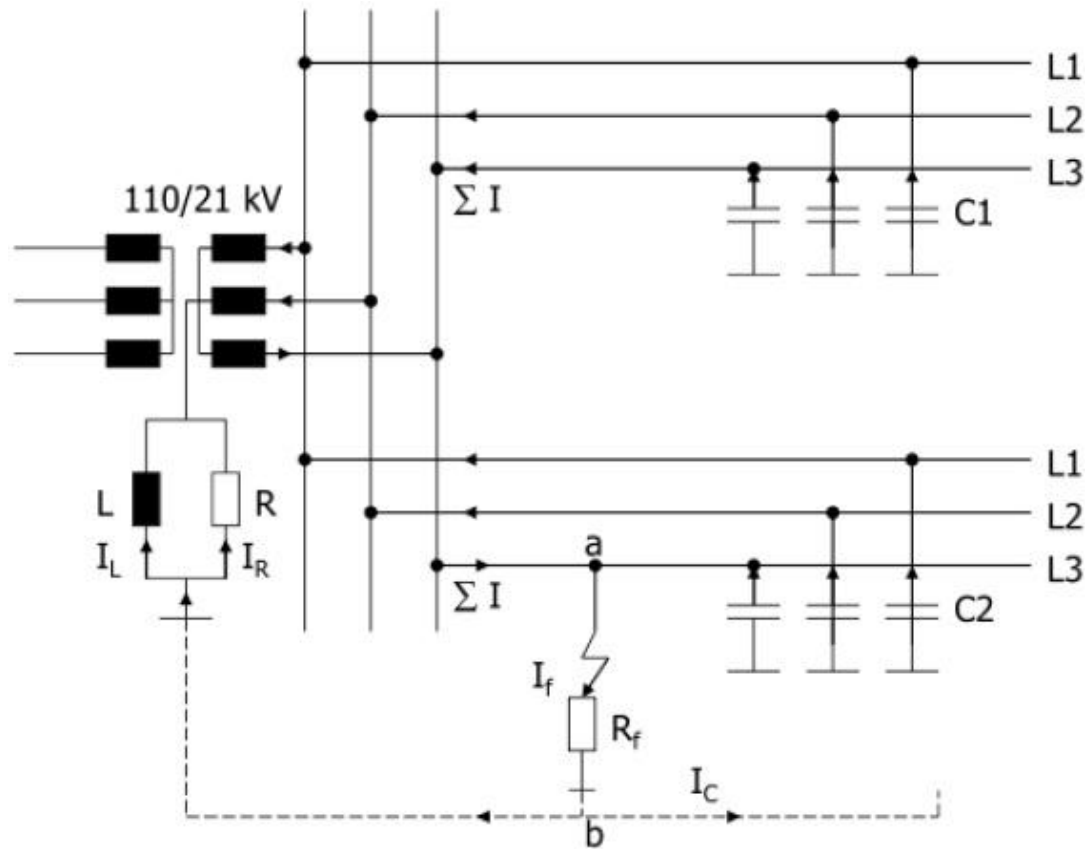
- Verkon tulee olla joko kaapeliverkko tai ilmajohtoverkko ja valokaarimaasulun on sammuttava itsenäisesti ilmajohtoverkossa (sammutettu verkko).
- Verkon käyttöä valvovan henkilön tietoon on tultava hälytys heti vian ilmoitettua, jotta vian selvittäminen voidaan aloittaa välittömästi.
- Maasulun aikana esiintyvä maadoitusjännite saa olla pitkäaikaisessa käytössä sallitun maadoitusjännitteen suuruinen, enintään 150V.
- Televerkon vaatimukset on huomioitu. (SFS 6001+A1 2005, 80.)

Verkkoyhtiöt voivat hyötyä maasulun poislytkennän siirtämisaikajankohdasta taloudellisesti, jos kyseisenä ajankohtana sähkön tarve on suuri. Järjestely on eduksi myös kuluttajalle, jos ajankohta sattuu esimerkiksi kovien talvipakkasten aikaan. Sähkön jakelua vian aikana voidaan jatkaa kahden tunnin ajan, jos vian aikana ei aiheudu välitöntä vaaraa ihmisille, omaisuudelle tai muille sähkölaitteistoille. Sähkönjakelua voidaan jatkaa pitempiaikaisesti jos vikapaikka on paikannettu ja vika ei aiheuta vaaraa. Vianaikainen pitkäkestoinen käyttö edellyttää kuitenkin, että jakelumuuntaja sijaitsee laajan maadoitusjärjestelmän alueella. (SFS 6001+A1 2005, 80.)

Sammutetun verkon tähtipisteeseen asennettavan induktanssin reaktanssi vastaa verkossa olevien johtimien maakapasitanssien muodostamaa reaktanssia. Perinteisesti maasulku aiheutuu vaihejohtimen valokaaresta tai kosketuksesta suojamaadoitettuun osaan. Tässä tilanteessa maasulkuvirta ja suojamaadoituksen resistanssi vaikuttavat kosketusjännitteen suuruuteen. Kuviossa 6 on havainnollistettu yksivaiheinen maasulku sammutetussa verkossa. (Lakervi & Partanen 2008, 182.)

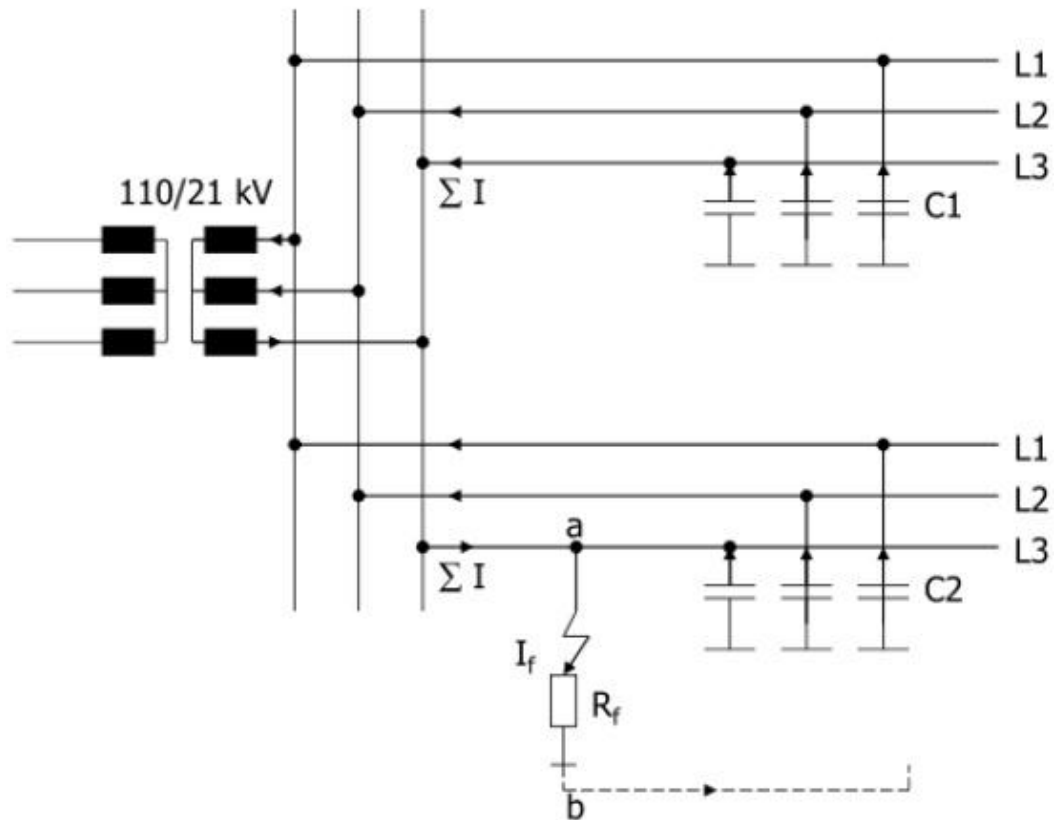
Sammutettuun verkkoon kytketään tähtipisteeseen reaktori (sammutuskuristin), joka kompensoi maakapasitanssit. Tällä kytkennällä saadaan pienennettyä maasulkuvirtaa ja loivennettua vikapaikalle palaavaa jännitettä. Verkkoon saadaan sijaiskytkentä lisäämällä sammutuskuristimen induktanssi ja kuristimen resistanssi maasta erotettuun verkkoon. Sammutuskuristin säädetään niin, että kuristimen kautta kulkeva virta on sama kuin maakapasitanssien kautta kulkevien virtojen summa. Pätökomponentin virran suuruuteen vaikuttaa sammutuskuristimen lisävastuksen lisäksi verkon johtimien resistans-

sit ja resistiiviset vuotovirrat. (Lakervi & Partanen 2008, 184; Lakervi & Partanen 2008, 185.)



Kuvio 6. Yksivaiheinen maasulku sammutetussa verkossa (Lakervi & Partanen 2008, 185)

Maasta erotetussa verkossa tapahtuvan maasulkutilanteen aikana verkon kaikkien vaiheiden ja tähtipisteiden jännitteet muuttuvat ja verkossa esiintyy johtojen maakapasitanssien kautta kulkevia kapasitiivisia vikavirtoja. Maasta erotetussa verkossa maasulkuvirran reitti vikapaikasta maahan kulkee johtojen maakapasitanssien ja vaihejohtimien impedanssin kautta päämuuntajan (110/20 kV:n) käämityksiin ja sitä kautta viikaantuneen vaiheen impedanssin kautta vikapaikkaan. Kuviossa 7 on havainnollistettu yksivaiheista maasulkua kolmivaiheisessa maasta erotetussa verkossa. Maasulkulaskelemissa johtimien ja muuntajakäämien impedanssit ovat vaihejohtimien maakapasitansseihin verrattuna niin pieniä, että ne voidaan olettaa nolaksi (Lakervi & Partanen 2008, 183). Huonoista maadoitusolosuhteista aiheutuvien kosketusjänniteongelmien takia maasta erotettua keskijänniteverkkoa yleisesti käytetään. (Lakervi & Partanen 2008, 182.)



Kuvio 7. Yksivaiheinen maasulku kolmivaiheisessa maasta erotetussa verkossa (Lakervi & Partanen 2008, 183)

4.1.2 Maasulkuvirran laskenta

Maasulkuvirran suuruus suorassa maasulussa voidaan laskea kaavalla (2):

$$I_e = \sqrt{3} \omega C_0 U, \quad (2)$$

missä

C_0 = verkon yhden vaiheen maakapasitanssi

U = verkon pääjännite

$\omega = 2 \pi f$.

Avojohtoverkkojen maasulkuja pystytään laskemaan riittävän tarkasti, kun tiedetään verkon pääjännite ja galvaanisesti yhteydessä olevan verkon pituus. Laskennan voi suorittaa kaavalla:

$$I_e = \frac{U \cdot l}{300}, \quad (3)$$

missä

U = verkon pääjännite

l = galvaanisesti kytketyn verkon pituus. (ABB TTT 2000–07, 1.)

4.2 Oikosulku

Oikosulku on kahden tai useamman järjestelmän virtajohtimien välinen pieni-impedanssinen eristysvika. Tyypillisin yksivaiheinen oikosulku on tilanne, jolloin eristysvika tulee äärijohtimen ja nollajohtimen välille. Eristysvian tullessa kahden tai useamman äärijohtimen välille, kutsutaan tätä monivaiheiseksi oikosuluksi. Vaikka oikosulku ei ole kaikista tyypillisin vika sähköjakeluverkossa, täytyy se kuitenkin huomioida laitteistojen mitoituksessa. Mitoittamisessa tulee huomioida komponenttien kestävyys oikosulkuvirtojen termisiltä ja dynaamisilta vaikutuksilta. Tyypillisesti oikosulkuvirta on suurempi kuin laitteen normaali käyttövirta. Tämän vuoksi oikosulkuvirta aiheuttaa hyvin nopeasti vaurioita sähköjärjestelmiin. Vikatapauksessa oikosulkuvirta tulee katkaista rele- tai sulakesuojauksen avulla mahdollisimman pian välttääkseen vahinkojen syntymistä. Suunniteltaessa oikosulkusuojausta, on pystyttävä ratkaisemaan kaksi perusasiaa. Ensimmäinen ratkaistava asia on oikosulkuvirran suuruus jokaisessa virtapiirin pisteessä. Toiseksi täytyy laskea tiettyä oikosulkuvirtaa vastaava suurin sallittu kesto-aika. Tämä on aika, jonka laitteisto kestää oikosulun aikana ilman vaurioitumista. (Satakunnan ammattikorkeakoulun [www-sivut](http://www.satakunta.fi) 2014, hakupäivä 17.1.2014; Lakervi & Partanen 2008, 28–29.)

Oikosulkuvirtoja pystytään rajoittamaan seuraavin keinoin:

- käyttämällä kuristimia
- valitsemalla muuntajille oikeat U_k -arvot
- käyttämällä virtaa rajoittavia sulakkeita
- erottamalla muuntajien tähtipisteitä maasta
- valitsemalla korkeampi jännitetaso

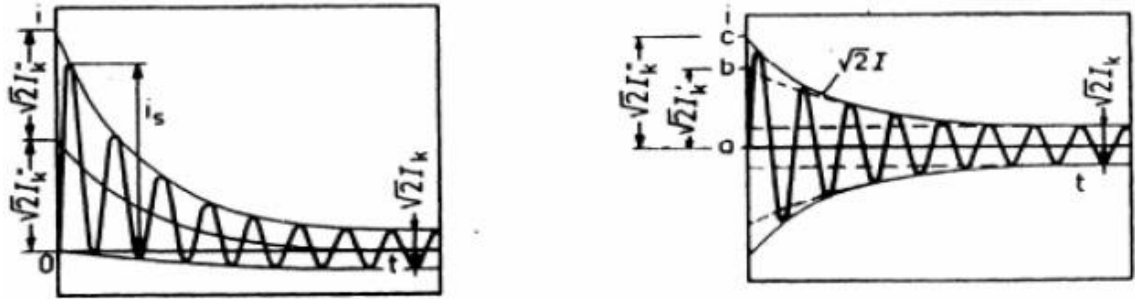
- jakamalla verkko. (Huotari & Partanen 1998, 15; Lakervi & Partanen 2008, 28–29.)

4.2.1 Oikosulun vikatyypit

Voimansiirtojärjestelmää suunnitellessa on tärkeää analysoida mahdolliset vikatilanteet. Tyypillisimmät vikatilanteet ovat oikosulut ja ylikuormista syntyvät komponenttien laukeamiset. Vikojen yleisimpiä aiheuttajia ovat

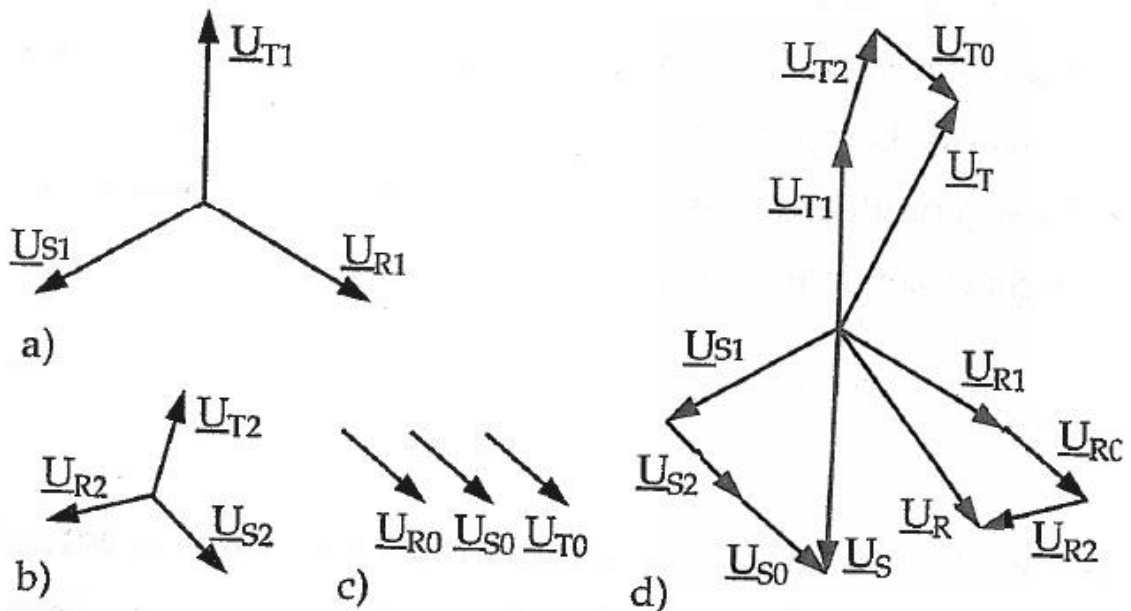
- ilmastolliset ylijännitteet
- toimintahäiriö ja virhetoiminta laitteissa
- inhimillinen erehdys
- ylikuormitus
- pieneläinten aiheuttamat viat
- varomaton maankaivu
- tuulen ja myrskyn sekä lumi- ja jääkuormien aiheuttamat viat.

Edellä mainitut vikatilanteet ilmenevät sähkön jakelussa täydellisenä tai osittaisena katkeamisena. Sähkön jakeluverkossa 1-vaiheinen maasulku on tyypillisin vikatilanne. Verkko tulee mitoittaa niin, ettei sähkön siirto joudu tilapäiseen keskeytykseen vian aikana. Verkossa esiintyvistä vikatapauksista osa on symmetrisiä. Symmetrisiä vikatapauksia ilmenee, kun muuntaja tai johdin laukeaa tai suuri tuotantoyksikkö irtoaa verkosta äkillisesti. Tyypillisimpiä epäsymmetrisiä vikoja on 1- ja 2-vaiheiset oikosulut, joita syntyy kun salama iskee johtoihin. Kaksivaiheiseen oikosulkuun voi liittyä myös maakosketus. Yleisin 1-vaiheinen oikosulku syntyy kun katkaisija toimii epätäydellisesti tai sulakkeen toimimisen aikana. Kolmivaihejärjestelmässä vaikein vika on 3-vaiheinen oikosulku jonka vika on vastukseton. Yleensä oikosulkuvirran suuruus vikatilanteessa on noin 10–40 -kertainen nimelliseen kuormitusvirtaan verrattuna. Kuviossa 8 havainnollistetaan oikosulkuvirran luonnetta epäsymmetrisessä ja symmetrisessä oikosulkutilanteessa. Oikosulun alkutilanteessa oikosulkuvirta on suurimmillaan mutta puolittuu hyvin nopeasti ja tasoittuu vakioarvoon tämän jälkeen. (Elovaara & Laiho 1988, 73–74.)

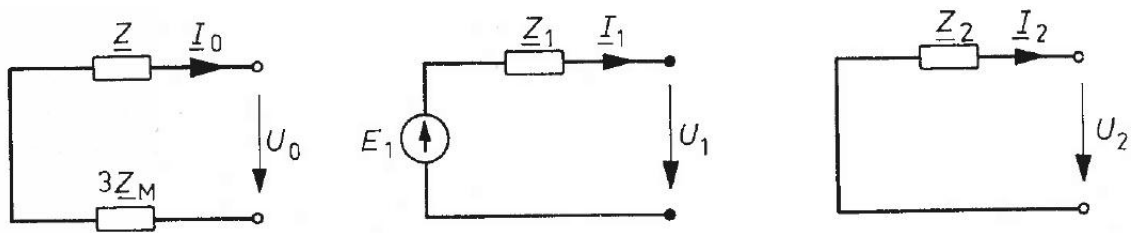


Kuvio 8. Epäsymmetrisen ja symmetrisen oikosulkuvirran käyttäytyminen oikosulun aikana (Elovaara & Haarla 2011, a, 171)

Epäsymmetrisiä vikoja lasketaan usein symmetristen komponenttien avulla. Laskeminen onnistuu kun jokainen epäsymmetrinen kolmivaihejärjestelmä voidaan jakaa kolmeen symmetriseen järjestelmään. Järjestelmään kuuluu myötä-, vasta- ja nollajärjestelmä. Myötäjärjestelmä on kolmivaiheinen järjestelmä, jonka vaihejärjestys on R-S-T. Vastajärjestelmä on symmetrinen kolmivaihejärjestelmä jossa vaihejärjestys on T-S-R. Nollajärjestelmässä kaikkien vaiheiden jännitteet ja virrat ovat yhtä suuret ja samanvaiheiset. Edellä mainitut myötäjärjestelmän vaihejännitteet ovat kuvioista 9. Kuviossa 9 näkyy kohdassa a) myötäjärjestelmän, b) vastajärjestelmän ja c) nollajärjestelmän vaihejännitteet d) epäsymmetristen vaiheiden syntyminen. (Mörsky & Mörsky 1994, 45.)



Kuvio 9. Symmetriset vaihejännitteet a), b) ja c). d) on epäsymmetriset vaihejännitteet (Mörsky & Mörsky 1994, 45)



Kuvio 10. Nolla-, myötä- ja vastaverkon kytkennät (Elovaara & Laiho 1988, 80)

Yksi- ja kaksivaiheisissa vikatilanteissa sijaiskytkentä muodostetaan vasta-, myötä-, ja nollakomponenttiverkkojen avulla.

Keskinäisen komponenttiverkkojen kytkeytyminen määräytyy vikatyypin mukaan. Komponenttien impedanssit kytkeytyvät myötä- ja vastaverkkoihin samantapaisesti. Muuntajan kytkentäryhmä vaikuttaa nollaverkon kytkeytymiseen. Kuviossa 10 on havainnollistettu nolla-, myötä- ja vastaverkon kytkentä. (ABB TTT 200–07, 2; Lakervi & Partanen 2008, 28–29.)

4.2.2 Oikosulkuvirran laskenta

Thevenin menetelmää käyttäessä yksivaiheisessa sijaiskytkennässä, komponentit ja lähteet korvataan oikosulkuimpedanssien summalla ja vikapaikkaan sijoitetaan ekvivalenttinen jännitelähde cU_n , jossa U_n on vikapaikan käyttöjännite ja kertoimen c arvo saadaan taulukosta 2. (ABB TTT 2000–07, 1.)

Taulukko 2. IEC 60909 mukainen jännitekerroin c (ABB TTT 2000–07, 2)

Nimellisjännite U_n	Maksimioiko- sulkuvirta C_{max}	Minimioiko- sulkuvirta C_{min}
pienjännite 100 V – 1000 V a) 230 V / 400 V b) muut jännitteet	1.00 1.05	0.95 1.00
keskijännite 1 kV - 35 kV	1.10	1.00
suurjännite 35 kV - 230 kV	1.10	1.00

Seuraavat laskut ovat esimerkkilaskuja symmetrisistä vikatilanteista. Yksivaiheinen alkuoikosulkuvirta saadaan yhtälöstä:

$$I''_k = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * Z_k}, \quad (4)$$

missä

c = (taulukon 2) mukainen kerroin

U_n = syöttävän verkon jännite

Z_k = impedanssi vikapaikasta katsottuna. (ABB TTT 2000–07, 2.)

Kolmivaiheisessa oikosulkutilanteessa vian aikainen impedanssi muodostuu myötäim-pedansseista, näin ollen kolmevaiheinen oikosulkuvirta saadaan kaavasta (5).

$$I''_{k_3} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * Z_1}, \quad (5)$$

missä

c = (taulukon 2) mukainen kerroin

U_n = syöttävän verkon jännite

Z_1 = myötäkomponenttiverkon impedanssi. (ABB TTT 2000–07, 2.)

Kaksivaiheinen oikosulkuvirta jossa ei ole maakosketusta saadaan kaavasta (6).

$$I''_{k_2} = \frac{c * U_n}{Z_1 * Z_2}, \quad (6)$$

missä

c = (taulukon 2) mukainen kerroin

U_n = syöttävän verkon jännite

Z_1 = myötäkomponenttiverkon impedanssi

Z_2 = vastakomponenttiverkon impedanssi. (ABB TTT 2000–07, 2.)

Oikosulkuvirtoja laskettaessa ei ole aina tarpeellista laskea kaikkia vikatapauksia. Verkossa esiintyvien suurimpien oikosulkuvirtojen perusteella voidaan tarkastaa verkko ja kytkinlaitteet. Toiminnan varmistamiseksi tulee myös tietää pienimmät oikosulkuvirrat. Maasta erotetuissa verkoissa vikatapauksien aiheuttamat oikosulut rajoittuvat kaksi- ja kolmivaiheisiin oikosulkuihin. Kaksivaiheinen oikosulkuvirta I_{k2} saadaan I_{k3} ja kaavan 7 avulla:

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{1 + \frac{Z_2}{Z_1}} * I_{k3}, \quad (7)$$

missä

Z_1 = oikosulkupiirin myötäimpedanssi

Z_2 = oikosulkupiirin vastaimpedanssi. (Huotari & Partanen 1998, 11.)

Jotta kaksivaiheinen oikosulkuvirta olisi suurempi kuin kolmivaiheinen, täytyy seuraavan ehdon täytyä $Z_2 < 0,73 * Z_1$. Edellä mainitun ehdon täyttyminen vaatii, että impedanssien vaihekulmat eivät saa poiketa 15° enempää toisistaan. Yksivaiheisia oikosulkuja voi esiintyä myös sähköverkoissa, joiden tähtipisteet on maadoitettu. Yksivaiheisia oikosulkuja esiintyy tyypillisesti 400V valaistusverkossa ja suurjännitteisissä moottori-keskuksissa. Yksivaiheinen oikosulkuvirta I_{k1} arvo saadaan I_{k3} apuna käyttäen kaavalla 8.

$$I_{k1} = \frac{3}{1 + \frac{Z_2}{Z_1} + \frac{Z_0}{Z_1}} * I_{k3}, \quad (8)$$

missä

Z_0 = oikosulkupiirin nollaimpedanssi

Z_1 = oikosulkupiirin myötäimpedanssi

Z_2 = oikosulkupiirin vastaimpedanssi. (Huotari & Partanen 1998, 12.)

Kaukana generaattorista tapahtuva oikosulku on yleinen pienjänniteverkoissa. Tästä seuraa, että oikosulkupiirin vastaimpedanssi Z_2 on myötäimpedanssi Z_1 suuruinen. Näin ollen kaavaa 8 voidaan sieventää kaavan 9 muotoon.

$$I_{k1} = \frac{3}{2 + \frac{Z_0}{Z_1}} * I_{k3}, \quad (9)$$

missä

Z_0 = oikosulkupiirin nollaimpedanssi

Z_1 = oikosulkupiirin myötäimpedanssi

Z_2 = oikosulkupiirin vastaimpedanssi. (Huotari & Partanen 1998, 12.)

4.3 Ylijännitteet

Sähkönjakeluverkossa syntyvät ylijännitteet ilmaantuvat pääsääntöisesti suorina salamiskuina, indusoituneina ylijännitteinä ja jännitteettömästä maadoituksesta tuleviin takaiskuihin. Pienjännitteistä järjestelmää, jota syötetään pelkästään maakaapeilla, ei lisäsuojasta ilmastollisia ylijännitteitä vastaan tarvita. Tässä tapauksessa ylijänniteluokkien käyttö riittää. Taulukossa 3 kerrotaan ylijänniteluokkien kestoisuudet. (D1-2012, 154.)

Taulukko 3. Sähkölaitteiden ylijännitekestoisuus IEC 60 364-4-443 (D1-2012, 154)

Ylijänniteluokka	230/400V	400/690V	1000V
4	6 kV	8 kV	12 kV
3	4 kV	6 kV	8 kV
2	2,5 kV	4 kV	6 kV
1	1,5 kV	2,5 kV	4 kV

4.4 Alijännitteet

Kuluttajalle toimitetun sähkön laatu on hyvin tärkeää. Toimitetun jännitteen suuruus täytyy olla oikeanlaista, jotta sähkölaitteet toimivat oikein. Jännite ei voi olla liian alhainen tai korkea. Jännitteen laatu korostuu lähellä sähkökäyttäjää. Jakeluverkossa koko siirtotien jännitteenalenema summautuu keskijännitejohdosta, jakelumuuntajasta ja pienjännitejohdosta. Suurjänniteverkon jännitettä ei pysty havaitsemaan loppukäyttä-

jien verkossa, koska verkkojen välissä olevilla muuntajilla on automaattiset käänkimet. Yleensä jakeluverkkolaskuilla pyritään saamaan johdon loppupäässä vallitsevan maksimikuormituksen jännitteen itseisarvo sekä johdon jännitteenalenema, joka tulee alku- ja loppupään jännitearvojen erotuksesta. (Lakervi & Partanen 2008, 31.)

4.5 Johdinten katkeamiset

Johdinten katkeamisia esiintyy sähkönjakeluverkossa pääsääntöisesti tilanteissa, joissa puusto on päässyt hankaamaan johdinta tai työkone on törmännyt ilmajohtoon tai kaivanut johtimen poikki. Lisäksi seuraavat tilanteet aiheuttavat tyypillisesti johdinten katkeamisia:

- myrskyn tai lumikuorman katkaiseman/kaataman puun aiheuttama johtimen/johtimien katkeaminen
- jääkuorman katkaisema johdin tai pylväsrakenne
- kiven painauma roudan aikana (maakaapeli)
- jatkosten vioittuminen.

5 MAADOITUKSIEN MITTAUKSET JA KUNTOTARKASTUKSET

5.1 Maadoitusten käyttöönotto

Maadoitusjärjestelmän maadoitusresistanssi on mitattava ennen käyttöönottoa. Jos mitausta ei voida suorittaa ennen käyttöönottoa esimerkiksi roudan takia, mittaus tulee suorittaa vuoden kuluessa käyttöönotosta. Laitteistolle on kuitenkin tehtävä testauksia ja tarkastuksia käyttöpaikalla ennen käyttöönottoa.

Tarkastuksia voidaan tehdä seuraavasti:

- silmämääräisillä tarkastuksilla
- toiminnan testauksilla
- mittauksilla. (SFS 6001+A1 2005, 85.)

Maadoitusmittauksien jälkeen mitattavat pisteet ja tulokset pitää dokumentoida. Mittauspaikka- ja tulos tulee kirjata muistiin, jotta mittaus tehdään seuraavan kerran samasta paikasta ja pystytään vertailemaan saatua tulosta vanhaan tulokseen. Maadoituksia tulisi tarkastella jatkuvasti myös silmämääräisesti. Jos maadoitus on tehty yhdellä maadoitusjohtimella, tulee mittaukset suorittaa 6 vuoden välein. Maadoituksen ollessa kahdella maadoitusjohtimella tulee mittaus suorittaa 12 vuoden välein. Kuntotarkastuksessa tehtävät mittaukset ovat riittäviä, jos ne mitataan 60 % mittauspisteestä, joka sijaitsee samassa paikassa kuin alkuperäinen mittaus. Mittaustuloksen ollessa sama tai pienempi, ovat maadoitukset kunnossa. (Verkostosuositus TJ 1:05, 19.)

Laajaan maadoitukseen tai potentiaalintasaushjaukseen käytetyn maadoituksen impedanssia ei tarvitse mitata, vaan sen eheys voidaan todeta pihtiampeerimittarilla (SFS 6001+A1 2005, 86). Uuden 110 kV:n sähköaseman liittyessä laajaan maadoitusverkkoon on maadoitusimpedanssin arvo todettava mittaamalla. Jos sähköasema liittyy laajaan maadoitukseen aikana, jolloin maa on roudassa, riittää laajan maadoitusverkon eheyden toteaminen. Maadoitusmittaus täytyy kuitenkin suorittaa mahdollisimman pian maan sulamisen jälkeen tai viimeistään vuoden kuluttua muuntamon käyttöönotosta. Jos mittauksen yhteydessä ilmenee puutteita, puutteet tulee korjata ensitilassa. (Verkostosuositus RM 5:03, 10.)

Maastoissa, joissa tiedetään esiintyvän korroosiota, suositellaan tarkastuksien yhteydessä kaivamaan esille esimerkiksi liitoskohdat ja siirtymävyöhykkeet. Maadoitusresistanssin tai kosketusjännitteiden perusvaatimukseen vaikuttavien muutosten jälkeen tulisi tarkastaa mittaukset tai laskelmat. (SFS 6001+A1 2005, 86.)

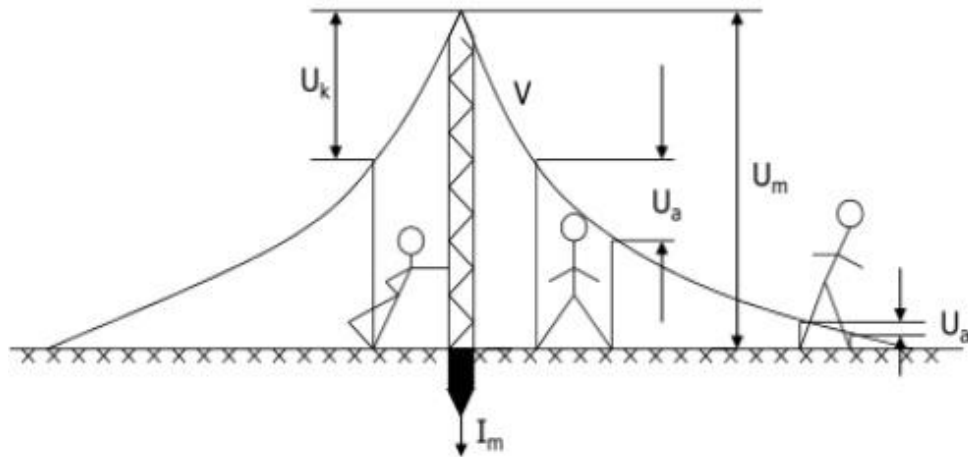
Maadoitusolosuhteita huonontavat tyypillisesti maaperän kuivuminen esimerkiksi peltotöiden vuoksi ja kaivu – tai peltotöiden aikana katkennut maadoituskupari.

5.2 Sallitut maadoitusresistanssit

Sallittujen maadoitusresistanssien arvo määräytyy pääsääntöisesti maasulkuvirran ja maadoitusjännitteen kestoajalle määräytyistä raja-arvoista. Standardissa ei ole pienjänniteverkolle asetettu kyseisiä raja-arvoja, joten liittymän maadoituselektrodin resistanssia ei tarvitse mitata. Maadoitusresistanssimittauksia tehdään yleensä seuraavissa kohteissa:

- muuntajan suurjännitepuolen suojamaadoitus
- sähköasemien maadoitus
- enintään 1000V jakeluverkon maadoitus, kun järjestelmä altistuu $\geq 1000V$ jännitteille
- edellä mainittujen järjestelmien yhteinen maadoitus. (Maadoituskirja 2007, 145.)

Kohteet jotka on otettu käyttöön ennen suurjännitesähköasennuksille tarkoitettua SFS 6001- standardia, suoritetaan mittaukset rakentamisajankohdan määräysten mukaisesti, ellei muutostöitä ole tehty SFS 6001 mukaisesti. Kosketusjännitteen perusteella määräytyy sallitut maadoitusresistanssien arvot, jotka ovat esitetty taulukossa 4. (Maadoituskirja 2007, 145.) Kuviossa 11 on havainnollistettu maasulkutilanne kun virta kulkee kädestä sydämen kautta jalkaan kahden osan välillä. Molempien jalkojen yhtäaikaisesta kosketuksesta maahan syntyy askeljännite U_a . (Elovaara & Laiho 1988, 414.)



Kuvio 11. Maasulkutilanteessa V on maan pinnan potentiaali, maadoitusjännite U_e , kosketusjännite U_{TP} ja askeljännite U_a (Elovaara & Laiho 1988, 414)

Taulukko 4. Sallittujen kosketusjännitteiden enimmäisarvot (Maadoituskirja 2007, 144)

Laukaisuaika/s	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	2,0	5,0	10,0
Kosketusjännite/V	390	290	215	160	132	120	110	102	85	80	80

Taulukon 4 avulla voidaan laskea sallittu maadoitusresistanssin arvo. Esimerkki taulukon käytöstä: pylväsmuuntamon maadoitus, joka käyttää yhteistä maadoitusta. Vikatapauksen aikana maasulkuvirta = 30A ja laukaisuaika = 0.5s. Tavoitearvo on kaavan (1) ($U_E \leq 2 \times U_{TP}$) mukainen. Taulukosta 4 $U_{TP} = 215V$ ja $2 \times U_{TP} = 430V$.

$$R = U/I, \quad (10)$$

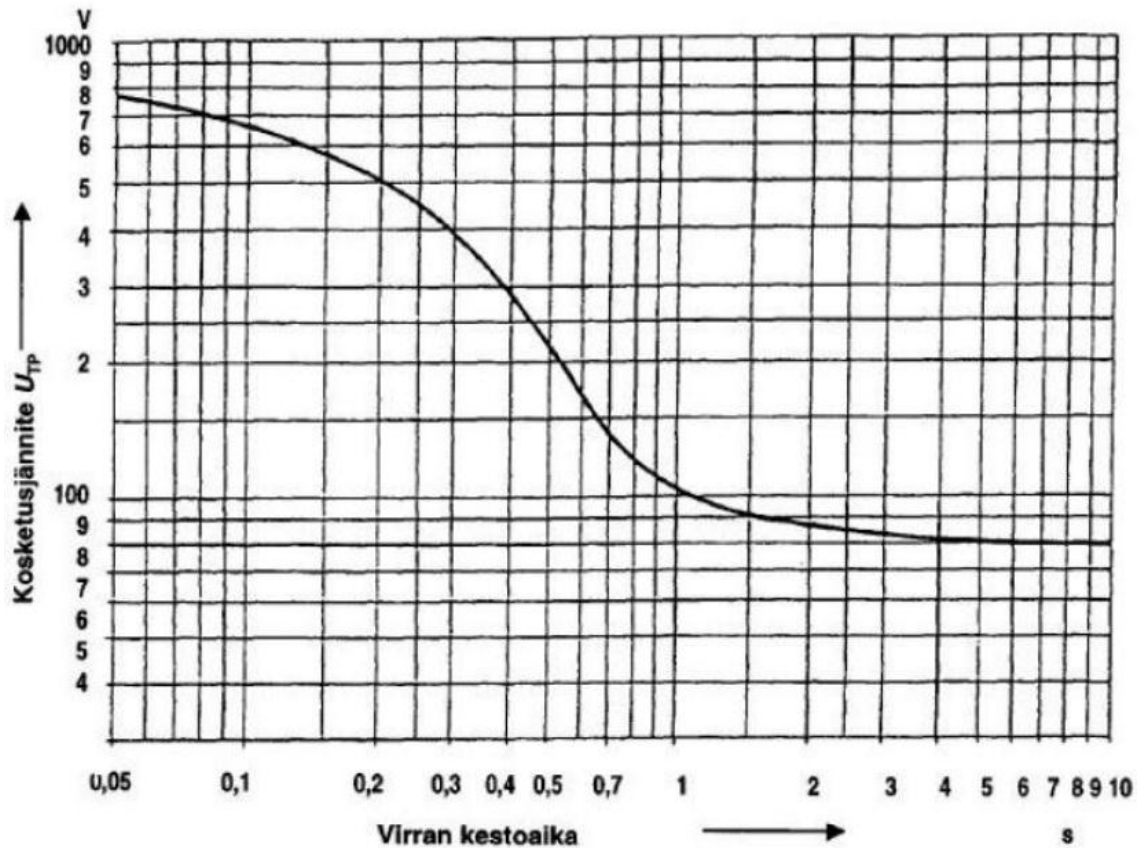
missä

R = resistanssi

U = jännite

I = virta.

Kaavalla 10 voidaan laskea maadoitusresistanssin arvo. $R = 430V / 30A = 14 \Omega$. (Maadoituskirja 2007, 145.) Taulukossa 4 mainitut arvot on otettu kuvioista 12.



Kuvio 12. Suurimmat sallitut kosketusjännitteen arvot maasulun aikana (SFS 6001+A1 2005, 86)

Maadoitusjännitteen tavoitetaso on normaalisti kaavan 1 mukainen. Jos teknisistä tai taloudellisista syistä tavoitetasoa ei voida saavuttaa, voidaan käyttää kaavan 11 arvoa. Tyypillisesti alueella, jossa joudutaan käyttämään kaavan 11 arvoa, on muuntopiirin alueella huonot maadoitusolosuhteet. Tämä kuitenkin edellyttää potentiaalinhjauksen rakentamista muuntamolle.

$$U_E \leq 4 \times U_{TP}, \quad (11)$$

missä

U_E = maadoitusjännite

U_{TP} = sallittu kosketusjännite. (Verkostosuositus RJ 19:06,16–17.)

Muuntopiirin alueilla, joissa ei pystytä toteuttamaan kaavan 11 vaatimuksia, on tyypillisesti huonosti johtavaa soraa, hiekkaa tai kalliota. Näillä alueilla voidaan käyttää kaavan 12 arvoa. Tätä arvoa käyttäessä on potentiaalinhjauksen rakennettava muuntamolle ja liittymillä pitää olla maadoitus, joka liitetään pääpotentiaalintasaukseen.

$$U_E \leq 5x U_{TP}, \quad (12)$$

missä

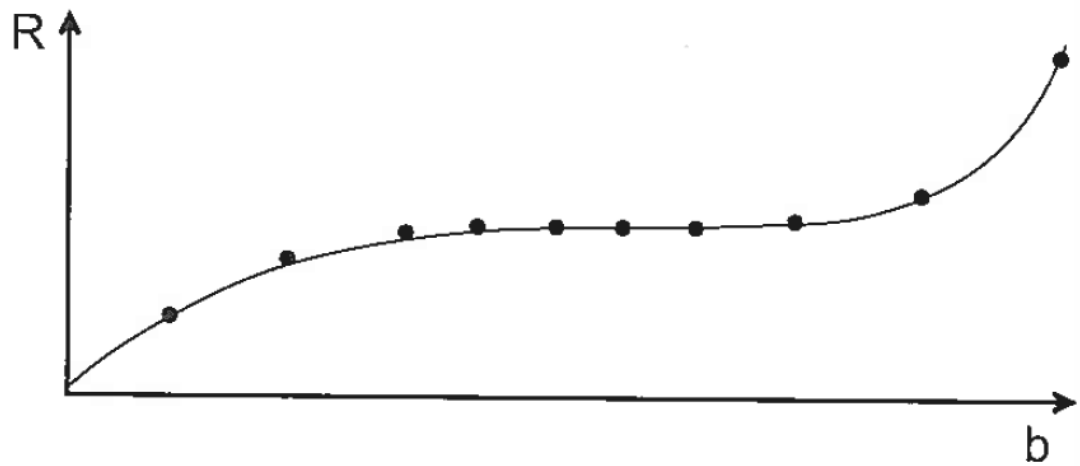
U_E = maadoitusjännite

U_{TP} = sallittu kosketusjännite. (Verkostosuositus RJ 19:06,18–19.)

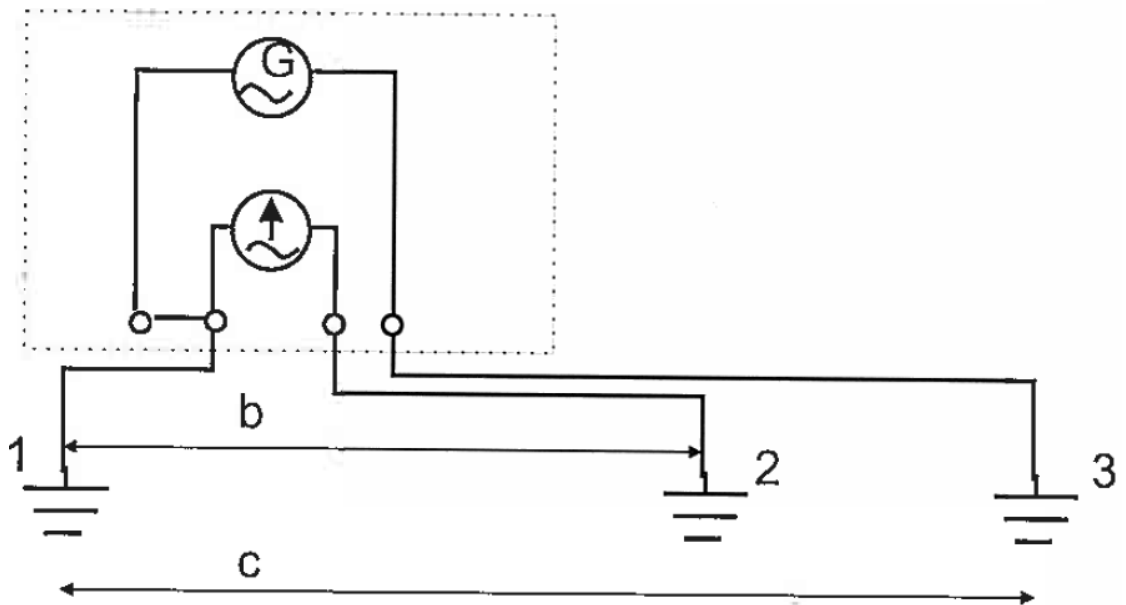
5.3 Maadoitusten mittaaminen

Maadoitusresistanssin mittaamiseen on olemassa useita mittausmenetelmiä. Tyypillisin tapa mitata maadoitusresistanssi on syöttää mitattavaan maadoitukseen virtaa ja mitata tämän jälkeen maadoituksen yli vaikuttava jännite (voltti-ampeerimenetelmä). Kaavan 10 avulla pystytään laskemaan maadoitusresistanssin arvo (Maadoituskirja 2007, 145). Maadoituselektrodin virran tiheys on suurimmillaan välittömästi elektrodin läheisyydessä. Maahan kulkeutuva virta aiheuttaa maadoituselektrodiin jännite-eroja, jotka ovat suurimmillaan elektrodin välittömässä läheisyydessä. (Maadoituskirja 2007, 146.)

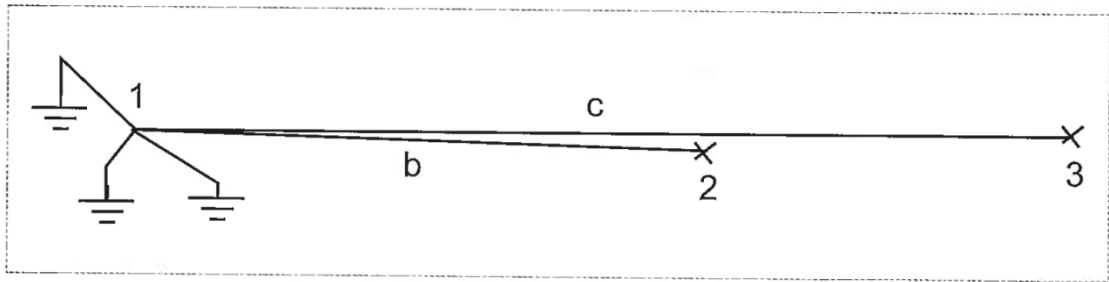
Käännepistemethodmällä voidaan mitata maadoituksen resistanssiarvoja. Maadoitusmittauksista saaduilla resistanssin arvoilla luodaan käyrä, josta voidaan nähdä eri mittauspisteiden arvot (kuvio 13). Mittauspisteiden resistanssin arvon tulisi kasvaa säännöllisesti mittauspisteen etäisyyden mukaan. Mittauskäyrän ollessa epäsäännöllinen, tulee mittaus suorittaa uudelleen toisesta suunnasta tai järjestelmän toisesta kohdasta (Maadoituskirja 2007, 147–149). Käännepistemethodmän mittauskytkentä on esitetty kuviossa 14. Käännepistemethodmällä suoritettavia maadoitusresistanssin mittauksissa tulee käyttää esimerkiksi 128Hz taajuutta. 50Hz kerrannaiset eivät sovellu mittaustaajuudeksi, koska verkkovirta ja yliaallot sotkevat mittaustulosta. (Verkkotietojärjestelmä TJ 1:05, 22.) Kuviossa 15 on esitetty oikeat mittausjohtimien suunnat.



Kuvio 13. Mittauskäyrä käännepistemethodella (Maadoituskirja 2007, 148)



Kuvio 14. 1) maadoituselektrodi 2) jänniteapuelektrodi 3) virta-apuelektrodi b) jännitteen mittausjohtimen pituus c) virran mittausjohtimen pituus (Maadoituskirja 2007, 148)



Kuvio 15. Mittausjohtimien suunnat käännepestemenetelmässä 1) maadoituselektrodi 2) jänniteapuelektrodi 3) virta-apuelektrodi b) jännitteen mittausjohtimen pituus c) virran mittausjohtimen pituus (Maadoituskirja 2007,148)

5.4 Laajaan maadoitukseen soveltuvat mittalaitteet

Maadoitusmittaukset tehdään pääsääntöisesti vaihtojännitteellä. Maan polarisoitumisen takia tasajännitteen käyttö mittauksissa ei onnistu. Mittaustaajuuden tulee olla jokin muu kuin 50Hz:n verkkotaajuuden kerrannainen. Mittausta suorittaessa 50Hz taajuudella voivat verkkotaajuuden häiriöt vaikuttaa mittaustulokseen. (Maadoituskirja 2007, 151.)

Maadoitusten testaukseen soveltuvat laitteet Chauvin-Arnoux in C.A 6412 ja C.A 6415 ja Kyoritsu malli 4200 eart clamp tester.

kuviossa 16 toimivat seuraavasti:

- Laitteet toimivat 2400Hz:n taajuudella.
- Mittauspihdillä voidaan syöttää myös mittaussignaali.
- Mittaus onnistuu kun maadoitukset muodostavat mittaussilmukan.
- Suuri taajuus eliminoi kaukana olevien maadoitusten häiriövaikutukset.
- Laitteilla pystytään todentamaan elektrodin yhteyden esimerkiksi maadoituskiskoon.
- Soveltuvat erinomaisesti vuotovirtojen mittaukseen, joka paljastaa samanaikaisesti suuret nollavirrat ja huonot PEN-johtimen liitokset. (Verkostosuositus TJ 1:05, 23.)



Kyoritsu 4200 Chauvin-Arnoux in C.A 6412

Kuvio 16. Jakeluverkon testauslaitteet (Verkostosuositus TJ 1:05, 23)

6 MAADOITUSTASOT VERKKOTIETOJÄRJESTELMÄSSÄ

6.1 Maadoitustasojen muodostuminen

Tekla NIS on verkkotietojärjestelmä, jolla tehdään OESJ:n sähköiset dokumentoinnit. Tässä opinnäytetyö projektissa on käytetty Tekla NIS:iä maadoitusryhmien dokumentointiin. Ohjelmaan on tehty oma suunnitelmatyyppi nimeltään ”Maadoitusverkko”, johon on tehty kolme erillistä suunnitelmaa:

- laaja maadoitusverkko
- erillismaadoitus
- maadoitusverkko.

Erillisillä maadoitustasoilla on tarkoituksena pitää suunnitelmat mahdollisimman selkeinä ja yksinkertaisina. Suunnitelmissa on näkyvillä vain muuntamot ja niitä mahdollisesti yhdistävät maadoitusjohtimet, jotka kulkevat keskijännitejohtojen mukana. Maadoitusjohtimet saatiin suunnitelmaan kopioimalla toisesta tasosta kaikki keskijännitteellä olevat maakaapelit ja tämän jälkeen muuttamalla kaapelin kaapelilajia maadoitusjohtimeksi. Laajan maadoitusalueen suunnitelma on tehty niin, että siitä on poistettu muuntajat ja maadoitusjohtimet, jotka kuuluvat erilliseen maadoitukseen. Suunnitelma on valmis kun laajan maadoituksen suunnitelmasta on poistettu erillismaadoitukseen kuuluvat ja vertailtu alkuperäistä suunnitelmaa. Erillismaadoituksien suunnitelma on tehty samalla tavalla kuin laajan maadoituksen suunnitelma, siitä on poistettu kaikki muuntajat ja johtimet, jotka kuuluvat laajaan maadoitukseen. Kun ylimääräiset muuntajat ja johtimet oli poistettu, piti jokainen muuntaja käydä läpi yksittäin ja tarkastaa, että muuntajan tiedoissa oli oikea maadoitusryhmä. Laajaan maadoitusryhmään kuuluviin muuntamoihin maadoitusryhmäksi tuli ”laaja maadoitus” (Kuvio 18) ja erillismaadoituksiin kuuluviin muuntamoihin ”2UTP” (kuvio 22).

6.2 Laaja maadoitusverkko

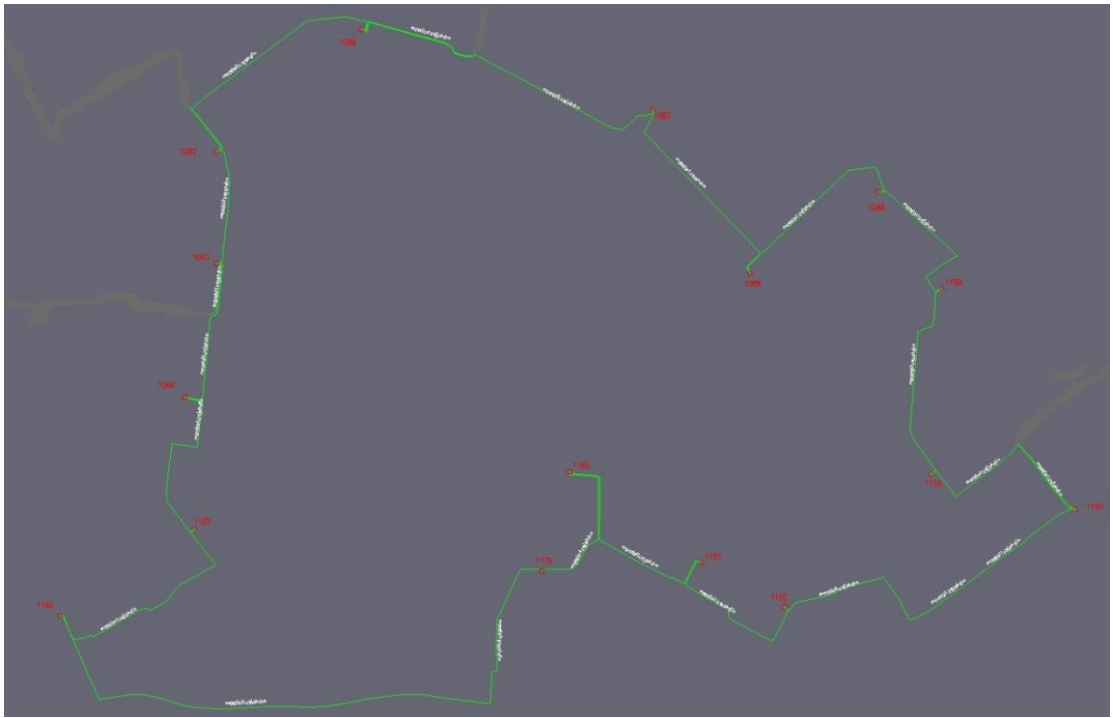
Kuviosta 17 pystytään näkemään verkkotietojärjestelmään jäävät maadoitusjohtimet ja muuntamot, kun siitä on poistettu erillismaadoituksiin kuuluvat muuntamot ja johtimet. Jäljelle jäävistä muuntamoista ja maadoitusjohtimista ei aina muodostu rengastopologian mukaista kytkentää, koska yhdistävät pienjännitejohtimet eivät ole näkyvillä. Laaja

maadoitusalue muodostuu helposti keskustan alueilla ja tiheillä asutusalueilla. Huonoiten laajan maadoituksen vaatimukset täyttyvät haja-asutetuilla alueilla.



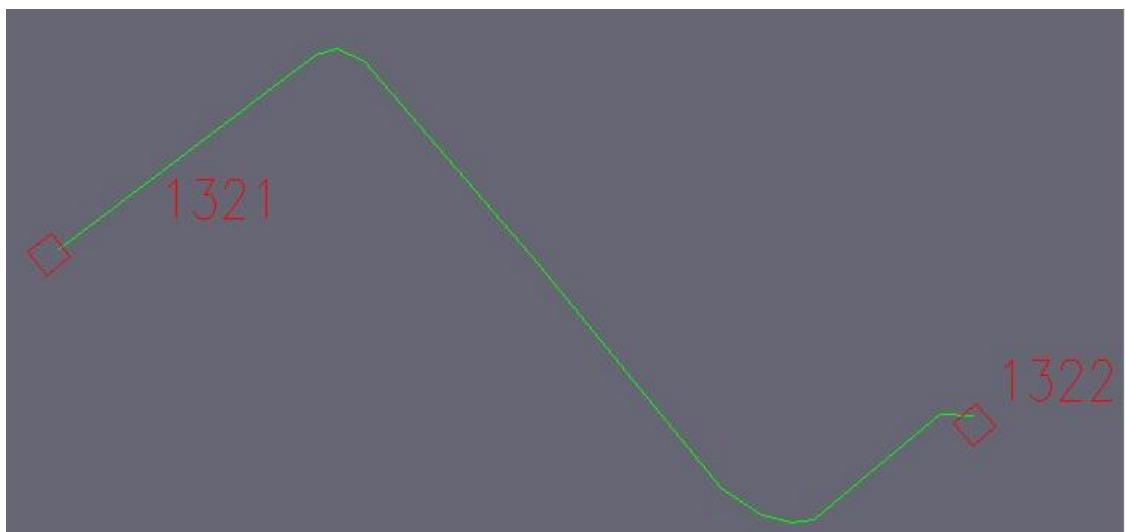
Kuvio 17. Laajan maadoituksen maadoitustaso Tekla NIS - verkkotietojärjestelmässä

Kuviossa 18 ilmenee tyypillinen rengastopologian mukainen kytkentä, joka muodostuu jo pelkästään keskijännitejohtimista. Kuvion 18 mukainen laajan maadoituksen alue sijoittuu tiheään asutusalueeseen, jossa muodostuu helposti rengasmaisen kytkentä, joka täyttää laajalle maadoitukselle asetetut vaatimukset.



Kuvio 18. Tyypillinen rengaskytkentä laajan maadoitusverkon alueella

Kuviossa 19 on esimerkkikuva tilanteesta, jossa verkkotietojärjestelmässä laajaan maadoitusryhmään kuuluvat muuntamot eivät keskijännitejohtimilla täytä rengasmaista kytkentää. Laajan maadoitusverkon vaatimukset täyttyvät, kun pienjänniteverkon maadoitusjohtimet yhdistävät muuntajat 1321 ja 1322 laajaan maadoitusverkkoon.



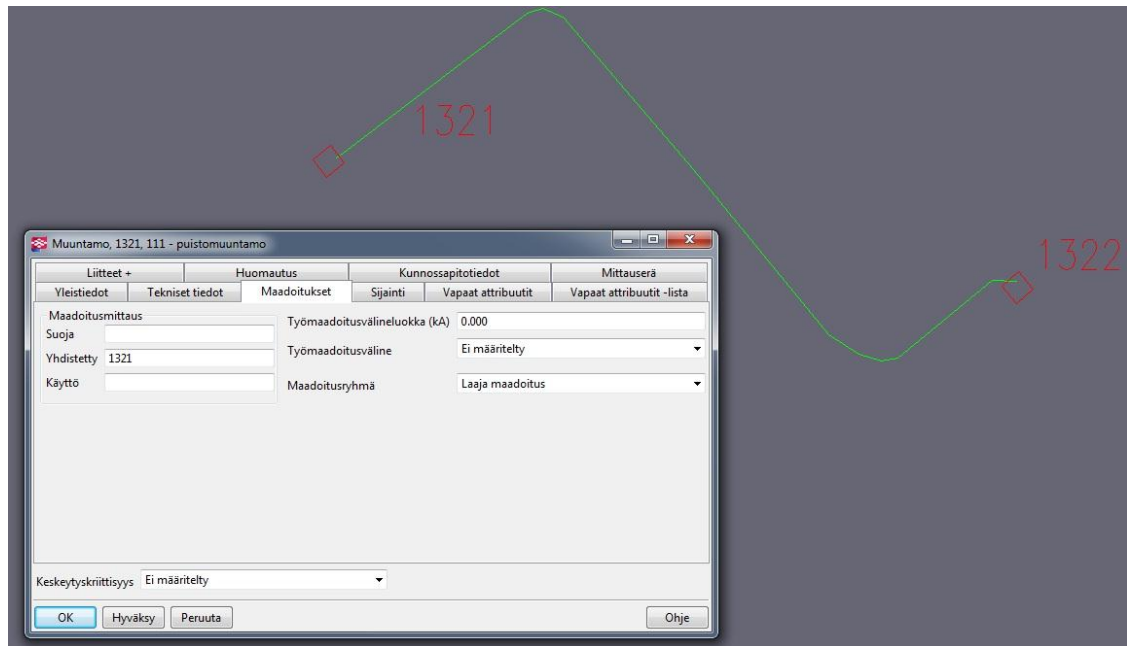
Kuvio 19. Esimerkkikytkentä laajan maadoitusverkon alueella

Kuviossa 20 nähdään, kuinka muuntajat 1321 ja 1322 yhdistyvät laajaan maadoitukseen keski- sekä pienjänniteverkon maadoitusten avulla. Suurin osa yhdistävistä johtimista on kuitenkin pienjänniteverkossa olevien maadoitusten ansiota.



Kuvio 20. Esimerkkikuva muuntajien 1321 ja 1322 yhdistämisestä

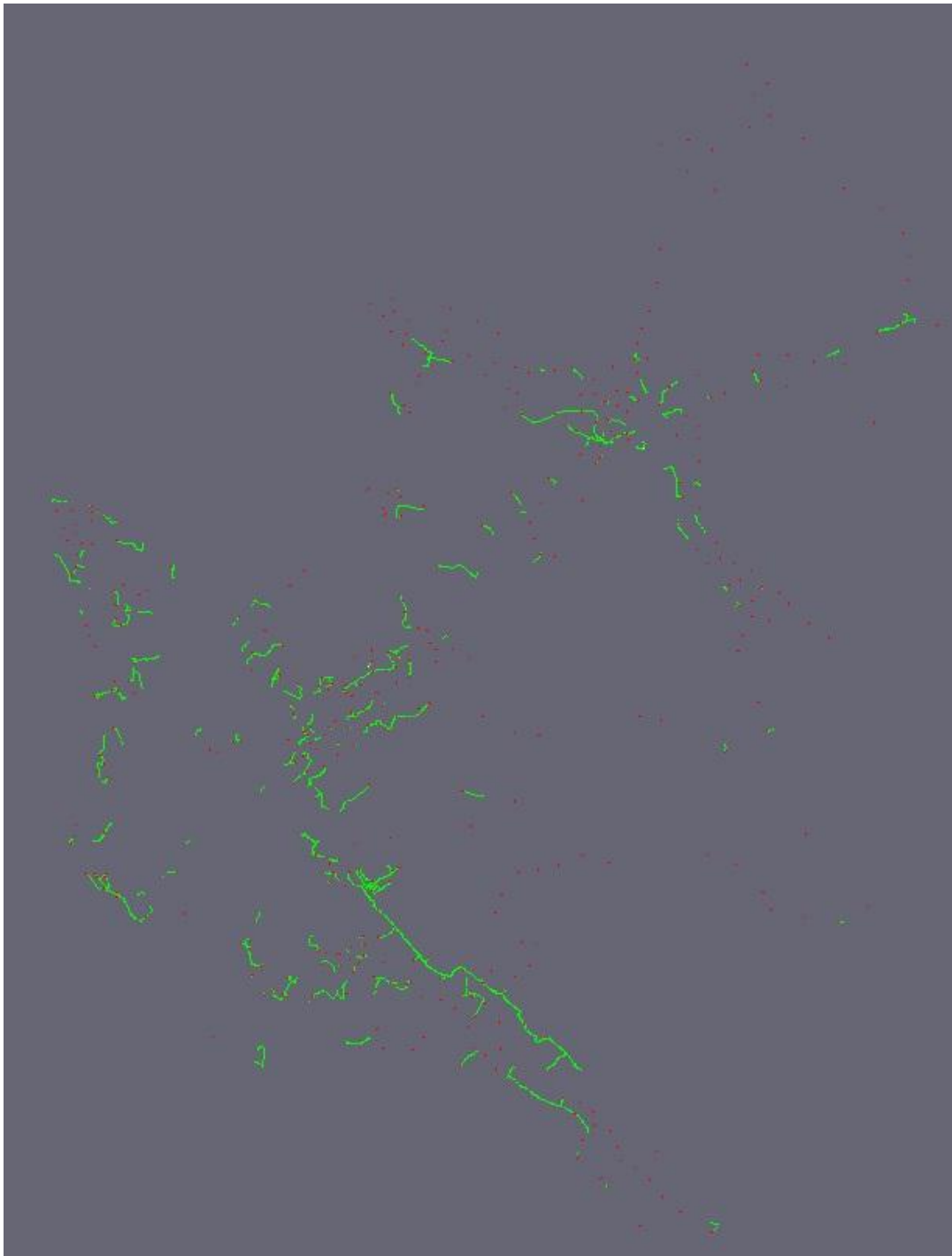
Kun muuntamoiden maadoitustyytit olivat selvänä ja ryhmään kuulumattomat muuntamot oli poistettu suunnitelmasta, tuli jokainen muuntamo käydä läpi yksittäin ja vaihtaa maadoitusryhmä kuvion 21 mukaisesti. Esimerkkikuvan muuntamot kuuluvat laajaan maadoitusryhmään.



Kuvio 21. Esimerkkikuva maadoitusryhmän määrittämisestä

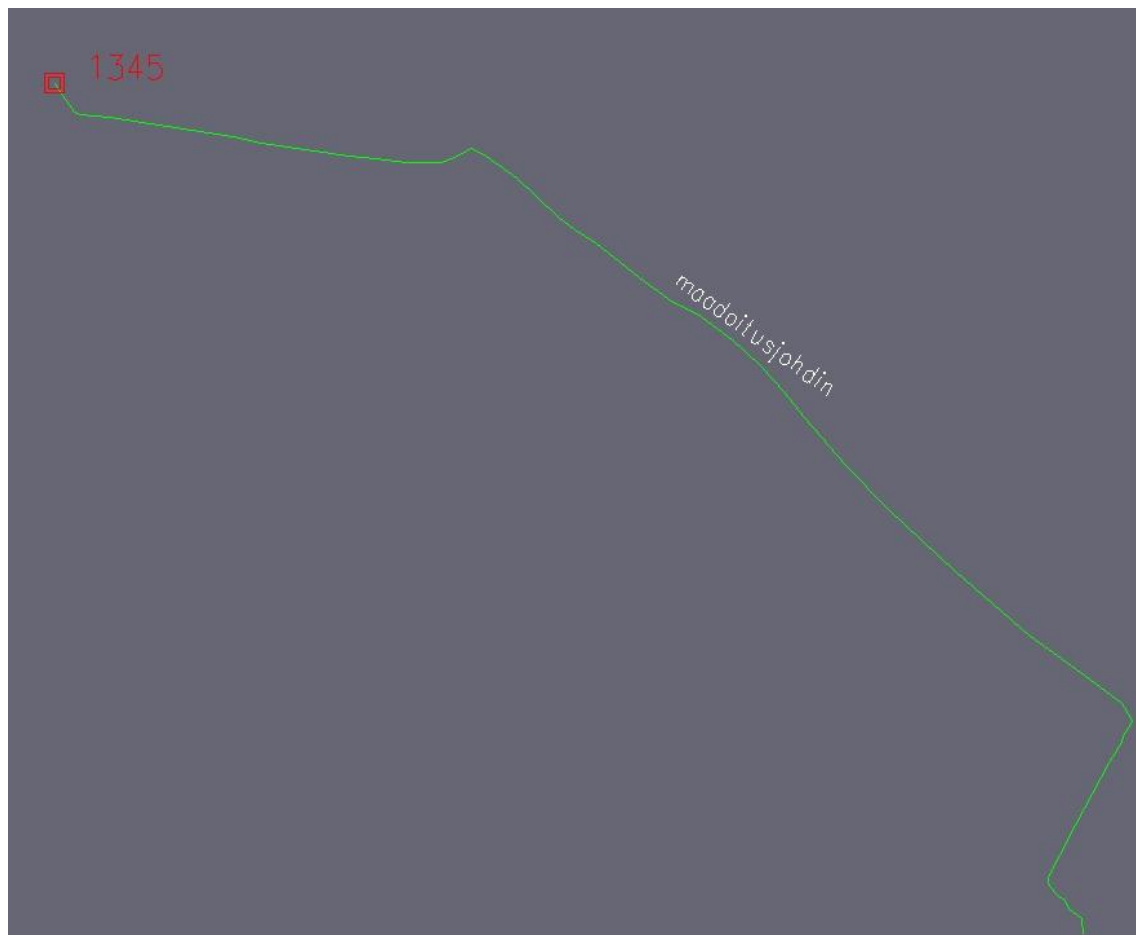
6.3 Erilliset maadoitusverkot

Erillismaadoitusten taso on tehty yksinkertaisuudessaan niin, että on vertailtu kahta suunnitelmaa, missä toisessa on kaikki muuntajat ja toisessa vain laaja maadoitus. Tämän jälkeen suunnitelmasta on poistettu laajaan maadoitukseen kuuluvat muuntamot ja johtimet. Jäljelle jäävät muuntamot ja johtimet kuuluvat erillismaadoitukseen. Kuvioista 22 pystytään havaitsemaan millä alueella ja kuinka paljon muuntamoista on pylväs- ja puistomuuntamoita. Tyypillisesti erillismaadoitukset ovat alueilla, joissa on paljon pylväsmuuntamoita tai yksittäisiä johtohaaroja. Keskustan ja tiheään asutuilla aluilla ei erillismaadoituksia juurikaan ole, ellei asuinalue ole uusi tai rakentaminen on jäänyt kesken ja näin ollen ei täytä laajan maadoituksen vaatimuksia.



Kuvio 22. Erillismaadoituksen maadoitustaso Tekla NIS-verkkotietojärjestelmässä

Kuviossa 23 on tyypillinen muuntamo, joka kuuluu erillismaadoitukseen, koska se ei pysty täyttämään laajan maadoituksen vaatimuksia. Tällaiset ovat tyypillisiä haja-asutusalueilla ja syöttöjohtojen päässä.



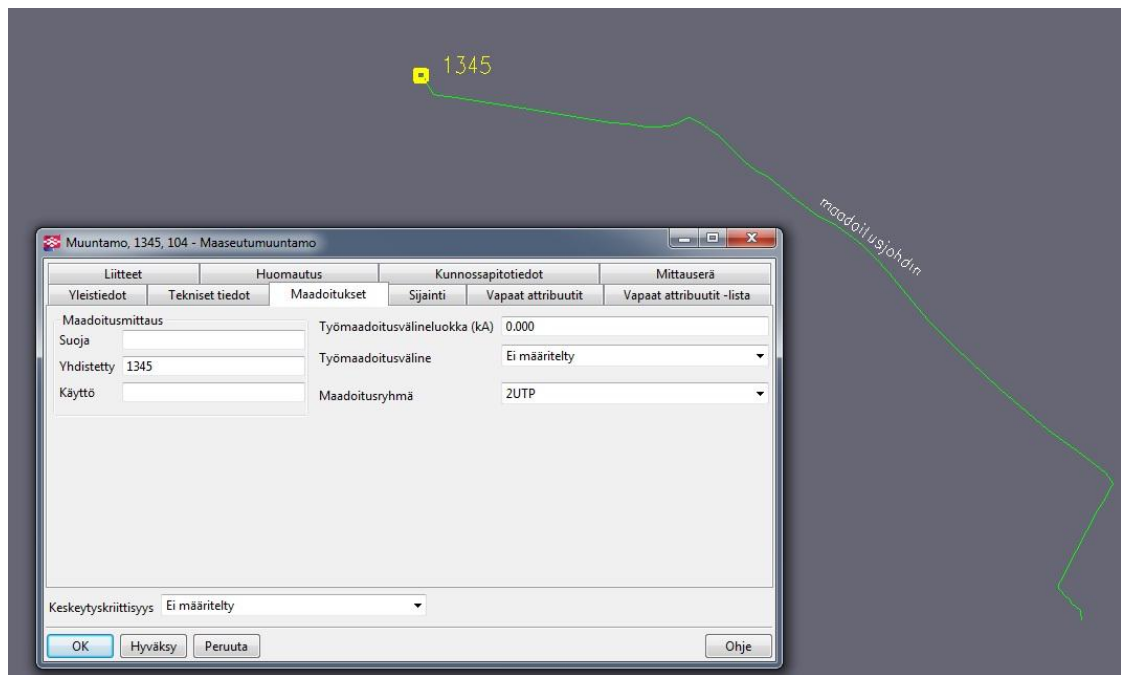
Kuvio 23. Esimerkki tyypillisestä erillismaadoitukseen kuuluvasta muuntamosta

Kuviossa 24 on toinen esimerkki erillismaadoitukseen kuuluvista muuntamoista. Muuntamoita on kolme ja kaikilla muuntamoilla on kaksi maadoitusjohdinta, mutta muuntopiiri ei muodosta rengasmaista kytkentää. Näin ollen muuntopiiri ei täytä laajan maadoituksen vaatimuksia ja kuuluvat näin ollen erillismaadoitukseen.



Kuvio 24. Esimerkki erillismaadoitukseen kuuluvista muuntamoista

Verkkotietojärjestelmän erillismaadoitustasosta nähdään suoraan muuntamoiden fyysiset sijainnit kartalla. Tarvittaessa muuntamon maadoitusmittauksien tuloksia voidaan tarkastella ja lisätä Tekla NIS -verkkotietojärjestelmässä kuvion 25 mukaisesti. Kuvion muuntamo 1345 kuuluu erilliseen maadoitusryhmään. Erillismaadoitusten maadoitus-tyypin valinta ja maadoitusmittausten impedanssi tallennetaan taulukoiden lisäksi verkkotietojärjestelmään. Esimerkki kuviosta 25 nähdään, että muuntaja 1345 kuuluu erillismaadoitukseen ja sen maadoitusryhmä on ”2UTP”.



Kuvio 25. Esimerkkitilanne maadoitustyyppin valinnasta

7 MAADOITUSTEN DOKUMENTOINTI

Maadoitusryhmien ja mittaustulosten dokumentointiin on oma Excel- taulukko, jossa on kolme erillistä välilehteä. Dokumentointia on tarkoitus pitää yllä tulevaisuudessakin tämän taulukon avulla. Taulukon avulla on helppo esimerkiksi etsiä muuntamoita joiden kunnontarkastusmittaus tulee eteen seuraavana kesänä. Kun muuntamot on lajiteltu laajaan ja erillisiin maadoituksiin, helpottaa se kunnontarkastusta ja tuloksien dokumentointia sekä vertailua edelliseen mittaukseen. Tulevaisuuden näkökulmasta verkkotietojärjestelmä sekä Excel-tilukko palvelee myös suunnittelijoita. Suunnittelijat pystyvät näkemään mitkä muuntamot kuuluvat erilliseen maadoitukseen ja millaisilla kytkennöillä muuntajat saadaan laajaan maadoitusryhmään.

Ensimmäisellä välilehdellä on ”Laaja Maadoitus” (taulukko 5) jossa on lueteltu muuntajat, jotka kuuluvat kyseiseen maadoitusluokkaan. Toisella välilehdellä on ”Erillismaadoitus” (taulukko 6) jossa jäljellä olevat muuntajat eivät täytä laajan maadoituksen vaatimuksia ja näin ollen muuntamoita on mitattava 6-12 vuoden välein riippuen siitä onko muuntajalla yksi vai kaksi maadoitusjohdinta.

Kolmannella välilehdellä on ”mitattavat kohteet 2014” (taulukko 7) josta selviää erillismaadoituksessa mainittujen asioiden lisäksi pelkästään muuntajat, joiden mittaukset erääntyvät tulevana kesänä.

Taulukossa 5 on keltaisella pohjalla lueteltu muuntamot fyysisen sijainnin mukaan numerojärjestyksessä. Laajaan maadoitukseen kuuluvista muuntamoista on lisäksi lueteltu yritysten omat muuntamot oranssilla pohjalla ja OESJ:n omat muuntamot vihreällä pohjalla numerojärjestykseen.

Liitteen 1 ohje on tehty OESJ:n sisäiseen käyttöön, maadoitusryhmien määrittämiseen ja maadoitusmittauksista saatavien tuloksien dokumentointiin. Ohjeita pääsääntöisesti käyttävät dokumentoijat, suunnittelijat ja tarvittaessa koko henkilökunta. Ohjeissa on teoriapohjaista tietoa laajasta ja erillismaadoituksesta sekä kuvallisia esimerkkejä maadoitusryhmien tunnistamisesta ja maadoitusten dokumentoinnista.

Taulukko 5. Luettelo laajaan maadoitukseen kuuluvista muuntamoista

Yntys muuntamot			Muuntajan numero			Sijainti					
Y78		Alppila									
Y83		Alppila									
		55 Alppila									
		116 Alppila									
		218 Alppila									
		361 Alppila									
		504 Alppila									
		1168 Alppila									
		1218 Alppila									
		1243 Alppila									
		1266 Alppila									
		1342 Alppila									
Yntys muuntamot			Muuntajan numero			Sijainti					
		357 Haapalehto									
		467 Haapalehto									
		552 Haapalehto									
		729 Haapalehto									
		1319 Haapalehto									
		1321 Haapalehto									
		1322 Haapalehto									
Yntys muuntamot			Muuntajan numero			Sijainti					
Y139		Heinapää									
Y198		Heinapää									
Y20		Heinapää									
Y20		Heinapää									
Y21		Heinapää									
Y53		Heinapää									
		83 Heinapää									
		112 Heinapää									
		138 Heinapää									
		139 Heinapää									
		169 Heinapää									
		169 Heinapää									
		319 Heinapää									
		341 Heinapää									
		404 Heinapää									
		451 Heinapää									
		784 Heinapää									
		785 Heinapää									
		863 Heinapää									
		1107 Heinapää									
		1108 Heinapää									
		1113 Heinapää									
		1116 Heinapää									
Muuntajan numero			Sijainti			Muuntajan numero			Sijainti		
MT53		Kontinkangas				4		Keskusta II			
MT68		Ritaharju				11		Keskusta III			
Y100		Linnanmaa				12		Keskusta IV			
Y104		Koskela				24		Peltola			
Y105		Limingantulli				25		Karjasilta			
Y108		Nokela				31		Karjasilta			
Y11		Myllytulli				31		Tuira			
Y110		Nokela				32		Tuira			
Y111		Keskusta I				35		Raksila			
Y113		Kaukovainio				36		Nokela			
Y114		Limingantulli				42		Keskusta II			
Y115		Pikisaari				43		Keskusta IV			
Y116		Maikkula				44		Hietasaari			
Y117		Keskusta II				47		Myllytulli			
Y118		Keskusta I				53		Karjasilta			
Y119		Kajonharju				55		Alppila			
Y119		Linnanmaa				57		Kajonharju			
Y120		Höyhtyä				57		Kuvasjärvi			
Y121		Keskusta III				67		Karjasilta			
Y122		Karjasilta				68		Keskusta II			
Y123		Pikisaari				68		Myllytulli			
Y126		Ruskonselkä				68		Raksila			
Y127		Ruskonselkä				69		Valvainio			
Y128		Vartiö				70		Tuira			
Y131		Pikisaari				71		Oulunsuu			
Y136		Jaali				72		Tuira			
Y137		Pikisaari				73		Raksila			
Y139		Heinapää				77		Valvainio			
Y140		Myllytulli				78		Myllyoja			
Y142		Höyhtyä				82		Tuira			
Y144		Ruskonselkä				83		Heinapää			
Y145		Rajakylä				86		Nokela			
Y146		Limingantulli				87		Oulunsuu			
Y147		Takalaanila				88		Kontinkangas			
Y148		Kontinkangas				89		Intio			
Y15		Intio				90		Parkisen kangas			
Y152		Kontinkangas				91		Takalaanila			
Y153		Keskusta I				95		Takalaanila			
Y153		Keskusta III				98		Valkylä			
Y154		Kontinkangas				104		Höyhtyä			
Y155		Linnanmaa				107		Hintta			
Y156		Kontinkangas				110		Valvainio			
Y157		Limingantulli				112		Heinapää			
Y159		Rajakylä				115		Myllyoja			
Y16		Keskusta III				116		Alppila			
Y160		Linnanmaa				118		Tuira			
Y165		Rajakylä				119		Höyhtyä			

Taulukossa 6 on luettelo erillismaadoitusten välilehdestä, jossa on lueteltu

- muuntajan numero
- sijainti
- mittauspaikka
- mittauspäivä
- mittautulos
- mittausväli
- seuraava mittaus.

”Mittauspiste puuttuu”- ja ”mittausväli” -kohdissa on käytetty ”x” -kirjainta jos esimerkiksi muuntajalta puuttuu mittauspiste Tekla NIS- verkkojärjestelmästä tai mittauspiste on yhden tai kahden maadoitusjohtimen varassa.

Taulukon 7 alalaidasta voidaan nähdä Excel taulukkojen välilehdet joita on kolme kappaletta. Punaisella merkityt maadoitusmittauksien kohteet ovat jääneet mittaamatta määraikaan mennessä.

Taulukko 6. Luettelo erillismaadoituksista

Erillismaadoitus								
Muuntaja numero	Sijainti	Mittauspaikka	Mittauspäivä	Mittaustulos	mittauspiste puuttuu	mittausväli 6v	mittausväli 12v	seuraava mittaus
1	Oulu		1.6.2002	1Ω			x	1.6.2014
2	Kiiminki		2.6.2002	1Ω			x	2.6.2014
3	Yli-ii		3.6.2006	1Ω		x		3.6.2012
4	Oulu		4.6.2002	1Ω			x	4.6.2014
5	Oulu		5.6.2002	1Ω			x	5.6.2014
6	Oulu		6.6.2002	1Ω			x	6.6.2014
7	Oulu		7.6.2006	1Ω		x		7.6.2012
8	Oulu		8.6.2002	1Ω			x	8.6.2014
9	Oulu		9.6.2000	1Ω			x	9.6.2012

Taulukko 7. Mitattavat kohteet 2014

Mitattavat kohteet 2014								
Muuntaja numero	Sijainti	Mittauspaikka	Mittauspäivä	Mittaustulos	mittauspiste puuttuu	mittausväli 6v	mittausväli 12v	seuraava mittaus
1	Oulu		1.6.2002	1Ω			x	1.6.2014
2	Kiiminki		2.6.2002	1Ω			x	2.6.2014
3	Yli-ii		3.6.2006	1Ω		x		3.6.2012
4	Oulu		4.6.2002	1Ω			x	4.6.2014
5	Oulu		5.6.2002	1Ω			x	5.6.2014
6	Oulu		6.6.2002	1Ω			x	6.6.2014
7	Oulu		7.6.2006	1Ω		x		7.6.2012
8	Oulu		8.6.2002	1Ω			x	8.6.2014
9	Oulu		9.6.2000	1Ω			x	9.6.2012

8 POHDINTA

Maadoitusten nykytilan kartoitus ja dokumentointi oli hyvin tarpeellinen ja ajankohdainen aihe, jotta saadaan yhdenmukainen määritelmä laajalle maadoitukselle ja erillismaadoitukselle. Nykytilaa kartoittaessa saadaan selvitettyä muuntajat, joiden mittaukset eivät ole ajan tasalla, mitattavat arvot ovat sallittua suuremmat tai mittauksia ei ole suoritettu ollenkaan. Verkkotietojärjestelmään tehdyt eri maadoitustasot helpottavat nykytilanteen ylläpitämistä sekä erillismaadoituksiin kuuluvien maadoituspiirien lisäämistä laajaan maadoitukseen vaatimusten täytyttyä.

Opinnäytetyön aikana saatu tietämys laajasta maadoituksesta ja erillismaadoituksesta täydensi jo aikaisemmin saatua käytännönkokemusta maadoituksista. Työn aikana opittu auttoi laajan maadoituksen ja erillismaadoitusten kartoituksessa.

Maadoitusryhmien dokumentointi ja mitattavien muuntamoiden listauksessa auttoi aikaisempi kokemus maadoitusmittauksista. Pystyin katsomaan asioita maadoitusmittaajan näkökulmasta ja lisäämään dokumentteihin ne tiedot joita maadoitusmittaaja tarvitsee työssään.

OESJ:n on syytä pyrkiä rakentamaan laajaa maadoitusverkkoa lisäämällä erillisiä muuntamoita yhdistäviä maadoituselektrodeja kj- ja pj- kaapeloinnin mukana. OESJ:n tarkoituksena on tulevaisuudessa jatkaa muuntamoiden dokumentointia verkkotietojärjestelmään ja maadoitusluetteloihin. Opinnäytetyön tuotoksia käytetään tulevaisuudessa dokumentoijien, suunnittelijoiden, maadoitusmittaajien sekä tarvittaessa koko henkilökunnan apuna. Työssä saadut tuotokset saavuttivat sille asetetut tavoitteet ja työ valmistui aikataulussa.

LÄHTEET

- ABB, 2000- 07. Teknisiä tietoja ja taulukoita, Vaasa.
- D1-käsikirja 2012. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: STUL.
- Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa, 2011a. Sähköverkot I. Helsinki: Otatiето.
- Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa, 2011b. Sähköverkot II. Helsinki: Otatiето.
- Elovaara, Jarmo & Laiho, Yrjö, 1988. Sähkölaitostekniikan perusteet. Helsinki: Otatiето.
- Huotari, Kari & Partanen, Jarmo, 1998. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. Lappeenranta: Opetusmoniste 3.
- Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo, 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatiето.
- Lappeenrannan yliopiston www-sivut 2014. Hakupäivä 15.1.2014.
<<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojako/bl20a0700/luennot/vikavirrat.pdf>>
- Maadoituskirja. 2007. Espoo: STUL.
- Mörsky, Jorma & Mörsky, Janne. 1994. Voimalaitosten yhteiskäytön tekniikka. Helsinki: Otatiето.
- Oulun Energia Oy 2014. Oulun energian organisaatio. Sisäinen Intranet. Hakupäivä 12.2.2014.
- Oulun Energia Oy www-sivut 2014. Hakupäivä 15.2.2014.
<<https://www.ouluenergia.fi/>>
- Satakunnan ammattikorkeakoulun www-sivut 2014. Hakupäivä 14.1.2014.
<<http://salabra.tp.samk.fi/er/siirto/maasul.doc>>
- SFS-käsikirja 600-1, 2012, Pienjännitesähköasennukset. Helsinki: SFS.
- Verkostosuositus RJ 19:06, 2005. Pylväserotinasemien ja muuntopiirien maadoitukset standardin SFS 6001 mukaan. Helsinki: Energiateollisuus. Hakupäivä 15.1.2014.
<<http://www.sahkoverkkoekstra.fi/>>
- Verkostosuositus RM 5:03, 2003. Pylväsmuuntamon maadoitusjohtimet, ylijännitesuojaus ja eläinsuojaus. Helsinki: Energiateollisuus. Hakupäivä 16.1.2014.
<<http://www.sahkoverkkoekstra.fi/>>
- Verkostosuositus SA 2:08, 2008. Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen. Helsinki: Energiateollisuus. Hakupäivä 15.1.2014.
<<http://www.sahkoverkkoekstra.fi/>>
- Verkostosuositus TJ 1:05, 2005. Sähkönjakeluverkkojen maadoitusmittaukset. Helsinki: Energiateollisuus. Hakupäivä 15.1.2014. <<http://www.sahkoverkkoekstra.fi/>>

LIITTEET

Liite 1. Ohje maadoitusryhmien määrittämiseen

Ohje maadoitusryhmien määrittämiseen



OULUN ENERGIA
SIIRTO JA JAKELU OY

LAAJA MAADOITUS

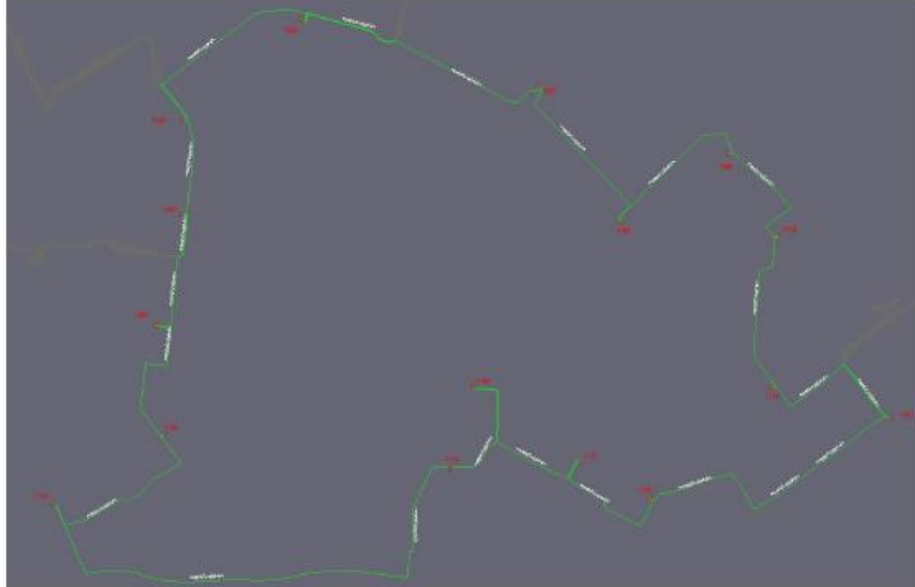
Laajan maadoitusjärjestelmän voi muodostaa kolmen muuntopiirin maadoitusten yhdistämisellä, jos maadoitusverkko muodostaa verkkomaisen ja tarpeeksi tiheän maadoitusalueen. Jokainen muuntamo tulee liittää usealla yhteydellä (2-3) laajaan maadoitusjärjestelmään. Muuntamoilla tulee olla vähintään kaksi maadoitusyhteyttä, jotka muodostuvat lähimuuntamoista. Laaja maadoitus muodostuu näin ollen hyvin taajamissa ja teollisuusalueilla useiden muuntajien ollessa lähellä toisiaan. Pienjänniteverkon useat yhteydet takaavat myös jatkuvan yhteyden laajaan maadoitukseen ja säilyttävät verkkomaisen rakenteen vaikka yksi maadoitusjohdin katkeaisi (Verkostusuositus TJ 1:05, 9).

Laajan maadoitusjärjestelmän yhdistysjohtimina toimivat:

- Suurjännitekaapeleiden vaipat ja keskusköydet.
- Pienjänniteverkon PEN – johtimet sekä maakaapeleissa että ilmajohdoissa.
- Erilliset muuntamoita yhdistävät maadoitusjohtimet ja elektrodit.
- Tarvittaessa voidaan muuntamoiden maadoituksia yhdistää myös keskijänniteilmajohdonpylväisiin rakennetuilla maadoitusjohtimilla (Verkostusuositus RJ 19:06,21).

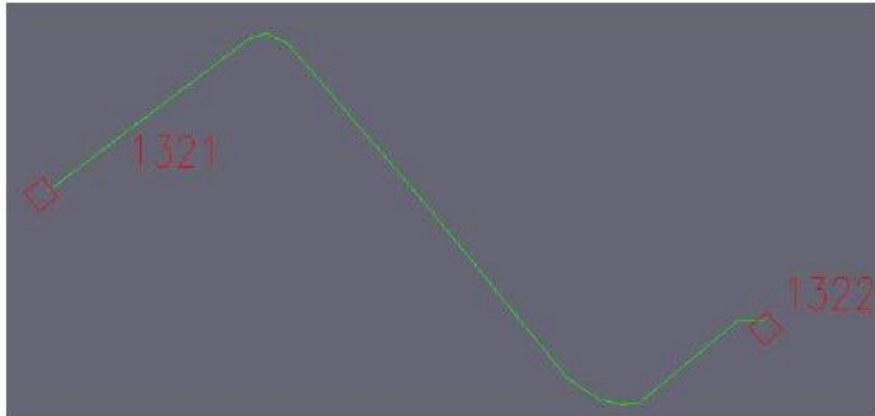
Lisättäessä muuntajaa laajaan maadoitusjärjestelmään tulee muuntaja lisätä verkkotietojärjestelmään ja muutettava muuntajan tietoihin maadoitustyyppiä ”Laaja maadoitus”.

Kuviossa 1 on havainnollistettu tyypillinen maadoitusalue jossa laajan maadoituksen vaatimukset täyttyvät jo pelkästään kj- johtimien mukana kulkevien maadoitusjohtimien avulla. Kuvion esimerkialueella olevilla johtimilla jokaiselle muuntamolle tulee kaksi maadoitusjohdinta ja alue muodostaa rengasmaisen kytkennän.



Kuvio 1. Tyypillinen laajan maadoituksen alue.

Muuntamoiden maadoitustyyppiä määrittäessä tulee olla tarkkana myös Kuvion 2 vastaavissa tilanteissa joissa kj- johtimet eivät yhdistä muuntamoita laajaan maadoitukseen, mutta pj- johtimien mukana kulkeva PEN-johdin yhdistää.



Kuvio 2. Tyypillinen laajan maadoituksen alue2.

Kuviossa 3 on korostettu muuntamoiden 1321 ja 1322 laajaan maadoitukseen yhdistävät kj- ja pj- johtimet jotka eivät näy jos pj-verkko- taso ei ole käytössä.



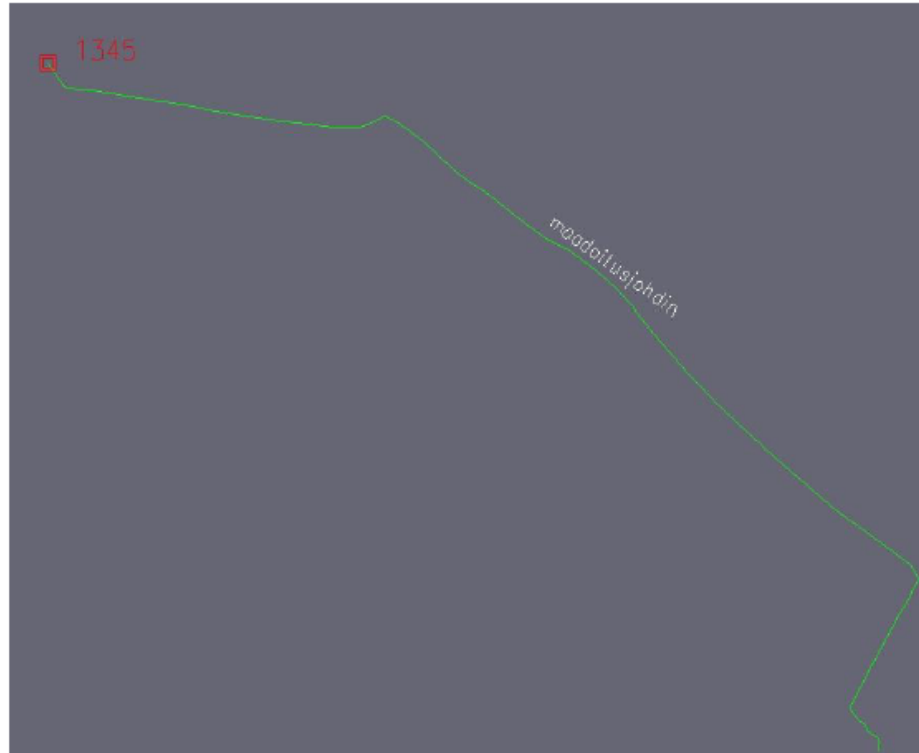
Kuvio 3. Muuntajien 1321 ja 1322 yhdistävät johtimet laajaan maadoitukseen.

ERILLISMAADOITUS

Jos uusi muuntaja ei täytä laajalle maadoitukselle annettua vaatimusta, tulee se lisätä erillismaadoituksiin verkkotietojärjestelmässä. Jos maadoitus on tehty yhdellä maadoitusjohtimella, tulee kuntotarkastukseen liittyvät mittaukset suorittaa 6 vuoden välein. Maadoituksen ollessa kahdella maadoitusjohtimella tulee mittaus suorittaa 12 vuoden välein (Verkostosuositus TJ 1:05, 19). Maadoitusjohtimia laskettaessa tulee ottaa huomioon, että verkkotietojärjestelmässä on näkyvillä myös pj-verkko.

Lisättäessä muuntajaa erillismaadoituksiin tulee muuntajan tietoihin muuttaa maadoitustyyppiä "2UTP".

Uusia muuntamoita lisättäessä verkkotietojärjestelmään, tulee sama tieto lisätä myös "Muuntajien maadoitustyyppit" – Excel tiedostoon. Jos uusi muuntaja vaikuttaa maadoituspiiriin niin, että tämän jälkeen täyttää laajalle maadoitukselle asetetut vaatimukset, tulee muuntajat lisätä verkkotietojärjestelmän laajaan maadoitukseen ja tehdä muutokset Excel taulukkoon.



Kuvio 4. Tyypillinen erillismaadoitukseen kuuluva muuntamo.

Kuviossa 4 on tyypillinen esimerkki erillismaadoitukseen kuuluvan muuntamon maadoituksen kytkennästä. Muuntamo kuuluu erillismaadoitukseen koska sitä ei ole yhdistetty kahdella maadoitusjohtimella muuntopiiriin joka kuuluu laajaan maadoitukseen. Tässä tapauksessa pj-johtimillakaan ei ole yhdistetty muuntamoa laajaan maadoitukseen. Esimerkkitapaus siis kuuluu erilliseen maadoitusjärjestelmään joka on kytketty useammalla kuin kahdella maadoitusjohtimella. Yksi maadoitusjohtimista on kj- johdin ja loput ovat pj- johtimia. Koska muuntamo on maadoitettu vähintään 2 johtimella, on tämän muuntajan maadoitusmittausten mittaussväli 12v.

Esimerkki Kuviossa 5 olevat muuntamot on kytketty peräkkäin kahdella maadoitusjohtimella. Tämä ei kuitenkaan riitä laajan maadoituksen vaatimuksiin. Jos kuvion 4 muuntajat 1017 ja 1117 olisi kytketty päistä yhteen, olisi laajan maadoituksen vaatimukset täyttyneet.



Kuvio 5. Esimerkki erillismaadoituksesta.