

Teemu Kotiranta

LAAJAN MAADOITUSJÄRJESTELMÄN
TOTEAMINEN JA MITTAAMINEN

Sähkötekniikan koulutusohjelma
2019

LAAJAN MAADOITUSJÄRJESTELMÄN TOTEAMINEN JA MITTAAMINEN

Kotiranta, Teemu
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Syyskuu 2019
Sivumäärä: 45
Liitteitä: 2

Asiasanat: Maadoitus, Laaja maadoitusjärjestelmä, Potentiaalintasaus, Maadoitus-
elektrodi

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää laajan maadoitusjärjestelmän vaatimien standardien ja muiden määräysten toteutumiseen vaaditut ominaisuudet. Työn tilaajana oli Yara Suomi Oy:n Uudenkaupungin tehtaat.

Työssä tutustuttiin maadoittamisen yleisperiaatteisiin sekä niiden mittaamiseen. Työssä käsiteltiin myös osittain maadoitusten esiintymistä räjähdysvaarallisissa tiloissa. Työtä varten kerättiin materiaalia voimassa olevista standardeista sekä maadoituksia koskevasta kirjallisuudesta. Työn pohjalta arvioitiin tämänhetkisten maadoitusten toteutumista sekä niiden kehityskohteita.

Aineistoa tutkimalla huomattiin, että tämänhetkinen järjestelmä ei ole laajan maadoitusjärjestelmän tasolla. Puutteita huomattiin muun muassa olemassa olevissa maadoituskäytännöissä sekä tämän hetkessä maadoitusjärjestelmässä. Maadoitusjärjestelmästä puuttuu laajan maadoitusjärjestelmän vaatima verkkomainen rakenne sekä asianmukaisesti suoritettujen maadoitusten eheysmittaukset.

Olemassa olevaa maadoitusjärjestelmää kehittämällä voidaan saavuttaa tulevaisuudessa huomattavia taloudellisia säästöjä sekä myös turvallisuuteen liittyviä parannuksia. Laajan maadoitusjärjestelmän avulla voidaan muun muassa suojautua paremmin mahdollisilta maasulkutilanteen aikana syntyviltä ylijännitteiltä.

GLOBAL EARTHING SYSTEM: VERIFICATION AND MEASUREMENT

Kotiranta, Teemu

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

September 2019

Number of pages: 45

Appendices: 2

Keywords: Grounding, Global earthing system, Main equipotential bonding, Earth conductor

The purpose of this thesis was to find out the global earthing system requirements by inspect available standards and other regulations required by the global earthing system. The thesis was ordered by Yara Finland Ltd. Uusikaupunki.

At the thesis the general principles of grounding and measuring them were familiarized. Also partially grounding appear in explosively hazardous area was discussed at the thesis. The material for the thesis was collected from existing standards and grounding literature. The present grounding realization and their improvement points were evaluated based on this thesis.

When analyzing the material, it was found that the present system is not at the level that is required by the global earthing system. A few weaknesses were noticed on existing earthing diagram and present earthing system. The present earthing system lacks the gridded structure of the global earthing system and the integrity measurements.

By improving the existing grounding system, the company can achieve significant financial savings. By developing the existing grounding system also security improvements can be achieved. The global earthing system can provide better protection against possible ground contacts in overvoltage situations.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TYÖN TOIMEKSIANTAJA	7
2.1	Yara International ASA	7
2.2	Yara Suomi Oy	7
2.3	Yara Uusikaupunki	8
3	MAADOITTAMINEN.....	9
3.1	Maadoittamisen termit ja määritelmät	9
3.2	Maadoittamisen tarkoitus ja suunnittelu	10
3.3	Maadoitusten mitoittaminen	11
3.3.1	Pienjännitejärjestelmät	11
3.3.2	Suurjännitejärjestelmät	12
3.4	Pääpotentiaalintasaus	12
3.5	Maadoitusten merkinnät ja dokumentointi	16
4	RÄJÄHDYSVAARALLISTEN TILOJEN MAADOITTAMINEN JA SÄHKÖLAITESUUNNITTELU	17
4.1	Räjähdyksivaarallinen tila.....	17
4.2	Laitteiden valitseminen ja asentaminen	19
4.3	Räjähdyksivaarallisen tilan potentiaalintasaus.....	19
5	LAAJA MAADOITUSJÄRJESTELMÄ	21
5.1	Laajan maadoitusjärjestelmän määrittely	21
5.2	Laajan maadoitusjärjestelmän todentamisen vaihtoehdot	22
5.3	Esimerkkejä laajasta maadoitusjärjestelmästä	23
5.4	Laajan maadoitusjärjestelmän hyödyt ja haitat	25
6	YLEISTÄ MAADOITUSTEN MITTAAMISESTA	27
6.1	Maaperän resistiivisyyden mittaaminen	28
7	MAADOITUSTEN MITTAUSTAVAT	31
7.1	Käännepistemenetelmä	32
7.2	Mittaus voltti-ampeerimenetelmä	33
7.3	Mittausmenetelmien vertailu	36
8	MITTAUSMENETELMÄN VALINTA	38
8.1	Mittalaitteet	39
9	LAAJAN MAADOITUSVERKON JATKUVUUSMITTAUKSIEN SUORITTAMINEN	40
9.1	Mittausmenetelmä.....	40
10	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	43

LÄHTEET.....	45
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää maadoittamisen yleisperiaatteet sekä selvittää, mitä voimassa olevat standardit vaativat laajan maadoitusjärjestelmän todistamiseksi.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään maadoittamiseen liittyviä aiheita, joita tarvitsee ottaa huomioon jo rakennusten suunnitteluvaiheessa. Eräs tärkeimmistä osa-alueista on maadoituselektrodin mitoittaminen rakennuksen ympärille sillä tavoin, että se kestää sen koko elinkaaren ajan mahdollisilta mekaanisilta kuormituksilta. Tämän lisäksi opinnäytetyössä tullaan ottamaan kantaa potentiaalintasauksen tärkeyteen teollisuusympäristössä.

Fyysisten maadoitusten lisäksi opinnäytetyössä perehdytään syvällisemmin maadoitusmittausten suorittamiseen sekä oikean mittausmenetelmän valitsemiseen teollisuusympäristössä. Yleisempiä mittausmenetelmiä, joita opinnäytetyössä tullaan käsittelemään ovat voltti-ampeeri- ja käännepistemenetelmä.

Tämän opinnäytetyön materiaali on koostettu pääasiassa voimassa olevista Suomen standardisoimisliiton julkaisemista SFS-standardeista. Standardien luoman näkökulman avulla sähköasennukset pystytään tekemään noudattamalla yleisiä sovittuja toimintatapoja, jolloin asennuksista ei aiheudu vikatilanteessa vaaraa ihmisille eikä eläimille.

2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

2.1 Yara International ASA

Yara international ASA tuottaa maanviljelijöille ja valtioille monipuolisia ratkaisuja ruuantuotantoon ja teollisuuteen. Tämän lisäksi yhtiö pitää ympäristön suojelemista tärkeänä kohteena. Yara pyrkii vastaamaan globaaleihin ongelmiin tuottamalla tehokkaita kivennäislannoitteita, teollisuuskemikaaleja ja ympäristönsuojelutuotteita. Yhtiö on alunperin perustettu vuonna 1905 nimellä Norsk Hydro, jonka pääkonttori sijaitsee Oslossa. Yhtiön perustamisen aikoihin sen tarkoituksena oli vähentää Euroopassa vallinnutta nälänhätää. Nykyään Yaralla on toimipaikkoja yli 60 eri maassa ja se työllistää kaiken kaikkiaan yli 16 000 työntekijää. (Yara Suomi Oy:n www-sivut 2019)

2.2 Yara Suomi Oy

Yara Suomen historia kantautuu aikaan, jolloin Suomi oli vasta itsenäistymässä. Suomen kansa näki nälkää, koska viljelty maaperä oli erityisen köyhää ja se ei tuottanut kunnan satoa. Tämän johdosta Suomeen perustettiin tehdas valmistamaan väkilannoitteita, joiden avulla parannettaisiin viljelijöiden satojen määrää. Tästä tilanteesta Yara on laajentanut toimintaansa ympäri maapalloa ja kokenut tämän ajanjakson aikana muutaman nimenvaihdon, mutta toimintaperiaate on pysynyt koko ajan samana. (Yara Suomi Oy:n www-sivut 2019)

Nykyään Yaralla on Suomessa kolme tuotantolaitosta, jotka sijaitsevat Uudessakaupungissa, Siilinjärvellä ja Kokkolassa. Tuotantolaitosten lisäksi Yaralla on erillinen tutkimuslaitos, joka sijaitsee Vihdissä sekä myyntikonttori Espoossa. (Yara Suomi Oy:n www-sivut 2019)

2.3 Yara Uusikaupunki

Yara Uudenkaupungin tehdasalueella sijaitsee kaksi lannoite- ja typpihappotehdasta sekä voimalaitos. Uudenkaupungin tehtaalla valmistetaan tällä hetkellä yli 80 erilaista NPK-lannoitetta. Tästä syystä Uudenkaupungin lannoitetuotanto onkin yksi Yaran suurimmista lannoitteiden valmistajista. Tehdasalueella sijaitsevista typpihappotehtaista tuotetaan typpihappoa lannoitteiden valmistukseen. Korkealaatuisten lannoitteiden vuoksi Yara Uusikaupunki on tunnettu toimittaja niin kotimaassa kuin myös ulkomailla. (Yara Suomi Oy:n [www-sivut](#) 2019)

Suurin osa tuotetuista lannoitteista menee vientiin. Ainoastaan alle viidennes tuotannosta jää kotimaan tarpeisiin. Valmiita tuotteita kuljetetaan kuluttajien käyttöön rautaa, maan- ja meriteitä pitkin. Uudenkaupungin rannikolla sijaitseva Yaran tehdas mahdollistaa suurien laivojen rantaumisen tehtaan syväsatamaan, josta valmiit tuotteet voidaan helposti kuljettaa ympäri Eurooppaa sekä Euroopan ulkopuolelle. (Yara Suomi Oy:n [www-sivut](#) 2019)

Yara Uusikaupunki on tärkeä työnantaja Varsinais-Suomen alueella. Vaikka alueella on paljon muutakin teollisuutta, arvostetaan Yaraa työpaikkana työntekijöiden keskuudessa paljon. Uudenkaupungin tehdas työllistää noin 240 henkilöä, joka on viidennes Yara Suomi Oy:n kokonaismäärästä. Tämän lisäksi tehtaalla toimii paljon urakoitsijoita. (Yara Suomi Oy:n [www-sivut](#) 2019)

3 MAADOITTAMINEN

3.1 Maadoittamisen termit ja määritelmät

Tässä osiossa käsitellään maadoittamisessa käytettäviä yleisiä määritelmiä, jotka SFS 600-1-1 ja 6001 on määritellyt seuraavanlaisesti.

”**Referenssimaa** on maan johtava osa, jonka sähköiseksi potentiaaliksi missä tahansa kohdassa on sovittu nolla, ja joka on kaikkien maadoitusjärjestelmien vaikutusalueen ulkopuolella.”

”**(Paikallinen) maa** on maan johtava osa, joka on yhteydessä maadoituselektrodiin, ja jonka potentiaali ei välttämättä ole nolla.”

”**Maadoittaa** tarkoittaa sähköisen liitännän tekemistä järjestelmän, asennuksen tai laitteen jonkin pisteen ja paikallisen maan välillä.”

”**Maadoituselektrodi** on johtava osa, joka on sähköisessä yhteydessä maahan ja voi olla upotettu erityiseen johtavaan väliaineeseen esim. betoniin.”

”**Maadoitusjärjestelmä** on kaikkien sähköisten kytkentöjen ja laitteiden muodostunut kokonaisuus, jotka yhdessä muodostavat laitteen maadoituksen.”

”**Maadoitusjohdin** on johdin, joka muodostaa asennuksen, järjestelmän tai laitteen määrätyn osan ja maan välille johtavan yhteyden tai osan tästä yhteydestä.”

”**Maadoitusimpedanssi** on järjestelmän, asennuksen tai laitteen määrätyn pisteen ja referenssimaan välinen impedanssi määrätyllä taajuudella.”

”**Maadoitusresistanssi** on maadoitusimpedanssin reaalin osa.”

”**Laaja maadoitusjärjestelmä** on yhtenäinen maadoitusjärjestelmä, joka on toteutettu kytkemällä yhteen paikalliset maadoitusjärjestelmät. Yhteen kytkettyjen paikallisten

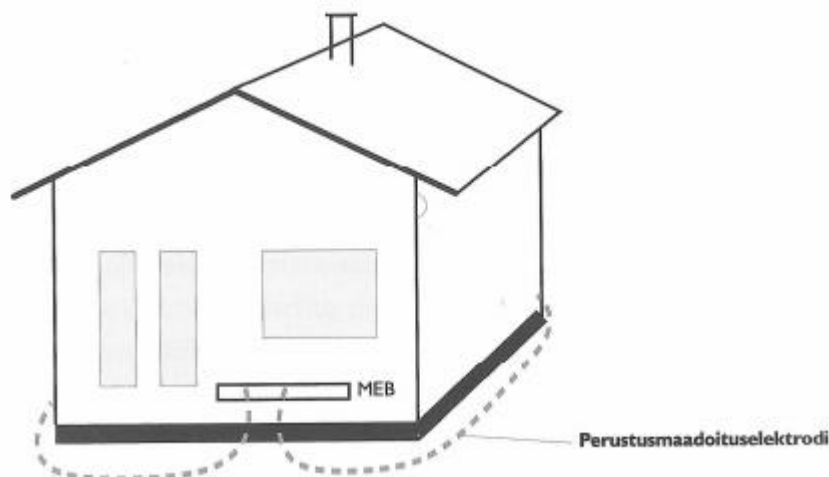
maadoitusjärjestelmien läheisyys varmistaa sen, ettei vaarallisia kosketusjännitteitä esiinny.”

(SFS 600-1-1 2017, 374; SFS 6001 2018, 21)

3.2 Maadoittamisen tarkoitus ja suunnittelu

Yksinkertaisuudessaan maadoittamisella turvataan sähkölaitteiden lähellä olevien henkilöiden ja eläinten turvallisuus. Maadoittamisessa tulee ottaa huomioon monia erilaisia kriteerejä, että maadoitusjärjestelmä tarjoaisi loppukäyttäjälle turvallisen ympäristön. Maadoittamisen tärkein ominaisuus on kuitenkin se, että järjestelmä pysyy toimintakuntoisena koko sen eliniän ajan. Tällöin on otettava huomioon maadoitusjärjestelmään kohdistuvat mekaaniset, korroosion ja sääolosuhteiden aiheuttamat vaikutukset sen eliniän aikana. (Kokemäensähkön www-sivut 2019; SFS 600-1-1 2017, 373)

Maadoituksia suunniteltaessa tulee sähköliittymässä olla maadoituselektrodi. Maadoituselektrodilla tarkoitetaan johtavaa osaa, joka on sähköisessä yhteydessä maahan. Siinä ei kuitenkaan normaalitilanteessa kulje virtaa. Maadoituselektrodi on valittava sähköliittymään ympäristön vaatimusten mukaan. Mahdollisia maadoituselektrodien materiaaleja ovat muun muassa kupari, kuumasinkitty teräs, ruostumaton teräs, betoniin upotettu teräs. SFS 600-1-1 määrittelee maadoituselektrodien materiaalin mukaan niille vaaditun poikkipinta-alan, materiaalin- ja mahdollisen korroosiosuojauskerroksen paksuuden. Sijoitettaessa maadoituselektrodi ympäristöön tulee ottaa huomioon ainakin seuraavat piirteet: elektrodia ei saa upottaa virtaaviin vesistöihin, joiden kuivuminen on mahdollista. Tällöin maadoituselektrodi tulee näkyville ja voi aiheuttaa mahdollisen vaaratilanteen. Vesistöjen ulkopuolella elektrodin upotussyvyudessa on otettava huomioon myös maan kuivumisen ja jäätyminen aiheuttamat mahdolliset vaikutukset ympäristön maadoituselektrodiin. Näiden lisäksi on aina otettava huomioon maadoituselektrodiin kohdistuva mekaaninen kuormitus. (SFS 600-1-1 2017, 373)



Kuva 1. Perustusmaadoituselektrodin toteuttaminen kiinteistön ympärille.

3.3 Maadoitusten mitoittaminen

3.3.1 Pienjännitejärjestelmät

Maadoitusjärjestelmää suunniteltaessa tulee huomioida, kuinka paljon erilaiset tekijät kuormittavat maadoituksia. Yleisempiä kuormittavuuden aiheuttajia ovat sähköinen-, mekaaninen- ja kemiallinenkuormitus. Maadoituselektrodin valitsemisessa voidaan hyödyntää SFS 6000 olevaa poikkipintataulukkoa. Kyseinen taulukko on esitettyä liitteessä 1. Yleensä korroosiosuojaus ratkaisee lopullisen mitoituksen. (ST 53.21 2018, 6)

Yleisempiä Suomessa käytettyjä maadoitusten poikkipinta-aloja ovat $\varnothing 16 \text{ mm}^2$ kupari tai $\varnothing 10 \text{ mm}^2$ ruostesuojattu teräs. Kansainvälisiin standardeihin verrattuna Suomen vähimmäispaksuudet ovat pienempiä. Kansainväliset standardit suosittelvat yleensä $\varnothing 25 \text{ mm}^2$ kuparia. Vaikka poikkipinta-aloilla on suuriakin eroja kansainvälisiin vaatimuksiin verrattuna, on kuitenkin todettu, että $\varnothing 16 \text{ mm}^2$ maadoitukset ovat kestäneet hyvin Suomen maaperässä. Tärkeämmiksi luokiteilluissa kohteissa kuitenkin suositellaan vähintään poikkipinnaltaan 25 mm^2 maadoituksia. Jos kohteessa on käytössä salamasuojaus, tarvitsee elektrodin poikkipinta-ala korottaa standardin EN 62305-3 mukaan yleensä arvoon 50 mm^2 kuparia. (ST 53.21 2018, 6)

Käytettäessä teräselektrodia tulee suunnitelmien alkuvaiheessa huomioida elektrodin käyttötarkoitus ja asennustapa. Nämä edellä mainitut ominaisuudet ratkaisevat elektrodin korroosiosuojauksen paksuuden. Silloin kun teräselektrodi sijoitetaan maahan pystysuoraan, tarvitsee sen korroosiosuojauksen olla suurempi kuin vaakasuoraan asennettaessa. On kuitenkin huomioitava elektrodin materiaalia valittaessa, että Suomessa ei ole kovin paljon kokemusta teräselektrodeista, jonka vuoksi kuparia suositellaan käytettäväksi maadoituselektrodien materiaalina. (ST 53.21 2018, 6)

3.3.2 Suurjännitejärjestelmät

Suurjännitejärjestelmien maadoittamisessa tulee ottaa huomioon myös mahdollinen maasulkutilanne. Sillä tarkoitetaan käyttömaadoittamattoman virtajohtimen ja maan tai maahan johtavan yhteyden osan väliseksi eritysviaksi. Suurjännitejärjestelmien suojajohtimien mitoituksessa tulee huomioida mahdollinen kaksoismaasulku, kun kyseistä maasulkua ei pystytä kytkemään pois yhdessä sekunnissa. Kaksoismaasulkutilanteella tarkoitetaan sellaista tilannetta, kun verkon kahdessa vaiheessa ja verkon kahdessa eri kohdassa esiintyy samanaikaisesti eristysvika. Tarkempia tietoja suurjänniteasennuksien suojajohtimien mitoitus- ja maadoitusresistanssien vaatimuksista saajakeluverkkoyhtiöiltä, jolloin pystytään ottamaan huomioon suunnitteilla olevat verkostomuutokset. (ST 53.21 2018, 7; Oulun ammattikorkeakoulun www-sivut 2019)

3.4 Pääpotentiaalintasaus

Pääpotentiaalintasauksen avulla suojaudutaan vaarallisten jännite-erojen syntymistä esineistä, joita voidaan koskettaa samanaikaisesti. Johtavien osien välille voi syntyä kyseinen jännite-ero, joka aiheuttaa pahimmassa mahdollisessa tilanteessa vaarallisen jännitteen kosketuksen yhteydessä. Jotta näiltä mahdollisilta vaaratilanteilta vältytään ja turvataan sähkölaitteiden lähellä oleskeleville henkilöille turvallinen ympäristö, täytyy sähkölaitteiden jännitteelle alttiit osat ja muut johtavat materiaalit (putkistot ja rakennuksen metalliset runkorakenteet) kytkeä samaan potentiaalintasaukseen. Tällöin kosketettaessa ei synny potentiaalieroja. (Tiainen, Nurmi & Koivisto 2014, 37-40)

Jokaisessa rakennuksessa tarvitsee toteuttaa edellä mainittu pääpotentialintasaus. Tämä kyseinen toimenpide suoritetaan yleensä rakennuksen sähköpääkeskuksessa, jossa potentialintasaus johdetaan päämaadoituskiskoon. Potentialintasaukseen johdetaan jokaisen alueella sijaitsevan kiinteistön keskuksien suojakiskot. Jos rakennuksessa ei ole kuitenkaan niin sanottua sähköpääkeskusta, tehdään edellä mainittu potentialintasaus jossakin sähkökeskuksessa. On suositeltavaa, että tällaisessa tapauksessa kiinteistössä käytetään ainoastaan TN-S-järjestelmää eli viisijohdinjärjestelmää, jossa on erillinen nolla- ja suojamaadoitusjohdin. Oikein toteutetulla pääpotentialintasauksella pystytään parantamaan sähkötyöturvallisuutta myös niissä tapauksissa, kun tapahtuu eristysvika. Siitä syystä on suositeltavaa, että kaikki suurimmat johtavat materiaalit kytketään pääpotentialintasaukseen. (Tiainen ym. 2014, 37-40)

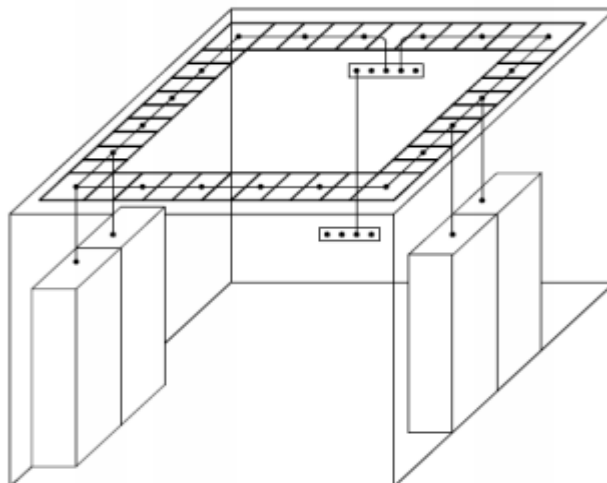
Jos kyseinen kiinteistö on pinta-alaltaan niin suuri, että potentialintasauksen suorittaminen päämaadoituskiskostoon on liian haastavaa, voidaan se suorittaa myös muualla kiinteistössä. Voidaan esimerkiksi hyödyntää rakennuksen katolla sijaitsevaa ilmanvaihtokonehuonetta. Tällöin potentialintasaus suoritetaan liittämällä ilmanvaihtokone jakokeskuksen suojakiskoon tai PEN-kiskoon. Kun kiinteistössä käytetään PEN-johtimia, on otettava huomioon potentialintasauksessa syntyviä häiriövirtoja. (Tiainen ym. 2014, 40)

Nykyään teollisuus- ja asuinrakennuksissa on käytössä monenlaisia kaasu-, vesi- ja kaukolämpöjärjestelmiä. Nämä kyseiset järjestelmät tulee kytkeä rakennuksen potentialintasaukseen mahdollisimman läheltä sitä kohtaa, mistä ne on tuotu rakennuksen sisälle. Suunniteltaessa tulisi ottaa huomioon, että edellä mainitut järjestelmät ja rakennuksen sähkönsyöttö tulisivat rakennukseen samasta kohtaa. Tällöin mahdolliset jännitteet eivät pääse siirtymään rakennuksen muihin osiin. Jos rakennukseen tulevat metalliset putket tai johdot ovat niin lyhyitä, että voidaan varmuudella todeta, ettei niihin voi syntyä potentialiero, voidaan nämä osat jättää kytkemättä potentialintasaukseen. Kun suoritetaan rakenteiden potentialintasausta, voidaan maadoittamisessa hyödyntää sarjamaadoitusta. Sarjamaadoittaminen on esimerkiksi lähellä kulkevien putkistojen kohdalla hyödyllinen keino suorittaa maadoittaminen tehokkaasti ja turvallisesti. (Tiainen ym. 2014, 38)



Kuva 2. Sarjamaadoittamisen toteuttaminen putkistolinjassa.

Teollisuusympäristössä voi kulkea useita satoja metrejä kaapelihyllyä. Näiden hyllyjen liittäminen potentiaalintasaukseen ei ole pakollista. On kuitenkin mahdollista, että kaapelihyllyllä kulkevat johdot voivat aiheuttaa ei-toivotun jännitteen kaapelihyllyyn. Tällainen tilanne voi syntyä sellaisessa tapauksessa, kun kaapeli kiristetään liian kireälle hyllyyn kaarikiinnikkeellä tai hyllyyn kohdistuu jonkinlainen mekaaninen rasitus. Tämän takia suositellaan kaapelihyllyjen liittämistä potentiaalintasaukseen, jotta voidaan välttyä mahdollisilta vaaratilanteilta. Hyllyjen ja muiden johtoteiden liittämistä suositellaan liitettäväksi potentiaalintasaukseen myös sen takia, että se vähentää sähkömagneettisia häiriöitä. (Tiainen ym. 2014, 39)



Kuva 3. Laitetilan koteloiden ja kaapelihyllyjen maadoitusten ja potentiaalintasauksen periaate.

Potentiaalintasauksen liitoksissa pitää kiinnittää huomiota erityisesti liitostapaan ja oikeisiin materiaaleihin. Yleisesti potentiaalintasauksen liitos suoritetaan joko hitsaamalla, juottamalla tai käyttämällä oikeanlaisia liittimiä. Liitoksissa on kiinnitettävä huomiota sen luotettavuuteen, jos on mahdollista, että liitoksiin voi kohdistua mahdollisesti mekaanista rasitusta. Rakennuksessa käytettävät betoniteräket suositellaan yhdistettävän hitsauksen avulla, jolloin niitä voidaan käyttää rakennuksessa myös perustusmaadoituselektrodina. (Tiainen ym. 2014, 39)

Potentiaalintasauksen johtimia asennettaessa tulee ottaa huomioon voimassa olevat standardit. Pääpotentiaalintasausjohtimen poikkipinta-alan tulee olla vähintään puolet asennuksissa käytettyjen suurimman PEN- tai suojajohtimen poikkipinta-alasta. Johtimen poikkipinta-ala tulee kuitenkin olla vähintään 6 mm^2 . Johtimen pinta-alan ei tarvitse kuitenkaan ylittää 25 mm^2 kuparia tai johtokyvyltään vastaavan kaltaista metallia. (Tiainen ym. 2014, 39)

Liitteessä 2 on esitetty kytkentä tilanteesta, jossa on kuvattuna rakennuksen maadoitukset, potentiaalintasaus sekä syötön kytkennät. Kyseisessä esimerkissä on kaksi muuntajaa ja pääkeskusta syötetään johdolla, jossa on erilliset nolla- ja suojajohtimet.

3.5 Maadoitusten merkinnät ja dokumentointi

Maadoitusten merkitsemiselle ja dokumentoinnille ei ole standardeihin kirjattu min-käänlaisia yksityiskohtaisia edellytyksiä. Dokumentoinnin puolesta noudatetaan yleisiä sovittuja vaatimuksia. Maadoitusten dokumentoinnista suositellaan kuitenkin tehtäväksi maadoituskaavio, jossa esitetään päämaadoituskiskot, maadoitus- ja potentiaalintasausjohtimet sekä tarpeelliseksi kuvatut suojajohtimet sekä niiden poikkipinnat. (ST 53.21 2018, 7)

Maadoituskaaviossa käytetyt kaapelitunnukset tulee kiinnittää fyysisesti kentällä sijaitseviin kiskoihin ja johtimiin. Jos tunnuksien sijoittaminen ei ole mahdollista itse kiskoihin tai johtimiin, tulee ne sijoittaa niiden välittömään läheisyyteen. Kentälle sijoitettaville maadoitustunnuksille ei ole määritelty kansainvälistä merkintää. Standardikirjoissa käytetään yleensä merkintää päämaadoituskiskosta (PMK) sekä englannin kielisissä teksteissä Main Earthing Terminal (MET). (ST 53.21 2018, 7)

Kun johdinta käytetään suojaamistarkoitukseen, tulee johtimen tunnusvärinä käyttää kelta-vihreää. Maadoitusjohtimena voidaan käyttää myös paljaita johtimia, jos koetaan, ettei korroosista ole haittaa johtimen kestävyydelle. Jos käytössä olevaa johdinta käytetään vain toiminnalliseen maadoitukseen, eikä se täytä suojajohtimelle vaadittuja vaatimuksia, ei kelta-vihreää väriyhdistelmää saa käyttää kyseisen johtimen tunnusvärinä. (ST 53.21 2018, 7)

4 RÄJÄHDYSVAARALLISTEN TILOJEN MAADOITTAMINEN JA SÄHKÖLAITESUUNNITTELU

Suunniteltaessa sähkölaitteita räjähdysvaarallisiin tiloihin tulee ottaa huomioon monia erilaisia säädöksiä, jotka ovat muihin tiloihin verrattuna paljon tiukemmat. On etenkin kiinnitettävä huomiota kyseisten tilojen maadoituksiin, etteivät sähkölaitteet aiheuta minkäänlaisia vaaratilanteita. Räjähdysvaarallisissa tiloissa olevat sähkölaitteet eivät saa normaali- ja vikatilanteessa aiheuttaa sellaista tilannetta, josta syntyy vaarallista kipinöintiä. Tämän takia räjähdysvaarallisissa tiloissa sijaitsevat suojamaadoitukset ja potentiaalintasaukset ovat tarkan valvonnan alla, jottei kyseisissä tiloissa aiheudu vaaraa muille kiinteistöille tai rakennuksissa työskenteleville ihmisille. (Tiainen ym. 2014, 157)

Kun räjähdysvaarallisessa tilassa on käytössä TN-johdotusjärjestelmä, on käytettävä viisijohdinjärjestelmää eli TN-S-järjestelmää. Tässä kyseisessä järjestelmässä on erotettuna nolla- ja suojajohdin. Ennen järjestelmän käyttöönottoa, tarvitsee TN-S-järjestelmän nollan- ja suojajohtimen välinen erityisresistanssi todeta oikeaksi. (Tiainen ym. 2014, 157)

4.1 Räjähdysvaarallinen tila

Räjähdysvaaralliseksi tilaksi luokitellaan huone tai rakennus, jossa voi esiintyä selkeää seosta, joka voi tietyissä olosuhteissa aiheuttaa räjähdysten. Yleisempiä räjähdysvaaran aiheuttajia ovat kemiallisen yhdisteen erilaiset kaasun- ja nesteseokset, jotka aiheuttavat ilman tai mahdollisen kipinän avulla räjähdysten. (SFS 60079-14 2017, 28)

Jos teollisuuslaitoksessa on käytössä kemiallisia yhdisteitä, joista voi aiheutua räjähdysvaara, on laitoksen omistaja ja haltija velvollinen suunnittelemaan näille kyseisille aineille asianmukaiset tilat. Näitä kyseisiä räjähdysvaarallisia tiloja kutsutaan teollisuudessa ATEX-tiloiksi. Räjähdysvaarallisista tiloista tehdään lain määräämä tilaluokitus, joka auttaa sähkösuunnittelua sekä sopivien sähkölaitteiden valintaa. (SFS 60079-14 2017, 28, 37)

Räjähdysvaaralliset tilat luokitellaan seuraavanlaisesti:

- Tilaluokka 0 = Tila, jossa kaasun, höyryn tai sumun ja ilman muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai toistuvasti
- Tilaluokka 1 = Tila, jossa kaasun, höyryn tai sumun ja ilman muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy normaalikäytössä ajoittain
- Tilaluokka 2 = Tila, jossa kaasun, höyryn tai sumun ja ilman muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos ei todennäköisesti esiinny normaalikäytössä, mutta mikäli sellainen kuitenkin esiintyy, on sen esiintymisaika lyhyt
- Tilaluokka 20 = Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein
- Tilaluokka 21 = Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy normaalitoiminnassa ajoittain
- Tilaluokka 22 = Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan (SFS 60079-14 2017, 28)



Kuva 4. Standardien vaatima merkitsemistapa räjähdysvaarallisissa tiloissa.

Tilojen haltija voi vaikuttaa omalla suunnittelullaan räjähdysvaarallisten tilojen tilaluokitukseen. Muun muassa ilmanvaihdolla on suuri merkitys räjähdysvaarallisissa tiloissa. On otettava huomioon, että kyseiset ilmanvaihtolaitteet soveltuvat ATEX-tiloihin ja etteivät ne aiheuta vikaantuessaan vaaratilanteita kyseisissä tiloissa. On myös suositeltavaa, että räjähdysvaarallisissa tiloissa olisi asennettuna varailmanvaihtokone, jos päälaitte rikkoontuu kesken prosessin. (SFS 60079-14 2017, 28)

4.2 Laitteiden valitseminen ja asentaminen

Teollisuuden kehittyessä myös teknologia on kehittynyt samaan aikaan. Tämän vuoksi räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettävät sähkölaitteet noudattavat tarkkoja vaatimuksia, jotta ne eivät toimi syttymislähteenä. (SFS 60079-14 2017, 44)

Kun valitaan sähkölaitteita räjähdysvaarallisiin tiloihin, on otettava huomioon ainakin seuraavat asiat. Kyseiselle tilalle on tehty tilaluokitus ja räjähdysuojaustaso vaatimus. Räjähdysuojaustaso vaatimuksia tarkasteltaessa tulee tarvittaessa ottaa huomioon tilassa vaikuttavien kaasujen, höyryjen tai pölyjen esiintyminen. Kun kyseisessä tilassa on mahdollista ilmaantua edellä mainittuja olomuotoja, tulee huomioida tilassa vaikuttava lämpötila. Lämpötila ei saa nousta ulkopuolisten ympäristöolosuhteiden sekä laitteiden käymisen vaikutuksesta liian korkeaksi, koska siitä voisi syntyä vaarallisia kemiallisia reaktioita. (SFS 60079-14 2017, 44)

Suunnitteluvaiheessa tulisi miettiä sähkölaitteiden lopullista sijoittamista. Tässä olisi hyvä tavoitella sellaista tilannetta, että kaikkia laitteita ei tarvitsisi sijoittaa räjähdysvaarallisen tilan sisäpuolelle. Räjähdysvaarallisten tilojen ulkopuolelle voidaan muun muassa jättää osa jakokeskuksista, muuntajista ja kondensaattoreista. Tilojen sisäpuolelle joudutaan kuitenkin asentamaan sähkömoottorit, valaisimet, mitta- ja säätölaitteistot. (SFS 60079-14 2017, 44)

4.3 Räjähdysvaarallisen tilan potentiaalintasaus

Räjähdysvaarallisen tilan potentiaalintasauksessa on muutamia kohtia, jotka eroavat jonkin verran normaalista potentiaalintasauksesta, jota on käsitelty kappaleessa 3.4. Pohjimmiltaan potentiaalintasauksen merkitys on kuitenkin samanlainen. Tarkoituksena on välttää tilannetta, jossa sähkölaitteiston jännitteisten ja muiden osien välille syntyisi jännite-eroja. (Tiainen ym. 2014, 157)

Räjähdysvaarallisessa tilassa sijaitsevat kiinteät säiliöt, putkistot ja koneiden metallirungot tai vastaavan kaltaiset metallirakenteet tulee yhdistää johtavasti potentiaalintasausjärjestelmään. Näiden lisäksi tulee ottaa huomioon käytössä olevat armeeraukset.

Kun asennuksissa käytetyt kaapelin armeeraukset tai suojavaipat on maadoitettu vain räjähdysvaarallisen tilan ulkopuolelta, tulee näiden edellä mainittujen maadoituspaikka yhdistää ATEX-tilan potentiaalintasausjärjestelmään. (ST 51.83 2017, 7)

Asennuksen osat, jotka ovat jännitteelle alttiita ei tarvitse erikseen yhdistää potentiaalintasausjärjestelmään, jos ne ovat suorassa yhteydessä tai muulla tavoin yhdistetty johtavasti metallirakenteeseen tai putkistoon, jotka ovat asianmukaisesti yhdistettynä räjähdysvaarallisen tilan potentiaalintilantasausjärjestelmään. Osat, jotka eivät ole varsinaisesti rakenteisia osia tai eivät kuulu asennukseen, ei tarvitse yhdistää potentiaalintasausjärjestelmään, jos jännitteen siirtymistä ei voi aiheutua. (ST 51.83 2017, 7)

Räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviä exi-laitteita tai energiaa rajoittavien koneiden metallikoteloita ei vaatimusten mukaan tarvitse yhdistää potentiaalintasausjärjestelmään, ellei laitteiden valmistajien ohjeissa toisin todeta. Laitteita asentaessa tulee myös ottaa huomioon, vaatiiko staattisen sähkövarauksen purkautuminen potentiaalintasausta. (ST 51.83 2017, 7)

5 LAAJA MAADOITUSJÄRJESTELMÄ

5.1 Laajan maadoitusjärjestelmän määrittely

Suomessa useat standardit määrittelevät oikeanlaiset työtavat, joiden avulla määritellään sähköverkon käyttöä ja rakentamista koskevat määräykset. Verkon rakentamisessa on otettava huomioon muun muassa sähkömarkkinalaki, sähköturvallisuuslaki sekä erinäiset voimassa olevat säädökset. Näitä edellä mainittuja lakeja noudattamalla saadaan aikaiseksi turvallinen ja oikeanlainen sähköverkko, joka on rakennettu lakien määräämällä tavalla. (Kukkonen sähköposti 28.03.2019)

Vaikka laajoja maadoitusjärjestelmiä on ollut aiemmin olemassa, niille ei ole ollut kuitenkaan kovin kauan virallista määritelmää. Suomen standardisoimisliitto on kuitenkin määritellyt vuonna 2018 ilmestyneessä SFS 6001 kirjassa laajan maadoitusjärjestelmän seuraavanlaisesti. “Maadoitusjärjestelmä on tehty liittämällä useat paikalliset lähellä toisiaan olevat maadoitusjärjestelmät verkkomaisesti yhteen siten, että järjestelmä muodostaa lähes tasapotentialipinnan. Järjestelmän laajuus ja maadoitusverkon tiheys varmistavat sen, ettei kyseisellä alueella esiinny vaarallisia kosketusjännitteitä.” (SFS 6001 2018, 24)

Laajojen maadoitusjärjestelmien alueiden tunnistaminen ei ole kuitenkaan yleensä niin helppoa ja yksinkertaista. Kun pyritään tunnistamaan alueita, joilla ilmenee vain vähäisiä tai ei ollenkaan olevia potentiaalieroja, voidaan tunnistamisessa hyödyntää maadoittamisessa esiintyviä kokonaisresistansseja, vikavirtoja, kaapelivaippojen ja ukkosjohtimien reduktiovaikutuksia sekä vian kestoajoja. (SFS 6001 2018, 138)

Laajan maadoitusjärjestelmän tunnistamisessa pieni kokonaisresistanssi on eduksi, mutta se ei kuitenkaan todista täydellisesti laajan maadoitusjärjestelmän määritelmän toteutumista. Sen takia standardiin ei ole kirjattu resistanssinarvoon perustuvaa edellytystä. Järjestelmän vaatimat turvallisuusvaatimukset saatetaan täyttää myös asennuksissa, jotka sijaitsevat suuriresistiivisessä maaperässä sekä joiden resistanssiarvot ovat suuria. Vaadittujen vaatimusten täyttämiseen voidaan hyödyntää myös lisäresistanssien suurenemisen ja pätevän potentiaalinhjauksen avulla. (SFS 6001 2018, 138)

Järjestelmän määrittelyssä myös pienet vikavirrat ovat eduksi, koska maapotentiaalinnousu pysyy tällöin hyväksyttävissä arvoissa. Vikavirrat jakautuvat myös käytössä olevien kaapelivaippojen ja ukkosjohtimien reduktion vaikutuksesta tasaisesti, jolloin maapotentiaalinnousu pysyy vaadituissa arvoissa. Järjestelmän määrittelyssä voidaan myös hyödyntää lyhyitä viankestoajkoja, joiden avulla voidaan korottaa sallittuja kosketusjännitteitä. Tämän seurauksena erot voimassa oleviin raja-arvoihin pienenevät. (SFS 6001 2018, 138)

5.2 Laajan maadoitusjärjestelmän todentamisen vaihtoehdot

Laajan maadoitusjärjestelmän tulkitsemisessa voi hyödyntää käytännössä kolmea erilaista vaihtoehtoa. Nämä kaikki yhdessä kuitenkin luovat mahdollisimman laaja-alaisen selvityksen käytössä olevista maadoituksista. (SFS 6001 2018, 153)

Laajan maadoitusjärjestelmän vaaditut määräykset selviävät voimassa olevien standardien kautta sähköalan ammattilaiselle hyvin monipuolisesti. Standardien tueksi laajan maadoitusjärjestelmän todistamiseen suositellaan maadoitusmittausten suorittamista. Mittausten ja laskujen avulla pystytään tarkasti todentamaan maadoitusten vaadittu eheys ja luotettavuus. Näiden kahden aiemmin mainitun tavan lisäksi maadoitusten mallintaminen antaa tarkan kuvan käytössä olevista maadoituksista. Maadoituskaavion avulla sähköverkonhaltija voi helposti todistaa, miten maadoitukset on toteutettu milläkin alueella. Asiakirjojen dokumentointi nousee erityisen vahvaan rooliin jokaisessa aiemmin mainitussa kohdassa. Ilman asianmukaisia dokumentteja, järjestelmän olemassa olemista on mahdotonta todistaa tarkastuksia suorittaville henkilöille. ”Laajasta maadoitusjärjestelmästä on oltava käytettävissä dokumentaatio, jossa on todettavissa perusteet laajan maadoituksen käytöstä mukaan lukien järjestelmään liittyvät sähköasemat, jakelumuuntamot ja niiden väliset maadoitusten yhdistämiset.” (SFS 6001 2018, 153)

5.3 Esimerkkejä laajasta maadoitusjärjestelmästä

Laaja maadoitusjärjestelmä syntyy tyypillisesti niille alueille, joilla maadoitukset on rakennettu verkkomaisesti. Suomessa yleisempiä alueita, joissa voi esiintyä laaja maadoitusjärjestelmä, ovat suuret teollisuusalueet sekä tiheästi asutut kaupunkien keskukset, joilla on hajautettu suur- ja pienjännitemaadoitus. Näillä alueilla jakeluverkko on rakennettu galvaanisesti yhtenäiseksi. Laajan maadoitusjärjestelmän todistamiseksi tulee havainnollistaa maadoitusten toteutuminen kaavioiden avulla, josta pystytään näkemään selkeästi maadoitusyhteyksien toteutuminen. (SFS 6001 2018, 153; Pernu ym. 2006, 20)

Laajoilla teollisuusalueilla muuntamot sijaitsevat suhteellisen lähellä toisiaan. Jokainen alueella käytössä oleva muuntopiiri on oltava yhdistettynä vähintään kahden muun muuntopiirin maadoitukseen. Tietyin väliajoin muuntopiiri tulee kuitenkin kytkeä myös useamman kuin kahden muuntopiirin maadoitukseen. Tällöin saavutetaan luotettavampi yhteys maadoitusten välillä. Laajan maadoitusjärjestelmän maadoitusmittauksia tehtäessä tulisi välttää käännepestemenetelmää. Tällä kyseisellä tavalla ei pystytä mittaamaan yksittäisestä maadoituksesta luotettavia tuloksia. Käännepestemenetelmästä kerrotaan enemmän tämän opinnäytetyön kappaleessa 7.1 (SFS 6001 2018, 153)

Laajan maadoitusjärjestelmän yhdistysjohtimina voidaan käyttää seuraavia yhteyksiä:

- Suurjännitekaapeleiden vaipat ja keskusköydet
- Pienjänniteverkon PEN -johtimet sekä maakaapeleissa että ilmajohdoissa
- Mahdolliset erilliset muuntamoita yhdistävät maadoitusjohtimet ja elektrodit
- Tarvittaessa voidaan muuntamoiden maadoituksia yhdistää myös keskijänniteilmajohdon pylväisiin rakennetuilla maadoitusjohtimilla.

(Pernu ym. 2006, 21)

Jos olemassa olevaan laajaan maadoitusjärjestelmään lisätään uusi muuntopiiri, ei tämän muuntopiirin maadoitusimpedanssia tarvitse mitata. On kuitenkin varmistuttava, että muuntopiirin yhdistyminen tapahtuu luotettavasti. Tällöin on suositeltavaa käyttää useampaa maadoitusyhteyttä luotettavuuden varmistamiseksi. Laaja

maadoitusjärjestelmä voi toteutua myös muuntopiirien verkoissa, joiden kokonaisimpedanssi toteuttaa seuraavanlaisen ehdon:

$$U_E \leq 2 \times U_{TP}$$

U_E = Maadoitusjännite

U_{TP} = Sallittu kosketusjännite

Tapauksia pitää kuitenkin tulkita tapauskohtaisesti, josta viimeisen tulkinnan suorittaa verkonhaltija. (Pernu ym. 2006, 21; Tiainen, Nurmi & Koivisto 2014, 70)

Käytössä olevat sähköasemien, muuntamoiden, pienjänniteverkon ja liittymien maadoitukset muodostavat laajan maadoitusjärjestelmän, kun ne ovat kytketty toisiinsa usean yhteyden kautta. Taajamissa pystytään myös liittämään 110/20 kV tai 110/10 kV sähköasemien maadoitukset laajan maadoitusjärjestelmän alaiseksi. (Pernu ym. 2006, 21)

Uusia muuntopiirejä asennettaessa tulee kuitenkin huomioida, että uusille käyttöön tuleville muuntopiireille asennetaan asianmukaiset maadoitukset muuntamon ja verkon välille. Asennuksissa tulee noudattaa voimassa olevia asennusstandardeja. Laaja maadoitusjärjestelmä ei tuo asennusstandardeihin minkäänlaista poikkeusta. Asennusten jälkeen maadoitusten toimivuus pitää todeta mittaamalla. Mittaustulokset pitää dokumentoida asianmukaisesti. Maadoitusjärjestelmien eheys ja toimiva yhteys maadoitusten kesken tulee varmistaa määräjain suoritettavien laitteistojen kunnossapitotarkastuksien yhteydessä. Suoritettujen kunnossapitotarkastuksien tiedot tulee dokumentoida käytössä olevaan järjestelmään. (Pernu ym. 2006, 21)

Vaikka muuntamot olisivatkin sijoitettuna rivimäiseen muuntamoketjuun, ne eivät välttämättä muodosta laajaa maadoitusjärjestelmää. Tällainen tapaus voi olla esimerkiksi jokivarren asutuksissa, joissa rakennukset sijaitsevat suhteellisen lähellä toisiaan, mutta aluetta syöttävien muuntamojen väliltä puuttuu kuitenkin vaadittu verkkomainen rakenne. Tämän kaltaisilla alueilla tulisi pyrkiä varmistamaan maadoitusten kahdentaminen muiden alueella vaikuttavien muuntamojen välillä. (Pernu ym. 2006, 21)

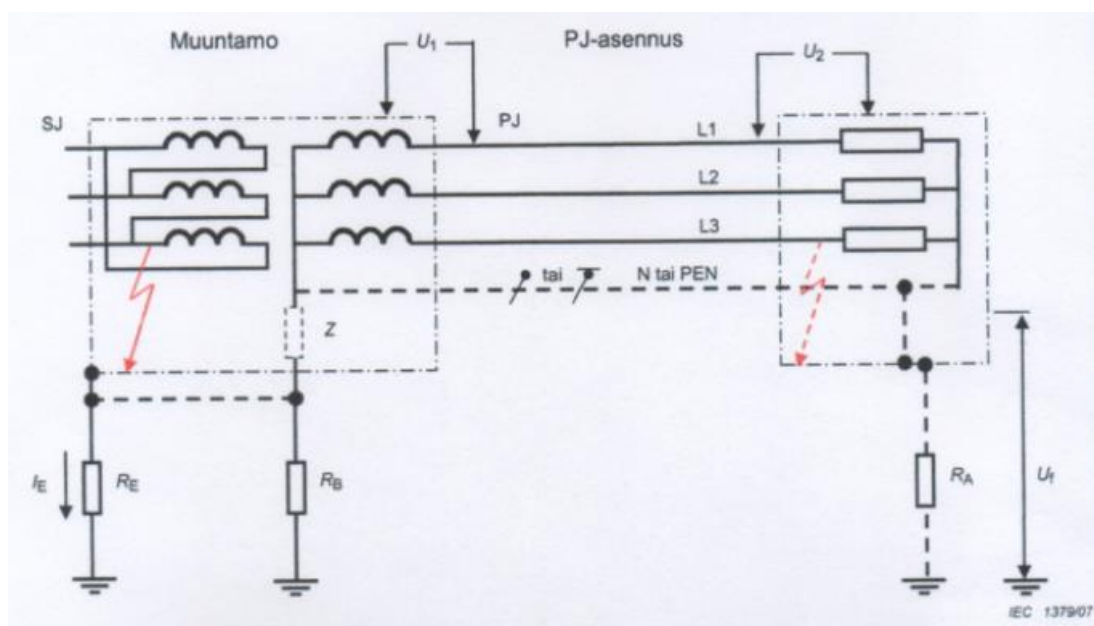
5.4 Laajan maadoitusjärjestelmän hyödyt ja haitat

Laajan maadoitusjärjestelmän avulla teollisuusyrittäjä tai jakeluyhtiö voi saavuttaa huomattavia taloudellisia ja turvallisuuteen liittyviä hyötyjä. Taloudellisia hyötyjä laajasta maadoitusjärjestelmästä tulee muun muassa silloin, kun ollaan ottamassa käyttöön uutta muuntopiiriä. Jos voidaan todeta tarpeeksi varmasti, että uusi muuntopiiri liittyy luotettavasti ja usean yhteyden avulla olemassa olevaan laajaan maadoitusjärjestelmään, voidaan muuntopiirin maadoitusimpedanssi jättää mittaamatta. Laajan maadoitusjärjestelmän alueella vaikuttavat maadoitukset lisäävät käyttöturvallisuutta, kun järjestelmä on maadoitettu useasta pisteestä. Tämä myös vähentää vikatilanteiden syntymistä. (Pernu ym. 2006, 20; Tiainen, Nurmi & Koivisto 2014, 70)

Kun käytössä on laaja maadoitusjärjestelmä vähenevät myös maadoitusmittausten määrääjain suoritettavat mittaukset. Alueet, jotka eivät kuulu laajan maadoitusjärjestelmän piiriin, tarvitsee niiden muuntamoille suorittaa maadoitustarkastukset kuuden vuoden välein. Toisin kuin alueet, jotka kuuluvat laajaan maadoitusjärjestelmään, voidaan alueella sijaitsevien muuntamojen maadoitusmittaukset suorittaa 12 vuoden välein. Laajan maadoitusjärjestelmän luoman monipuolisen maadoitusverkon mittaukset voi suorittaa pelkästään yhdestä maadoitusjohtimesta. Tämä kuitenkin edellyttää sen, että maadoituselektrodin ja muiden maadoitusjohtimien välinen yhteys todetaan luotettavaksi. (Tiainen, Nurmi & Koivisto 2014, 140)

Laajasta maadoitusjärjestelmästä voi olla myös suurta taloudellista hyötyä maasulkutilanteen aikana. SFS 6001 -kirjassa maasulkutilanteesta on kerrottu seuraavalla tavalla. ”Maasulusta on tultava hälytys, joka saatetaan välittömästi verkon käyttöä valvovan henkilöstön tietoon. Vian selvittämiseen on ryhdyttävä välittömästi. Käyttöä maasulussa voidaan jatkaa yleensä enintään kahden tunnin ajan, ellei ole ilmeistä, että maasulusta aiheutuu välitöntä vaaraa ihmisille tai omaisuudelle tai kohtuutonta häiriötä toiselle laitteistolle. Käyttöä maasulussa voidaan jatkaa pitempään vain, jos maasulun sijaintikohta on löydetty ja varmistetaan, ettei siitä aiheudu vaaraa. Jos maasulku sijaitsee jakelumuuntamolla, joka ei ole laajan maadoitusjärjestelmän alueella, ei käyttöä saa jatkaa.” Tällöin laajan maadoitusjärjestelmän alueella sijaitsevaa jakelumuuntamoa ei tarvitse ottaa välittömästi pois käytöstä. Käytöstä pois ottaminen voisi aiheuttaa tietynä ajankohtana laajoja sähkökatkoja. (SFS 6001 2018, 144)

Laajalla maadoitusjärjestelmällä voidaan myös suojautua vaarallisia kosketusjännitteitä vastaan. Edellä mainittu suojautuminen onnistuu, kun kaikki suurjännitemaadoitukset (R_E) ja pienjännitemaadoitukset (R_B) ovat kytkettynä yhteen. Alla olevassa kuvassa on esitettyä mahdollisen suurjännitepuolella sattuneen maasulkutilanteen aikana syntyneiden ylijännitteiden esiintymiskohtia. Mahdolliset ylijännitteet voivat aiheuttaa pienjänniteasennukseen käyttötaajuisen vikajännitteen (U_f) sekä käyttötaajuisen rasisusjännitteen (U_1 ja U_2). (SFS 6000-4-44 2017, 140-141)



Kuva 5. Kuvaus muuntamon ja pienjänniteasennuksen liitännöistä sekä vian aikana syntyvistä ylijännitteistä.

Käytössä olevassa laajasta maadoitusjärjestelmästä voi myös esiintyä mahdollisia vaaratilanteita. Laajan maadoitusjärjestelmän reuna-alueille voi syntyä vaarallisia tilanteita, kun järjestelmän ulkopuolella kuuluvalla muuntamolla syötetään laajan maadoitusjärjestelmän sisäpuolelle. Pahimmassa mahdollisessa vikatilanteessa virta voi siirtyä muun muassa puhelinverkon kaapelivaippojen kautta aiheuttaen vaaratilanteen. Jos edellisen kaltainen tilanne on mahdollinen maadoitusverkkojen välillä, tulee reuna-alueilla suorittaa mahdolliset tarkistukset ja tarpeen vaatiessa erottaa syötöt siten, ettei vaaratilanteita voi syntyä. Suositeltavin ratkaisu kuitenkin olisi yhdistää ulkopuolinen järjestelmä laajaan maadoitusjärjestelmään. (Tiainen ym. 2014, 71)

6 YLEISTÄ MAADOITUSTEN MITTAAMISESTA

Maadoituksia mitattaessa mitataan maadoitusresistanssia. Resistanssi mitataan maadoitusjohtimesta, joka muodostuu tarkemmin ottaen maadoitusjohtimen resistanssista sekä resistanssista maadoituselektrodin ja maan neutraalin pisteen välillä. (Tiainen ym. 2014, 141)

Sähkölaitteistojen maadoitusresistanssi tulee todeta laitteen käyttöönoton yhteydessä sekä määräajoin suoritettavissa tarkastuksissa. Nämä kyseiset tarkastukset ovat suositeltavaa suorittaa 6-12 vuoden sisällä. Aikaväli riippuu maadoitusjärjestelmän luotavuudesta ja rakenteesta. Jos kyseessä on sähkölaitteisto, joka on ainoastaan yhden maadoituselektrodin varassa, suositellaan maadoitusresistanssien mittauksen suorittamista kuuden vuoden välein. Silloin kun sähkölaitteistolla on useampi kuin yksi maadoituselektrodi, voidaan maadoitusresistanssi mittaukset suorittaa 12 vuoden väliajoin. (Tiainen ym. 2014, 140)

Jos alueella on käytössä yhtenäinen maadoituselektrodijärjestelmä, josta käytetään myös nimitystä laaja maadoitusjärjestelmä, voidaan maadoitusresistanssin mittaaminen todeta yhdestä maadoitusjohtimesta. Tällöin käytössä olevat laitteet on yhdistetty usealla maadoitusjohtimella verkkomaiseen piiriin. Mittauksen lisäksi tulee todeta muiden maadoitusjohtimien kunto visuaalisen tarkastuksen avulla. (Tiainen ym. 2014, 140)

Maadoitusmittaukset tulee suorittaa silloin, kun maaperä ei ole roudassa. Mittauksien suorittaminen roudan aikana vääristää saatuja tuloksia. Tämän vuoksi maadoitusten lopullinen viimeistely ei ole tarkoituksenmukaista talvikuukausien aikana. Maadoitusresistanssimittaukset tulee kuitenkin suorittaa mahdollisimman pian maaperän lämpenemisen jälkeen. Muuntamojen väliset eheysmittaukset voidaan kuitenkin suorittaa myös talvikuukausien aikana, koska nämä maadoitusjohtimet sijaitsevat yleensä sisätiloissa, jolloin jäinen maaperä ei vaikuta näihin mittaustuloksiin. (Tiainen ym. 2014, 140)

Maadoituksille on suoritettava maadoitusresistanssimittaukset silloin, kun maadoitusresistansseille on määritelty suurin hyväksyttävä arvo. Maadoitusresistanssin

hyväksyttävä arvo riippuu muun muassa maadoitusjännitteestä ja maasulkuvirrasta sekä niille asetetuista raja-arvoista. (Tiainen ym. 2014, 139)

Maadoitusresistanssimittaukset tulee suorittaa ainakin seuraavissa kohteissa:

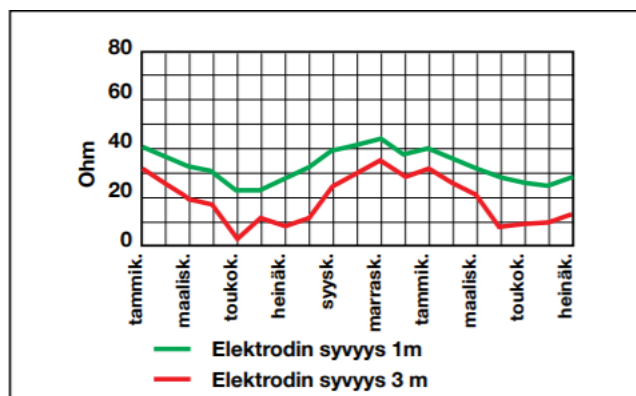
- muuntajan suurjännitepuolen suojamaadoitus
- sähköaseman maadoitus
- enintään 1000 V jakeluverkon maadoitus silloin, kun järjestelmä on alttiina yli 1000 V jännitteille
- edellä mainittujen järjestelmien yhteinen maadoitus

(Tiainen ym. 2014, 139)

6.1 Maaperän resistiivisyyden mittaaminen

Ennen uusien maadoitusten suunnittelua tulisi suorittaa mahdollisimman tarkat maaperän resistiivisyyden mittaukset. Mittausten avulla pystytään saamaan monipuolista tietoa maaperästä ja sen ominaisuuksista. Näiden saatujen tietojen perusteella pystytään suunnittelemaan mahdollisimman toimiva maadoitus rakennuksen sähkölaitteille. (Chauvin Arnoux Groupin [www-sivut 2019, 3](#))

Maaperän resistiivisyyden fysikaalisena tunnuksena käytetään ρ ja sen yksikkö on muodossa Ω/metri . Mittauksessa tulkitaan kuution verran maaperän resistiivisyyttä, joka kertoo kuinka hyvin maaperä johtaa sähköä. Mitä pienempi mittauksissa saatu resistiivisyyden arvo on, sitä pienempi maadoituselektrodi tarvitaan kyseiselle alueelle. Mittausten aikana on kuitenkin muistettava ottaa huomioon ympäristön aiheuttamat muuttujat, kuten esimerkiksi maantieteellinen sijainti sekä maaperän kosteus ja lämpötila. Maaperän muutosten takia suositellaankin maadoitusten sijoittamista aina niin syväälle kuin mahdollista. (Chauvin Arnoux Groupin [www-sivut 2019, 3](#))



Kuva 6. Maaperän resistiivisyysarvojen vaihtelu eri vuoden aikoina.

Maaperän resistiivisyyden mittausten suorittamiseen on olemassa monia erilaisia menetelmiä, mutta yleisin tapa toteuttaa mittaukset, on hyödyntää ns. nelielektrodi -menetelmiä, jotka ovat seuraavanlaiset:

- Wenner -menetelmä mittauksiin, joissa käytetään vain yhtä syvyyttä.
- Schlumberger -menetelmä mittauksiin, joissa käytetään useampia syvyyksiä.

(Chauvin Arnoux Groupin www-sivut 2019, 4)

Käytettäessä yleisempää Wenner -menetelmää, neljä apuelektrodiä asennetaan maaperään säännöllisin välimatkoin ja samaan linjaan, joka on kuvattuna alla olevassa kuvassa. Mittauksen aikana mittalaite (G) syöttää mittausvirtaa kahden uloimpana sijaitsevien elektrodien (E) ja (H) välille. Jännitemittarilla (V) pystytään mittaamaan sisäelektrodien (S ja ES) välillä vaikuttava jännite ΔV . Suoritettujen mittausten jälkeen pystytään tulkitsemaan saatuja mittauservoja seuraavan kaavan avulla, jonka kautta saadaan selville myös maaperän resistiivisyyden $[\rho]$ arvo. (Chauvin Arnoux Groupin www-sivut 2019, 4)

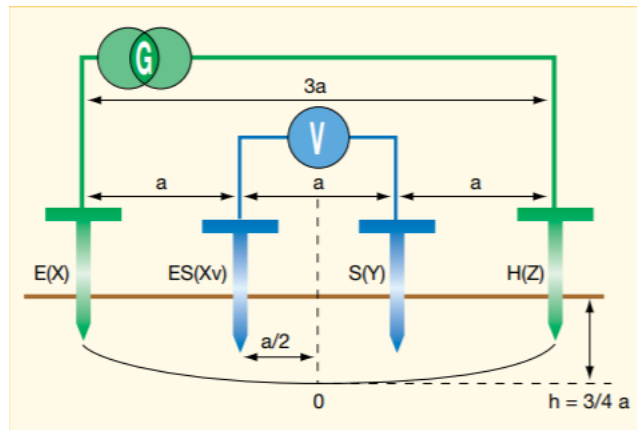
$$\rho = 2\pi a R$$

ρ = Maaperän vastus Ω /metri 0-pisteessä

a = Mittausmatka metreissä

R = Mittauksesta saatu (Ω) arvo

(Chauvin Arnoux Groupin www-sivut 2019, 4)



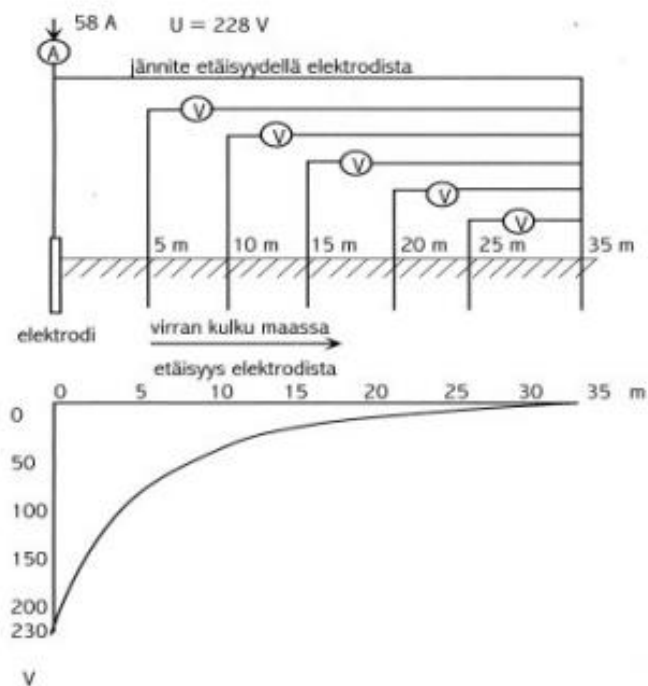
Kuva 7. Maaperän resistiivisyyden arvon selvittäminen Wenner -menetelmän avulla.

7 MAADOITUSTEN MITTAUSTAVAT

Maadoitusten mittaamiseen on olemassa monia erilaisia tapoja. Tavallinen käytäntö suorittaa maadoitusresistanssin mittaus on syöttää maadoitusmittauslaitteella virtaa maadoituselektrodiin. Virran syöttämisen jälkeen pystytään mittaamaan maadoituselektrodin kautta kulkeva jännite. Tämän jälkeen voidaan hyödyntää alla olevaa Ohmin-lakia, jonka avulla pystytään ratkaisemaan maadoitusresistanssi. (Tiainen ym. 2014, 140)

$$R = \frac{U}{I}$$

Virta jakautuu syötettäviin maadoituselektrodeihin sillä tavalla, että lähimpänä sijaitsevassa mittauspisteessä on virran tiheys suurin. Elektrodiin syötettävä virta aiheuttaa jännitemittauksissa jännite-eroja. Suurimmat jännite-erot syntyvät maadoituselektrodin lähimmissä mittauspisteissä. Jännite jakautuu sitä mukaan pienemmäksi, mitä kauemmaksi siirrytään maadoituselektrodista. Tämä kyseinen toimenpide on kuvattu tarkemmin alla olevassa kuvassa. (Tiainen ym. 2014, 140)

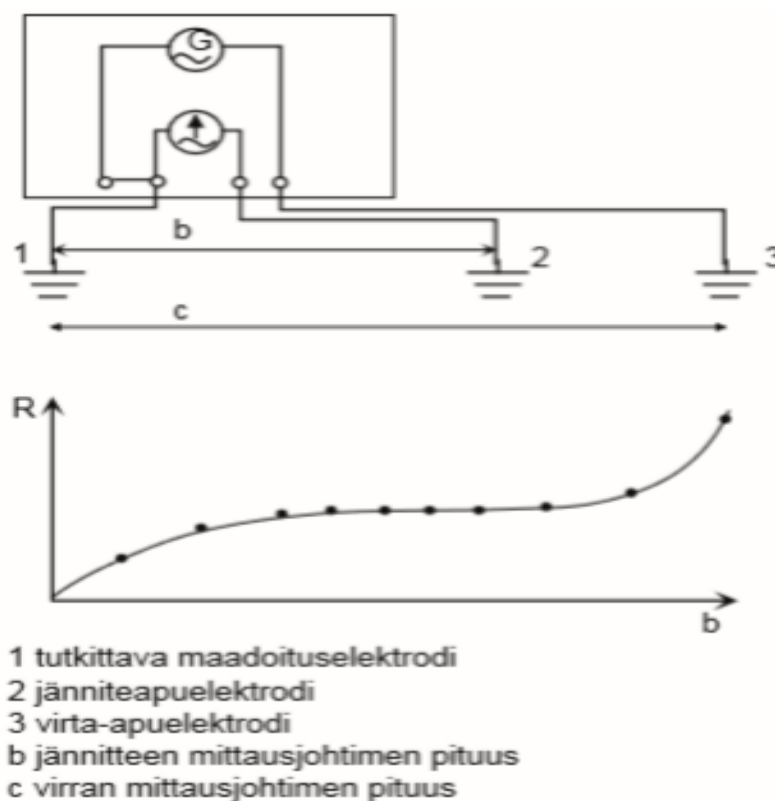


Kuva 8. Jännitteen jakautuminen maadoituselektrodin läheisyydessä.

7.1 Käänne pistemenetelmä

Käytettäessä käänne pistemenetelmää mittaustapana, se eroaa hieman tavallisesta menetelmästä. Käänne pistemenetelmän avulla mitataan suoraan resistanssien arvot. Mittauksesta saatujen arvojen perusteella muodostetaan nouseva kuvaaja, josta pystytään tulkitsemaan tutkittavan elektrodin tai järjestelmän maadoitusresistanssi. (Tiainen ym. 2014, 141)

Nykyään markkinoilla on monia erilaisia laitevalmistajia. Mittalaitteiden toimintaperiaate on kuitenkin pitkälti samankaltainen. Mittauksien periaattena on kompensatio, jota voidaan läheisemmin kutsua siltamittaukseksi. Mittalaitteen sisällä sijaitsevat resistanssit muodostavat sillan, jonka resistanssi muuttuu sen mukaan, kuinka paljon laitetta kuormitetaan. Mittalaite syöttää mitattavaan maadoitusresistanssiin valmistajasta riippuen 100 – 500 V jännitettä sekä taajuuden ollessa väliltä 70 – 140 Hz. (Tiainen ym. 2014, 141)



Kuva 9. Käänne pistemenetelmän toimintaperiaate.

Mittauksessa käytettävät apuelektrodit on sijoitettava mittauksen ajaksi mitattavan maadoituksen vaikutusalueen ulkopuolelle sekä on pyrittävä huomioimaan, ettei alueella ole muita maadoituselektrodeja tai metallisia vesijohtoja. Silloin kun mitattavan maadoituksen alueella sijaitsee useita osaelektrodeja, on mittauskohta valittava sen perusteella, että mittaus tapahtuisi mahdollisimman läheltä järjestelmän keskikohtaa. (Tiainen ym. 2014, 142)

Varsinaisessa mittaustapahtumassa mittalaitteessa sijaitseva virtalähde syöttää mitattavalle elektrodille mittausvirran (1). Syötetty virta kulkee maata pitkin virta-apuelektrodiin (3), jonka jälkeen se palautuu takaisin virtalähteeseen. Tällöin mitattavan elektrodin ja jännite-apuelektrodin (2) välille syntyy potentiaaliero. Ennen kuin saadaan luettua laitteesta totuudenmukainen resistanssin arvo, tarvitsee odottaa, että siltakytkeä on tasapainossa. Tämän jälkeen mittauksia jatketaan sillä tavalla, että siirretään jänniteapuelektrodi mittauspisteen ja virta-apuelektrodin välillä, joista saadut tulokset kirjataan mittausdokumentteihin. (Tiainen ym. 2014, 142)

Saaduista mittaustuloksista muodostetaan kuvassa 9. esitetyn kuvaajan mukainen resistanssikäyrä jänniteapuelektrodin etäisyyden (b) funktiona. Mittauksen aikana ei tarvitse liikuttaa mittauksessa käytettävää virta-apuelektrodiä, jonka vähimmäisetäisydeksi riittää noin 200 m. (Tiainen ym. 2014, 142)

7.2 Mittaus voltti-ampeerimenetelmä

Käytettäessä mittauksissa voltti-ampeerimenetelmää mittausperiaatteena on, että tutkittavan maadoituselektrodin lävitse mitataan mittausvirta ja maadoituselektrodin yli vaikuttava jännite. Tällä kyseisellä menetelmällä on tarkoituksena jäljitellä mahdollisimman todenmukaista maasulkutilannetta, kun johdetaan maadoitukseen avojohtojen avulla virransyöttömuuntajan syöttämä mittausvirta (I_m). Tällöin virta kulkeutuu maadoitukseen etäällä sijaitsevien vastamaadoituselektrodien ja mitattavan maadoituselektrodin kautta. (Tiainen ym. 2014, 143)

Jännitteen mittaaminen suoritetaan apuelektrodin ja maadoituksen väliltä. Koska tässä tapauksessa virta ei kulkeudu missään vaiheessa jänniteapuelektrodin kautta sekä se

sijaitsee muiden maadoituselektrodikenttien ulkopuolella, on kyseinen mitattu jännite suoraan maadoitusjännite (U_m). (Tiainen ym. 2014, 143)

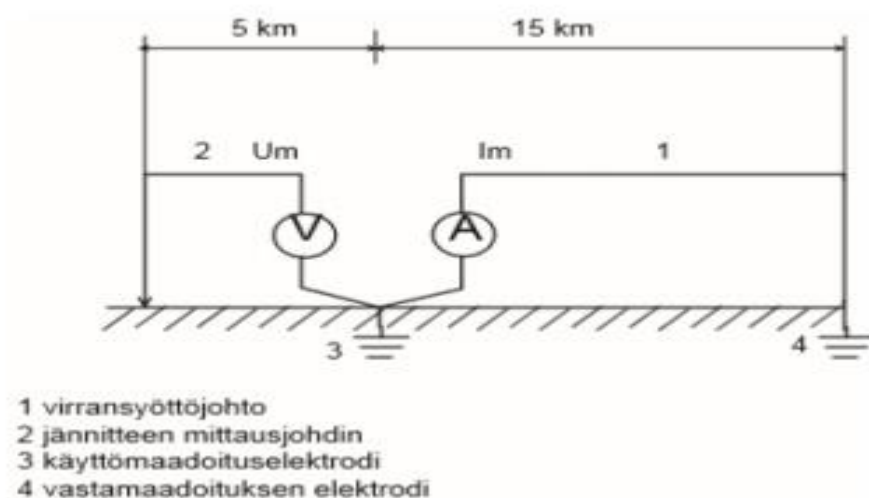
Mittauksia suoritettaessa tulee huomioida, että mittauksissa tarvittavat apuelektrodit sijaitsevat etäällä toisistaan sekä mitattavasta maadoituselektrodista. Mittauksessa käytettävät apuelektrodit pitää sijoittaa eri puolille mitattavaa maadoitusta. Ennen mitausten aloittamista tulee huomioida, että kaikki mittauksissa mukana olevat henkilöt ymmärtävät mahdolliset vaaratilanteet. Vaaratilanteita voi muun muassa syntyä, kun syötetään virransyöttömuuntajalla mitattavaa maadoitusta. Virransyöttömuuntajalla voidaan saada aikaiseksi kohtuullisen suuria jännitteitä mitattavaan piiriin. Mittaustuloksista pystytään laskemaan maadoitusimpedanssin itseisarvo jännitteen ja virran osamääränä, kuten alla olevassa yhtälössä on esitetty. (Tiainen ym. 2014, 143)

$$Z_E = \frac{U_{EM}}{I_M * r}$$

U_{EM} = Maadoitusjärjestelmän ja referenssimaassa (kaukainen maa) olevan maapiikin välinen jännite [V]

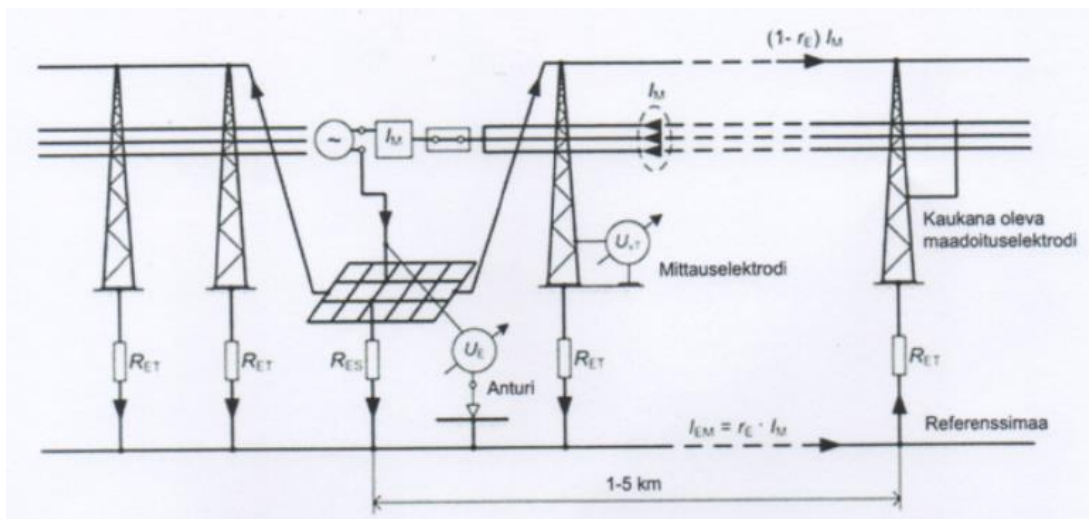
I_M = Mittausvirta [A] itseisarvo

r = Johdon reduktiokerroin referenssimaahan nähden. Reduktiokerroin voidaan määrittää joko laskemalla tai mittaamalla. Ukkosjohtimettoman ilmajohdon ja vaipattoman sekä armeeraamattoman kaapelin reduktiokerroimen itseisarvo on $r = 1$. (SFS 6001 2018, 132)



Kuva 10. Voltti-ampeerimenetelmän toimintaperiaate.

Mittauksia suoritettaessa tulee myös huomioida, ettei mittausten aikana maadoitusjärjestelmään yhdistetyt ukkosenjohtimet sekä maadoituselektrodeina toimivat kaapeli-vaipat eivät saa olla irrotettuina. Mitattavan maadoitusjärjestelmän ja vastamaan eli referenssimaan välinen etäisyys tulee olla mittausten aikana riittävän suuri. Näiden etäisyys toisistaan suositellaan olevan vähintään 1 – 5 km, joka riippuu täysin siitä, kuinka laajalle alueelle maadoitusjärjestelmä ulottuu. Mittausten aikana ilmenevät häiriöjännitteet pyritään minimoimaan valitsemalla mittausvirta mahdollisimman suureksi, jolloin mitattavat jännitteet (maadoitusjännite ja kosketusjännite) ovat häiriöjännitteitä suurempia. (SFS 6001 2018, 131-132)



Kuva 11. Maadoitusimpedanssin mittaaminen voltti-ampeerimenetelmällä.

- I_M = Testivirta (yleensä mitataan vain jännitteen ja virran itseisarvo)
 I_{EM} = Mittauksen aikainen maavirta (tässä tapauksessa ei suoraan mitattavissa)
 r_E = Kaukaiseen maadoituselektrodiin yhdistetyn johdon reduktiokerroin
 R_{ES} = Maadoitusruudukon maadoitusresistanssi
 R_{ET} = Pylvään maadoitusresistanssi
 U_E = Mittauksen aikainen maadoitusjännite
 U_{vT} = Mittauksen aikainen prospektiivinen kosketusjännite
 (SFS 6001 2018, 131-132)

7.3 Mittausmenetelmien vertailu

Maadoitusmittauksia tehtäessä tulisi pyrkiä valitsemaan sellainen menetelmä, joka vastaa mahdollisimman paljon todellista maasulkutilannetta. Eräs hyvä vaihtoehto on esimerkiksi voltti-ampeerimittarimenetelmä. Mittausmenetelmässä on se huono puoli, että sen toteutukseen vaaditaan oikeanlainen erikoiskalusto, pitkät mittausjohdot ja käyttöyhteyksien katkoja keskijänniteverkossa. Tämän takia kyseistä menetelmää käytetään ainoastaan silloin, kun maadoitusresistanssien arvot ovat erittäin pieniä ja halutaan saavuttaa mahdollisimman tarkkoja tuloksia. (Tiainen ym. 2014, 144)

Toinen potentiaalinen mittausmenetelmävaihtoehto on käänne pistemenetelmä. Mittausten suorittamista helpottaa se, että käänne pistemenetelmässä ei vaadita erikoiskyt-kentöjä ja sähköverkkokatkoksia. Käänne pistemenetelmällä ei kuitenkaan pystytä saavuttamaan yhtä tarkkoja tuloksia kuin voltti-ampeerimenetelmän avulla. Tämän vuoksi mitattu resistanssiarvo saattaa poiketa oikeasta arvosta huomattavasti. Mittauksista saatu poikkeama on kuitenkin yleensä suurempi, mitä se olisi voltti-ampeerimenetelmällä mitattaessa. Käänne pistemenetelmässä on myös se huono puoli, että mittauksia suoritettaessa tarvitaan suhteellisen pitkiä mittajohtimia. (Tiainen ym. 2014, 144)

8 MITTAUSMENETELMÄN VALINTA

Mittausmenetelmää valittaessa tulisi ottaa huomioon etenkin seuraavat piirteet: kuinka laajasta elektrodijärjestelmästä on kyse, elektrodin muoto, minkälainen maaperä mitausten alueella on sekä suoritettavien mitausten tarkoitus. (Tiainen ym. 2014, 145)

Käyttöönottotarkastuksia tehtäessä tulee valita mahdollisimman luotettava mittausmenetelmä. Mittaustulosten tulee olla sitä tarkempia, mitä lähempänä maadoitusresistanssien raja-arvoja ollaan. Käyttöönottotarkastuksien mittauksia suositellaankin tehtävän voltti-ampeerimittarimenetelmän avulla. (Tiainen ym. 2014, 145)

Mikäli käyttöönottotarkastuksien mittaukset ovat suoritettu tarkasti ja luotettavasti, voidaan määräaikaistarkastuksien mittauksissa käyttää yksinkertaisempaa mittausmenetelmää. Yksinkertaisemmaksi mittausmenetelmäksi käy esimerkiksi käännepistemenetelmä. Mittausten aikana tulee kuitenkin kiinnittää huomiota siihen, että olosuhteet pysyvät koko mitausten ajan samanlaisina. Myöhempien vertailumittausten suorittamisen yhteydessä tulisi käyttää samaa mittausmenetelmää, jolla myös ensimmäinen määräaikaistarkastuksien mittaus on suoritettu. Tällöin mittausmenetelmän vaihtelulla ei pysty syntymään suuria eroja aiemmin saatuihin mitausarvoihin. (Tiainen ym. 2014, 145)

Jakelumuuntamojen maadoitusmittauksia tehtäessä suositellaan yleensä käytettäväksi käännepistemenetelmää. Maadoitusmittauksien suorittaminen taajama-alueella sijaitseville jakelumuuntamoille voi olla toisinaan hyvin hankalaa tai jopa mahdotonta. Jos uuden jakelumuuntajan maadoitukset kuitenkin yhdistetään olemassa olevaan maadoitusjärjestelmään, jonka resistanssiarvo tunnetaan, ei maadoitusresistanssia tarvitse tällöin mitata. Tässä tapauksessa riittää, että voidaan todeta luotettavasti liitännöiden yhdistyminen olemassa olevaan maadoitusjärjestelmään. (Tiainen ym. 2014, 145)

Maadoitusmittauksien suorittaminen kantaverkon alueella ei ole niin yksinkertaista kuin jakelumuuntamojen kohdalla. Maadoitusimpedanssimittauksiin vaaditaan erikoislaitteita ja asiantuntemusta, jotta mittaukset voidaan suorittaa turvallisesti ja standardeja noudattaen. Kantaverkon maadoitusmittauksissa vaaditaan tarkempia ja luotettavampia tuloksia, joten mitausten suorittamisessa käytetään voltti-

ampeerimittarimenetelmää. Mittausten suorittamista vaikeuttaa se, että virransyöttöjohdot ovat useita kymmeniä kilometrejä pitkiä ja mittausvirta on suuri. Kantaverkon maadoitusmittauksissa ei käytetä käännepestemenetelmää edes vertailutulosten kohdalla. (Tiainen ym. 2014, 145)

8.1 Mittalaitteet

Maadoitusresistanssia mitattaessa käytetään mittalaitteissa yleensä vaihtojännitettä. Tasajännite ei sovellu mittausten suorittamiseen sen takia, koska maaperän polarisointuminen aiheuttaa mittausten suorittamisessa ongelmia. Mittauslaitteiden taajuutena ei käytetä normaalin verkkovirran 50 Hz taajuutta, koska verkkotaajuiset häiriöt saattaisivat väärentää saatuja mittaustuloksia. (Tiainen ym. 2014, 145)

Ennen mittausten suorittamista tulee perehtyä tarkasti käytössä olevaan mittalaitteeseen. Mittalaitteissa voi olla eroja, millä mittaustavalla kyseiset maadoitusresistanssimittaukset voidaan suorittaa. Käytettäessä maadoitusresistanssimittalaitteita tulee ottaa huomioon sekä mittausmenetelmän valinta että mittalaitteisiin liittyvä mahdollinen epätarkkuus. Mittareiden käyttöohjeissa kerrotaan yleensä tarkasti mittalaitteiden mitaustarkkuudet. (Tiainen ym. 2014, 145)

9 LAAJAN MAADOITUSVERKON JATKUVUUSMITTAUKSIEN SUORITTAMINEN

Muuntajien maadoituselektrodien maadoitusresistanssia ei tarvitse mittauksin todistaa, jos järjestelmä kuuluu laajaan maadoitusjärjestelmään. Voimassa olevan maadoitusverkon eheys tulee kuitenkin todeta mittauksien avulla. Eheysmittauksien yhteydessä tulee silmämääräisesti todeta maadoituskiskojen ja liitoksien kunto virheettömäksi. Jatkuvuusmittauksien suorittamiseksi maadoitusjohdin irroitetaan sen toisesta päästä. Ennen irroittamisen suorittamista tulee kuitenkin varmistua, ettei maadoitusjohtimessa kulje virtaa. Virrattomuuden varmistamisessa voidaan esimerkiksi hyödyntää pihtivirtamittaria. Pahimmassa mahdollisessa tilanteessa maadoituskiskon ja maadoitusjohtimen välille voi syntyä jännite, kun johdin irrotetaan kiskosta. Maadoitusjohdinten irrottamisessa maadoituskaavion ja maadoitusjohdinten asianmukaiset merkinnät nousevat erityisen tärkeään asemaan. Jos päämaadoituskiskostosta lähteviä maadoitusjohtimia ei ole merkitty asianmukaisesti, voi oikeiden johdinten selvittämisestä aiheutua huomattavasti ylimääräistä työtä. Oikean johtimen selvittäminen on kuitenkin mahdollista, kun syötetään mittausvirtaa maadoitusjohtimesta päämaadoituskiskoon. Syötettyä mittausvirtaa etsitään päämaadoituskiskoon saapuvista maadoitusjohtimista pihtivirtamittarin avulla. (Paukkunen sähköposti 19.7.2019; Häkkinen 2011, 32)

9.1 Mittausmenetelmä

Maadoitusverkon eheyden todistamisessa voidaan käyttää esimerkiksi voltti-ampeerimenetelmää. Koska mitattavat resistanssit ovat hyvin pieniä, tarvitsee käytössä olevalla mittalaitteella saavuttaa tarkkoja arvoja. Mittauksen suorittamisen yhteydessä irroitetaan mitattava maadoitusjohdin sen toisesta päästä, jonka jälkeen voidaan syöttää johtimeen mittausvirta. Virran määränä tulee käyttää minimissään 200mA, mutta maadoitusmittauksia suorittavat yritykset suosittelevat kuitenkin suurjänniteasennuksissa käyttämään suurempaa virtaa, jos vain mahdollista. Tällä tavalla maadoitusjohdinten vauriot pystytään paikallistamaan paremmin. Sähkölaitosten vaatimukset vaativat yleisesti käyttämään 100A virtaa, jos vain etäisyydet mahdollistavat sen käytön. Käytettävälle mittausvirralle tulee järjestää tilapäinen paluujohtin. Paluujohtimena voidaan käyttää esimerkiksi MKEM 2.5 mm². Tilapäisen paluujohtimen käyttäminen

vilkkaasti liikennöidyllä tehdasalueella voi aiheuttaa hankaluuksia. (Paukkunen sähköposti 19.7.2019; Häkkinen 2011, 33)

Maadoitusmittauksia suoritettaessa voidaan mittalaitteena käyttää muun muassa Beha Unitest Machinemaster 9050E-konetesteriä. Laitteen avulla pystytään saamaan monipuolisia ja todenmukaisia arvoja olemassa olevista maadoitusten resistansseista. Ennen virallisten mittausten aloittamista käytettävä mittalaite tulee kompensoida käytettävän paluujohtimen ja mittapäiden resistansseille. Mittalaite tulee sijoittaa keskeiselle paikalle, kuten esimerkiksi päämaadoituskiskon luokse, jolloin mittausten edetessä mittalaitetta ei tarvitse siirtää. Ainoastaan paluujohdin pitää käydä siirtämässä mitattavaan johtimeen. (Häkkinen 2011, 33)

Mittaustulosten analysointia varten tarvitaan tarkempia tietoja maadoitusjohtimien materiaalista sekä johtimen ominaisresistanssista että laitteiden välisestä johdon pituudesta. Jos maadoitusjohtimien pituutta ei ole dokumentoitu, tarvitsee johdon pituus arvioida silmämääräisesti. Kuparin ominaisresistanssi +20 °C lämpötilassa on $0,0168 * 10^{-6} \Omega m$. Maadoitusjohtimen resistanssi lasketaan seuraavalla kaavalla. (Häkkinen 2011, 33)

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

R	= Johtimen resistanssi [Ω]
ρ	= Johdinmateriaalin resistiivisyys [Ωm]
l	= Johtimen pituus [m]
A	= Johtimen poikkiala [m^2]

Virallisista mittaustuloksista tulee vähentää käytössä olevan paluujohtimen resistanssi. Jos paluujohtimena käytetään MKEM 2,5 mm² valmistajan ilmoittama resistanssin arvo +20 °C:n lämpötilassa on 7,98 Ω/km . Jos mittausten aikana ulkolämpötilassa on huomattava ero valmistajan ilmoittamaan lämpötilaan, tulee johtimen resistanssin muutos laskea lämpötilan funktiona. Kuparin lämpötilakerroin α on $4 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. (Häkkinen 2011, 33)

$$R_2 = R_1 (1 + \alpha \Delta t)$$

R_1 = Resistanssin arvo aluksi [Ω]

R_2 = Resistanssin arvo lopuksi [Ω]

α = Resistanssin lämpötilakerroin [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]

Δt = Lämpötilan muutos [$^{\circ}\text{C}$]

Voidaan esimerkiksi olettaa, että mittausten aikana ulkolämpötila on 0°C , jolloin lämpötilassa on tapahtunut 20°C asteen muutos valmistajan ilmoittamaan arvoon verrattuna. (Häkkinen 2011, 33)

$$R_2 = 1,596\Omega \left(1 + 0,004 \frac{1}{^{\circ}\text{C}} * (-20^{\circ}\text{C})\right)$$

$$R_2 = 1,468 \Omega$$

10 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää laajan maadoitusjärjestelmän vaatimat vaatimukset ja kuinka ne toteutuvat Yaran Uudenkaupungin tehtailla. Kenttäselvityksen avulla selvisi, että muuntajien väliltä puuttuu laajan maadoitusjärjestelmän vaatima verkkomainen rakenne. Muuntajien maadoitukset olivat yleisesti kytkettynä ainoastaan päämaadoituskiskoon, mutta eri muuntajien välinen maadoittaminen puuttui. Positiivista oli se, että muuntamojen kaapelimerkit oli merkitty useisiin tiloihin asianmukaisesti. Osassa tiloissa oli kuitenkin käytetty maadoitusjohdinten merkitsemiseen tussia. Tussimerkinnöissä on aina se vaara, että se kuluu ajan kuluessa pois johtimesta, jonka jälkeen joudutaan perinpohjaisesti selvittämään johtimen määränpää.

Suurin parantamiskohta löytyi tehtaan maadoituskaavioista. Maadoituskaaviot eivät olleet ajan tasalla tai ne puuttuivat kokonaan. Tämä hankaloittaa suuresti laajan maadoitusjärjestelmän todistamista. On myös mahdollista, että jossakin tehtaan alueella voi toteutua standardien vaatima verkkomainen rakenne, mutta sitä on mahdoton todistaa ilman, että maadoituksista tehdään laaja-alainen selvitys. Siinä tulisi selvittää etenkin tämän hetkisten päämaadoitusten rakenne. Selvityksen jälkeen voitaisiin todeta, että mille alueille vaaditaan uusia maadoituksia verkkomaisen rakenteen luomiseksi.

Tehtaan ympäristössä tarvitsee suorittaa myös laaja-alaiset maadoitusmittaukset. Tässä opinnäytetyössä on käsitelty, kuinka mittaukset suoritetaan käytännössä. Puutteellisen teknillisen tietämyksen vuoksi ja työn laajuuden takia tilaajan kanssa sovittiin yhteisymmärryksessä, että hän tilaa maadoitusmittauksia suorittavan yrityksen tekemään mittaukset tehtaalla olemassa olevista maadoituksista, jolloin mittausten suorittamisesta ei aiheudu odottamattomia vaaratilanteita ja tuotantokatkoksia yrityksen tuotantoon. Tämän opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää tulevaisuudessa, kun yritys haluaa parantaa maadoituksia ja perustella maadoitusten kattavan laajan maadoitusjärjestelmän vaatimukset. Ennen mittausten suorittamista on kuitenkin suositeltavaa, että olemassa olevat maadoitukset dokumentoidaan asianmukaisesti sekä maadoituksia parannellaan laajan maadoitusjärjestelmän vaatimalla tavalla. Tällöin mittausten suorittaminen on huomattavasti selkeämpää, kun tiedetään, ettei eri maadoitusjohtimien irrottaminen kytkä maadoituksia irti koko järjestelmästä. Samalla mittausten suorittaja

pystyy toteamaan, että toteutuuko tehdasympäristössä laaja maadoitusjärjestelmä. Käytettäessä mittausmenetelmänä voltti-ampeerimenetelmää vaaditaan verkossa usein käyttökeskeytyksiä. Menetelmän avulla kuitenkin saadaan varmoja tuloksia olemassa olevista maadoitusresistansseista.

Maadoituksia parantamalla voidaan saavuttaa laajan maadoitusjärjestelmän vaatimat edellytykset. Laajan maadoitusjärjestelmän avulla saavutetaan taloudellisia ja turvallisuuteen liittyviä hyötyjä. Maadoitusmittausten määräaikojen pidentyessä voidaan saavuttaa pitkällä aikavälillä huomattaviakin säästöjä samalla, kun teollisuusalueen maadoitusverkosto rakennetaan turvallisemmaksi ja paremmin vikasietokykyisemmäksi.

LÄHTEET

Chauvin Arnoux Groupin www-sivut. 2019. Viitattu 16.6.2019. <https://chauvin-arnoux.fi/wp-content/uploads/2014/09/Maadoitusvastuksen-mittausopas.pdf>

Häkkinen, J. 2011. Laajan maadoitusjärjestelmän soveltaminen Honkalahden sahan 6,3kV:n jakeluverkossa. AMK-opinnäytetyö. Saimaan ammattikorkeakoulu. Viitattu 25.7.2019. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/30609/Hakkinen%20Jukka.pdf>

Kokemäen Sähkö Oy:n www-sivut. 2019. Viitattu 4.5.2019. <http://www.kokemaen-sahko.fi>

Kukkonen, P. 2019. Tekninen asiantuntija, Kiwa Inspecta. Vastaanottaja: Teemu Kotiranta. Lähetetty 28.3.2019 klo 10.48. Viitattu 30.6.2019.

Oulun ammattikorkeakoulun www-sivut. 2019. Viitattu 5.7.2019. http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/08_0_Maasulkusuojaus.pdf

Paukkunen, E. Tekninen asiantuntija, Sähköastek Oy. Vastaanottaja: Teemu Kotiranta. Lähetetty 19.7.2019 klo 11.19. Viitattu 25.7.2019.

Pernu, S., Harttunen, J., Nurmi, H., Karvonen, J., Mutttilainen, J. & Roine, R. 2006. Pylväserotinasemien ja muuntopiirien maadoitukset standardin SFS 6001 mukaan, verkostosuositus RJ 19:06. Helsinki: Energiateollisuus ry.

SFS 600-1-1. Pienjännitesähköasennukset. Yleisvaatimukset. 2017. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS.

SFS 601. Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot. 2018. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS.

ST 51.83. Sähköasennukset räjähdysvaarallisissa tiloissa. 2017. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 30.6.2019. <https://severi.sahkoinfo.fi>

ST 53.21. Rakennusten sähköasennusten maadoitukset ja potentiaalintasaukset. 2018. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 3.7.2019. <https://severi.sahkoinfo.fi>

Tiainen, E., Nurmi, T & Koivisto, P. 2014. Maadoituskirja. 6. uud. p. Helsinki: Sähköinfo Oy

Yara Suomi Oy:n www-sivut. 2019. Viitattu 5.5.2019. <https://www.yara.fi/tietoa-yarasta>

LIITE 1

Materiaali	Pintakäsittely	Muoto	Minimikoko				
			Halkaisija mm	Poikki- pinta mm ²	Paksuus mm	Pinnoitteen/vaipan paksuus	
						Yksittäinen arvo µm	Keskiarvo µm
Teräs	Kuumasinkitty ^a tai ruostumaton ^{a,b}	Nauha ^c		90	3	63	70
		Profiili		90	3	63	70
		Sauvaelektrodin pyörötanko	16			63	70
		Vaakaelektrodin pyöreä johdin	10				50 ^e
		Putki	25		2	47	55
	Kuparivaipalla	Sauvaelektrodin pyörötanko	15			2000	
	Paällystetty sähköisesti kuparilla	Sauvaelektrodin pyörötanko	14			90	100
Kupari	Paljas ^a	Nauha		50	2		
		Vaakaelektrodin pyöreä johdin		16 ^f			
			Koysi	1,6 köyden yksittäiselle langalle	16 ^f		
		Putki	20		2		
	Tinattu	Koysi	1,8 köyden yksittäiselle langalle	25		1	5
	Sinkitty	Nauha ^d		50	2	20	40

^a Voidaan käyttää myös betoniin upotettuihin elektrodeihin
^b Ei vaadita pinnoitetta
^c Rullattuna nauhana tai pyöristetyillä reunoilla varustettuna rainana
^d Pyöristetyillä reunoilla varustettu nauha
^e Jos käytetään jatkuvaa uppopäällystystä, vain 50 µm paksuus on teknisesti toteuttamiskelpoinen nykyään
^f Suomessa hyväksytään kokemusperäisen tiedon perusteella 16 mm² poikkipintaa. Esikuvastandardi vaatii vähintään 25 mm² kuparipoikkipintaa. Jos maadoituselektrodiä käytetään myös ukkossuojaukseen, suositellaan käytettäväksi vähintään 25 mm² kuparijohdinta

LIITE 2

