

Harri Moilanen

## **TOPPILAN VOIMALAITOKSIEN MAADOITUKSIEN SELVITYS**

# **TOPPILAN VOIMALAITOKSIEN MAADOITUKSIEN SELVITYS**

Harri Moilanen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2017  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## **ALKUSANAT**

Haluan kiittää Oulun Energiaa, Pasi Tiensuuta, Antti Erkheikkiä ja Jukka Kilvelää tästä opinnäytetyöpaikasta. He ansaitsevat kiitoksen myös avusta opinnäytetyön eri vaiheissa. Suuren kiitoksen ansaitsee myös Toppilan voimalaitoksen sähköautomaatiokorjaamon henkilökunta valppaasta ja reippaasta asenteesta opinnäytetyötä kohtaan. Opinnäytetyön aikana heistä jokainen on saanut vastata ainakin yhteen, ellei useampaan kysymykseen: laitoksen historiasta, voimalaitoksen maadoituksista tai laitoksen osan sijainnista.

Oulussa 7.5.2017

Harri Moilanen

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma, sähkövoimatekniikka

---

Tekijä: Harri Moilanen  
Opinnäytetyön nimi: Toppilan voimalaitoksen maadoitusten selvitys  
Työn ohjaaja(t): Hannu Laakso, Jukka Kilvelä (Oulun Energia Oy)  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2017  
Sivumäärä: 31 + 6 liitettä

---

Työssä käsitellään voimalaitoksen maadoituksia ja niihin liittyvää dokumentaatiota. Toppilan voimalaitoksen dokumentaation selvittäminen oli ajankohtaista johtuen laitoksen määräaikaistarkastuksessa havaituista puutteista maadoituksen dokumentaatiossa. Opinnäytetyöhön oli tarkoitus kuulua myös maadoitusmittaukset ja niiden suorittaminen Toppilan voimalaitokselle.

Opinnäytetyössä tutustuttiin voimalaitosten maadoitusten dokumentaatioon, jonka pohjalta tuotettiin suurilta osin uusi maadoituksen dokumentaatio Toppilan voimalaitokselle. Huomiota kiinnitettiin voimalaitoksella sijaitsevien rakennuksien ja voimalaitoksen eri osien päämaadoituskiskoihin sekä niiden liitännöihin. Kokonaisuuden ja maadoitusmittauksien kannalta oli tärkeä selvittää, olivatko maadoitukset yhteydessä toisiinsa. Maadoituskiskojen kartoittaminen ja maadoituskiskojen kiskokohtaisten kuvien tekeminen olivat olennaisessa osassa opinnäytetyössä. Kiskojen liitännöjä tutkittiin vanhan dokumentaation ja voimalaitoksella löydettyjen maadoitusjohtimien ja -kiskojen perusteella.

Valitettavasti maadoitusresistanssinmittaus laitokselle jäi opinnäytetyön ulkopuolelle. Maadoituskiskojen välisistä yhteyksistä ja jokaisen päämaadoituskiskon liitännöistä luotiin kuvat AutoCAD-ohjelmalla. Useilla maadoituskiskoilla ei myöskään ollut positiota. Kiskoille luotiin tarvittaessa positiot käyttäen hyväksi muiden kiskojen positioita. Opinnäytetyössä piirrettyjen maadoituskuvien ja selvitystyön pohjalta suunniteltiin maadoitusjärjestelmään parannuksia esimerkiksi liittämällä yhteen eri maadoituskiskoja. Tarkoituksena oli saada kaikki voimalaitosalueen maadoitukset liitettyä yhteen, jotta on mahdollista soveltaa laajaa maadoitusjärjestelmää voimalaitoksen alueella. Osa maadoituskiskoista jäi opinnäytetyössä selvittämättä, mutta voimalaitoksen toiminnan kannalta tärkeimmät kiskot selvitettiin. Opinnäytetyön ulkopuolelle jätettiin esimerkiksi sosiaalitalojen maadoitukset.

---

Asiasanat: maadoitus, teollisuus, dokumentointi, mittaus,

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Program in Electrical Engineering, Electric power technology

---

Author(s): Harri Moilanen

Title of thesis: Investigation of earthing system in Toppila power plants

Supervisor(s): Hannu Laakso, Jukka Kilvelä (Oulun Energia Oy)ö

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2017

Pages: 31 + 6 appendices

---

This work is about earthing and documentation of earthings in a power plant. Investigation of Toppila power plant was necessary due the recent periodic inspection that revealed deficiency in power plants earthing documentation. This thesis was also supposed to contain earthing measurements in Toppila power plant.

In this thesis earthing documentation of power plants was studied to create new earthing documentation for Toppila power plant. The attention was guided especially towards the main earthing bars, and connections of main earthing bars, of different power plant parts and structures in power plant's area. Because of measurements and bigger picture, it was important to find out if earthing of the power plant were connected to each other. Mapping and drawing of bar related pictures of main earthing bars was central part of this thesis. Connections of different earthing bars were investigated by exploring old earthing pictures and by investigating the existing cables and earthing bars of power plant's area.

Thesis ended before the chance to perform measurements of Toppila power plant's earthing systems. Measurements of earthing resistance were left to be performed outside this thesis. Form connections between different main earthing bars and from connections of earthing, pictures were made during this thesis. Pictures were made using AutoCAD –program. Most of the main earthing bars were unnamed and were named during this thesis, with the help of bar names that already existed. With the help of new documentation of power plant's earthing, improvements of earthing system were planned e.g different earthing bars were connected to each other, so that all earthings would be part of one big system. If all the earthings of area would connect with each other, rules of global earthing system could be applied for the area of power plant. Some of the power plant's earthings were left outside of the thesis, but the most important ones for operation of the power plant were clarified during it. For example, the earthings of social facilities of the power plant were not included in this thesis.

---

Keywords: earthing, industry, documentation, measurement,

# SISÄLLYS

ALKUSANAT	3
TIIVISTELMÄ	4
ABSTRACT	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	7
2 MAADOITUS	9
2.1 Maadoitusjännite	9
2.2 Askeljännite ja kosketusjännite	10
3 ERILAISET MAADOITUKSET	12
3.1 Asema- ja pylväismaadoitukset	12
3.2 Laaja maadoitusjärjestelmä	13
4 MAADOITUKSET TEOLLISUUSLAITOKSISSA	14
4.1 Maadoitus kiskot	14
4.2 Maadoituksen dokumentaatio teollisuuslaitoksissa	15
5 MAADOITUSKEN MITTAUKSET	17
5.1 Maan ominaisresistanssi	17
5.2 Maadoitusresistanssin mittaus	18
5.2.1 Käännepistemenetelmä	20
5.2.2 V-A-mittarimenetelmä	21
6 TOPPILAN VOIMALAITOS	24
6.1 Toppilan voimalaitoksen maadoitusjärjestelmä	24
6.2 Toppilan voimalaitoksen maadoituksen parannukset	25
7 TOPPILAN VOIMALAITOKSEN MAADOITUSPIIRUSTUKSET	27
8 VOIMALAITOKSEN MAADOITUSRESISTANSSIN MITTAUS	29
9 POHDINTA	30
LÄHTEET	32
LIITTEET	33

# 1 JOHDANTO

Oulun Energia on energiayhtiö, joka tuottaa kodin, yritysten ja yhteiskunnan energiapalveluja. Toiminta kattaa koko energia-alan arvoketjun eli raaka-aineiden tuotannon, sähkön ja lämmön tuotannon, myynnin ja jakelun sekä alan erilaiset palvelut. Erilaisia energia-alan palveluita ovat esimerkiksi älykkäät energiapalvelut, verkkohallinta, urakointi ja ylläpito. Oulun Energian palveluksessa on noin 400 energia-alan ammattilaista. (1.)

Opinnäytetyön tavoitteena oli päivittää Oulun Energialle Toppilan voimalaitoksen maadoitukseen liittyvä dokumentaatio. Aiemmin tehdyssä voimalaitoksen määräaikaistarkastuksessa oli dokumentaatiossa havaittu puutteita, minkä takia maadoituksen dokumentaation selvitys oli ajankohtaista. Työ tehtiin Oulun Energian toiveesta ja tarpeesta selvittää Toppilan voimalaitosten maadoitusten nykytilanne ja dokumentoida se.

Maadoitusten selvitykseen liittyen tehdään opinnäytetyössä voimalaitokselle maadoitusresistanssimittaus. Mittaus ja sen tulokset tulee myös dokumentoida asiaankuuluvalla tavalla. Dokumentaation selvittäminen kokonaisuudessaan voimalaitokselle on laaja projekti, joka koostuu useiden pienempien laitoksen osien dokumentaation selvittämisestä. Opinnäytetyön aloituspalaverissa oli sovittu, että opinnäytetyön rajaaminen tapahtuisi myöhemmin opinnäytetyön teon yhteydessä.

Vaikeuksia maadoituksen dokumentaation selvityksessä, tai dokumentaation selvityksessä voimalaitoksille yleensä, aiheuttaa useat erilaiset järjestelmät ja rakennukset, joita teollisuuslaitoksen historian aikana on lisätty laitoksen yhteyteen. Useasti laitteet, järjestelmät ja rakennukset on rakentanut ulkopuolinen urakoija, joten dokumentaation löytäminen, varsinkin muokattavassa muodossa, on haasteellista. Laitoksen järjestelmiin on myös saatettu tehdä muutoksia, joista ei ole tuotettu dokumentaatiota ollenkaan. Teollisuuslaitoksissa dokumentaation ei vanhoissa laitoksissa ole aina ajantasaista ja täten suurimpaan osaan dokumentaatiosta tulee suhtautua epäilevästi. Varsinkin dokumentit, jotka on

laadittu todella kauan aikaa sitten, ja dokumentit, joihin ei ole tehty muutoksia moneen vuoteen, voivat monesti olla vanhentuneita.

Oppinäytetyön teoriaosuudessa pureudutaan maadoituksen sekä maadoitusmitauksiin yleisluontoisesti ja eri kohteita silmällä pitäen. Erityisesti kiinnitetään huomiota voimalaitoksen maadoitukseen. Dokumentaation tuottaminen ja taltiointi olivat oppinäytetyön aikana tärkeitä, sillä nimenomaan huonon dokumentaation ja sen taltioinnin takia oli päädytty tilanteeseen, jossa maadoituksen selvittämisestä oli tullut ajankohtaista.



## 2 MAADOITUS

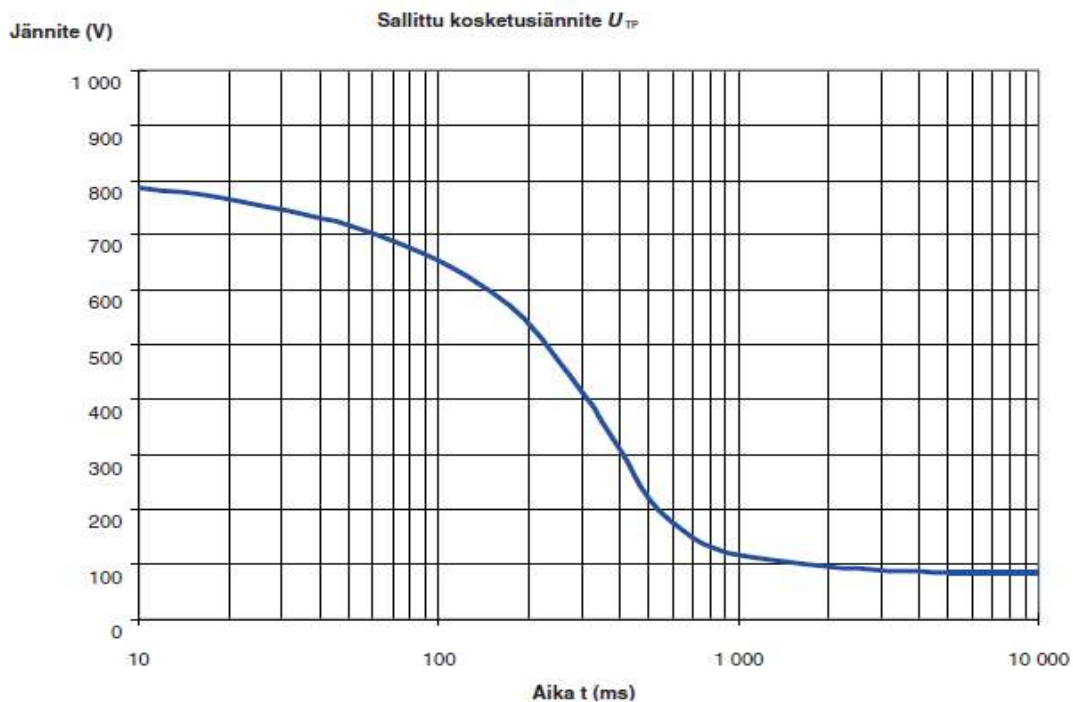
Maadoituksella tarkoitetaan sitä, että jokin virtapiirin osa tai laite yhdistetään, maassa olevan metallisen kappaleen avulla, maahan mahdollisimman tehokkaasti (2, s. 413). Maassa olevasta johtavasta osasta käytetään nimeä maadoituselektrodi, ja se voi olla upotettu esimerkiksi betoniin. Maadoituselektronin materiaalin valintaan vaikuttavat materiaalin sähkönjohtokyky, mekaaninen kestävyys sekä korroosionkestokyky. (3, s. 14.) Korroosion ja mahdollisten mekaanisten rasitusten vaikutukset täytyy ottaa huomioon riittävässä määrin, sillä maadoitusjärjestelmän tulee pysyä toimintakuntoisena koko sen odotettavissa olevan elinikänsä ajan. (4, s. 92).

Maadoitukset voidaan jakaa käyttö- ja suojamaadoituksiin sähköturvallisuusmääräysten mukaisella tavalla. Suojamaadoituksessa kyse on siitä, että jonkin virtapiiriin kuulumaton jännitteelle altis osa kytketään maahan. Käyttömaadoituksella puolestaan tarkoitetaan virtapiirin osan yhdistämistä maahan suoraan tai pienen impedanssin välityksellä. Käyttömaadoituksen tehtävänä on pitää virtajohtimien jännite maan suhteen sallituissa rajoissa ja estää epäsymmetrian maavirran syntymistä. Suojamaadoituksen tehtävä on estää vaaraa aiheuttavien kosketusjännitteiden synty esimerkiksi laitteiden tai laitteiston metalliosiin. (2, s. 413.)

### 2.1 Maadoitusjännite

Maadoitusjännitteellä tarkoitetaan maadoitusjärjestelmän ja referenssimaan välistä jännitettä (4, s. 22). Maadoitusjännitteelle on turvallisuussyistä asetettu suurimpia sallittuja arvoja. Turvallisuuden kannalta tulisi pyrkiä mahdollisimman alhaisiin maadoitusvastusarvoihin. Alhaisten maadoitusvastusarvojen avulla voidaan estää ihmiselle vaarallisten jännitteiden synty ja saadaan mahdollisimman matala maadoitusjännite. (2, s. 413.) Sallittujen arvojen katsotaan toteutuvan, jos kyseessä oleva asennus on osa laajaa maadoitusjärjestelmää tai maadoitusjännite on todettu mittaamalla tai laskennallisesti (4, s. 95).

Mitatun tai laskennallisesti todistetun maadoitusjännitteen on oltava pienempi kuin standardin SFS 6001 mukainen sallitun kosketusjännitteen arvo kerrottuna kahdella. Arvot katsotaan myös toteutuvan, jos suoritetaan erityistoimenpiteet, jotka ovat riippuvaisia maadoitusjännitteen suuruudesta ja vika-ajan pituudesta. Nämä erikoistoimenpiteet on kuvattu SFS 6001 standardin liitteessä E. (4, s. 95.) SFS 6001 -standardin liite E löytyy opinnäytetyön liitteenä numero 1. Kuvassa 2 on SFS 6001 -standardin kuvaaja sallituista kosketusjännitteistä ajan suhteen suurjännitelaitteistoille. Pienjänniteverkon liittymän maadoituksille ei raja-arvoa ole määrätty standardeissa ja tämän takia ei pienjänniteverkon liittymän maadoitusresistanssia yleensä mitata (3, s.139).

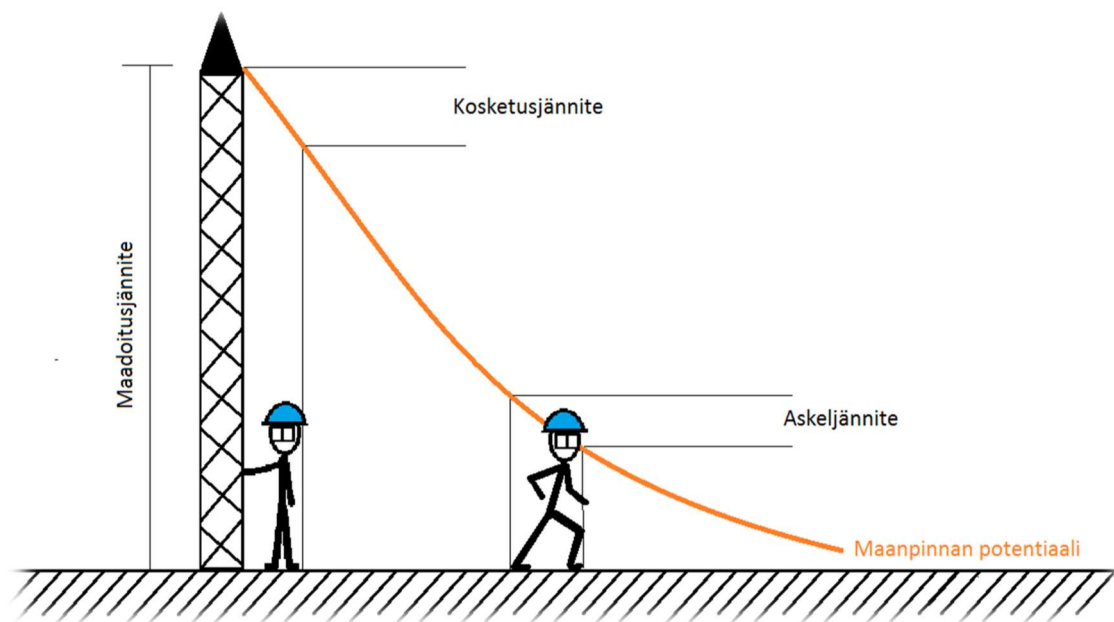


KUVA 1. Suurimmat sallitut kosketusjännitteet (4, s. 97)

## 2.2 Askeljännite ja kosketusjännite

Maadoitusjännitteen yhteydessä puhutaan kosketusjännitteestä ja askeljännitteestä. Kosketusjännitteellä tarkoitetaan jännitettä, joka vaikuttaa kahden ihmisen kehoa samanaikaisesti koskettavan osan välillä. Askeljännite puolestaan on kosketusjännite, joka vaikuttaa kahden jaloilla samaan aikaan kosketettavan

pisteen välillä. Askeljännite ja kosketusjännite kumpikin pyritään pitämään mahdollisimman alhaisina, jotta ihmiselle ei koidu niistä vaaraa. Vain osa maadoitusjännitteestä esiintyy kosketus ja askeljännitteinä. (2, s. 414.) Jos täytetään kosketusjännitteelle annetut vaatimukset, niin myös askeljännitevaatimukset täyttyvät. Sallitut askeljännitteiden arvot ovat paljon suurempia kuin kosketusjännitteille asetetut arvot. Tämä johtuu siitä, että askeljännitteen tapauksessa virtatie kehon läpi on erilainen kuin kosketusjännitteessä. (4, s. 91.) Kuvassa 1 on yksinkertaistettu kuva maadoitusjännitteestä, kosketusjännitteestä sekä kosketusjännitteen erikoistapauksesta, askeljännitteestä.



KUVA 2. Maadoitukseen liittyviä jännitteitä (2, s. 414)

Maadoitusjärjestelmän maadoitusjännite sekä kosketusjännitteet ja askeljännitteet voidaan laskea maan ominaisresistanssi ja maadoitusjärjestelmien maadoitusimpedanssin perusteella. Laskennassa voidaan huomioida kaikki maadoituselektrodit ja muut maadoitusjärjestelmät, jotka on liitetty luotettavasti maadoitusjärjestelmään. (4, s. 123.)

### 3 ERILAISET MAADOITUKSET

Ensisijainen pientalon maadoituksen rakenne on niin kutsuttu perusmaadoitus-elektrodi. Se on renkaan muotoinen maadoituselektrodi, joka on upotettu rakennusvaiheessa maahan perustuksien alle tai upotettu betoniin. (3, s. 16.)

Maadoituselektrodi liitetään maadoitusjohtimella päämaadoituskiskoon, johon liitetään seuraavat johtimet: suojaavat potentiaalintasausjohtimet, maadoitusjohtimet, suojajohtimet sekä mahdolliset toiminnalliset maadoitusjohtimet. Jokaisessa asennuksessa, joka käyttää suojaavaa potentiaalintasausta, on oltava päämaadoituskisko. (5, s. 5-6.) Pienjännitelaitteistojen maadoituksen vaatimukset löytyvät SFS 6000 standardisarjasta ja puolestaan suurjännitelaitteistojen maadoitusten vaatimukset ovat SFS 6001 -standardissa.

#### 3.1 Asema- ja pylväsmaadoitukset

Asemamaadoituksella tarkoitetaan sähköaseman maadoitusta. Se eroaa perusmaadoituksessa siinä, että yleensä sähköasemilla renkaan muotoisen maadoituselektrodin sijasta käytetään verkkomaista maadoituselektrodiä eli maadoitusruudukkoa. Yleensä maadoitusruudukko yhdistetään asemalta lähtevien johtimien ukkosenjohtimiin ja mikäli maan johtavuus on huono, siihen liitetään myös vaakamaadoituselektrodi, joka viedään johtavammalle maaperälle asti. Vaakamaadoituselektrodi on yleensä korkeintaan kilometrin pituinen, sillä tämän jälkeen elektrodin oma impedanssi alkaa olla liian suuri. Asemamaadoituksen maadoitusruudukon silmukkakoolla voidaan vaikuttaa asemalla vallitsevien kosketus ja askeljännitteiden suuruuksiin. (2, s. 423.)

Pylväsmaadoitukset puolestaan ovat sähkönsiirtoon liittyviä maadoituksia, eli esimerkiksi metallipylväiden, riippukaapeleiden kuparivaippojen ja kannatusköysien maadoituksia. Niiden tehtävänä on vähentää ukkosen aiheuttamia häiriöitä, mahdollistaa ja parantaa maasulkusuojausta sekä pienentää maadoitus- ja kosketusjännitteitä pylväässä. Pylväsmaadoituksissa pyritään alustavasti saavuttamaan maadoituksen mitoitusarvo yksinkertaisesti pylväsperustuksien ja haruksien avulla. Näistä syntyvää niin sanottua luonnollista maadoitusresis-

tanssia voidaan parantaa j-lenkillä tai yhdistämällä pylvään jalat toisiinsa. Mikäli luonnollinen maadoitusresistanssi ei ole riittävä, voidaan käyttää vaakamaadoituselektrodeja tai niin kutsuttuja läpimeneviä maadoituselektrodeja. (2, s. 419, 422.)

### **3.2 Laaja maadoitusjärjestelmä**

Laajalla maadoitusjärjestelmällä tarkoitetaan yhtenäistä maadoitusjärjestelmää, joka on toteutettu kytkemällä yhteen useampia paikallisia maadoitusjärjestelmiä. Lähekkäin olevat maadoitusjärjestelmät yhteen kytkettyinä varmistavat sen, ettei ihmiselle vaarallisia kosketusjännitteitä synny laajan maadoitusjärjestelmän alueella. Laajaan maadoitusjärjestelmään voi kuulua sähköasemien, muuntamoiden, pienjänniteverkon ja liittymien maadoituksia. Sähköverkkoyhtiö määrittelee alueet jotka kuuluvat laajaan maadoitusjärjestelmään. Jos esimerkiksi uusi muuntamo rakennetaan laajan maadoitusjärjestelmän alueelle, ei maadoitusimpedanssia tarvitse mitata, kunhan mitataan ja varmennetaan uuden muuntamon liitos laajaan maadoitusjärjestelmään. (3, s. 70.)

Ruutukaavamaiselle kaupunkikeskustalle muodostuu usein laaja maadoitusjärjestelmä, mutta puolestaan rivimäiselle muuntamoketjulle esimerkiksi joen rannalla ei. Rivimäisestä muuntamoketjusta puuttuu laajan maadoitusjärjestelmän vaatima tiheys, joka kaupungista puolestaan löytyy. (3, s. 71.) Suomessa tyypillisesti laaja maadoitusjärjestelmä syntyy tiheästi asuttuihin kaupunkikeskustoihin ja laajoihin teollisuusalueisiin, joissa on useita muuntamoja tiheänä verkko-  
na. Muuntamon maadoitukset yhdistetään ainakin kahden muun muuntamon maadoituksiin, joko suoraan tai esimerkiksi pienjänniteverkon kautta. (4, s. 150.)

Jos kohteessa on laaja maadoitusjärjestelmä, on oltava käytettävissä dokumentit, joissa kerrotaan perusteet laajan maadoituksen käytöstä kohteessa. Dokumenteissa pitää selvittää järjestelmään liittyvät sähköasemat, sähköasemien väliset maadoitusten yhdistykset sekä tulokset yhdistyksiin liittyvistä tarkastuksista ja selvitys siitä, että potentiaalierot ovat riittävän pieniä laajan maadoitusjärjestelmän alueella. (4, s. 150.)

## 4 MAADOITUKSET TEOLLISUUSLAITOKSISSA

Rakennuksessa on yleensä vain yksi maadoitusjärjestelmä. Kun kohteessa on useita eri jännitetasoja, on maadoitusjärjestelmä yhteinen. Yleensä suurjännitemaadoitukset liitetään Pj-puolen maadoitukseen rakennuksen ulkopuolisessa muuntamossa. (3, s. 41.) Suurjännitestandardi SFS 6001 sanelee, kuinka suurjänniteasennukset tulee mitoittaa. Maadoitusjärjestelmän mitoituksen kannalta tärkeimmät tekijät ovat vikavirran suuruus ja kesto sekä maaperän ja maadoituselektrodin ominaisuudet (4, s. 91). Maadoitusjohtimien mitoituksessa vaikuttavat elektrodin lujuus ja korroosiokestävyys. Lujuuden ja korroosiokestävyyden mukaan maadoitusjohtimen poikkipinta on oltava vähintään 16 mm<sup>2</sup>, jos materiaali on kupari, 35 mm<sup>2</sup>, jos materiaali on alumiini, ja 50 mm<sup>2</sup>, jos kyseessä on teräksinen maadoitusjohdin. Näiden lisäksi tulee huomioida maadoitusjohtimen terminen lujuus. (3, s.59) Maadoitusjärjestelmän mitoituksesta termisen lujuuden mukaan on kirjoitettu tarkemmin SFS 6001 -standardin liitteessä D, joka löytyy tämän opinnäytetyön liitteenä 2.

Teollisuuslaitoksissa sekä suurjännite että pienjännitejärjestelmän maadoitukset perustuvat yhteiseen maadoituselektrodiin. Se edellyttää, että maadoituselektrodi ja maadoitukset täyttävät sekä SFS 6000 - että SFS 6001 -standardien antamat vaatimukset. Maadoituselektrodina teollisuudessa voi toimia maahan pystyyn upotetut putkista tai tangoista tehdyt elektrodit, maadoituslevyt, rakennuksen kaivantoihin tai kaapeliojiin asennetut maadoitusköydet, rakennusperusteiden betonirauditus tai jokin edellä mainittujen yhdistelmä. (3, s. 73.) Jos kyseessä on suurempi teollisuusalue, jossa on useita muuntamoja lähekkäin, voi alueelle syntyä myös laaja maadoitusjärjestelmä (4, s. 150).

### 4.1 Maadoitus kiskot

Maadoituksen kiskot tulee asentaa helposti luokse päästäviin paikkoihin, jotta niille voidaan suorittaa mittauksia ja tarkastuksia. Rakennuksen päämaadoituskisko sijaitsee yleensä teollisuusrakennuksen pääkytkinlaitoksella. Päämaadoituskiskoon eli MEB-kiskoon liitetään PE-kiskot, potentiaalintasaus ja lisämaa-

doituskiskot (LMK-kiskot ja EB-kiskot), päämaadoitusjohtimet, metalliset putkistot ja rakennuksen metallirakenteet, toiminnalliset maadoituskiskot eli FE-kiskot ja antenni ja puhelinlaitteiden maadoitus. (3, s. 73.)

Lisämaadoituskiskot (LMK-kiskot) ovat asennettuina esimerkiksi muuntamoon, jakokeskukseen tai automaatiotiloihin ja niihin liitetään vaaralliselta kosketusjännitteeltä suojattavien laitteiden suojamaadoitusjohtimia. Toiminnallisen maadoituksen kiskot eli FE-kiskot ovat puolestaan tarvittaessa asennettuina automaatiotiloihin tai vastaaviin tiloihin, joissa niihin liittyy häiriöltä suojattavia elektronisia laitteita. (3, s. 73.)

#### **4.2 Maadoituksen dokumentaatio teollisuuslaitoksissa**

Voimalaitoksissa maadoituksen piirustukset on piirrettävä ja pidettävä ajantasaisina sekä SFS 6000 että SFS 6001 standardien mukaisella tavalla. Voimalaitoksissa on maadoituksista oltava tarkka kartta sekä maadoituselektrodeista että niille menevistä maadoitusjohtimista. Myös rakennuksen sisäisistä PE- ja TE-verkosta on oltava kaavio, jossa näkyy kaikkien kiskojen sijainnit ja tunnukset. (3, s. 78.)

Maadoitusjärjestelmästä täytyy olla käytettävissä asemapiirros, josta selviää elektrodien haaroituspisteet ja asennussyvyys. Maadoitusjärjestelmän asemapiirroksista täytyy selvittää myös maadoituselektrodien materiaali ja sijainti. Jos standardissa määriteltyjen suurimpien sallittujen kosketusjänniteraja-arvojen saavuttamiseksi on tehty erityistoimenpiteitä, nekin on nähtävä asemapiirroksista ja kuvattava dokumenteissa. (4, liite M. s. 134) Maadoituksen dokumentaatio kuuluu määräaikaistarkastuksen piiriin, sillä tarkastuksessa tarkastetaan laitteiston käytön sekä huollon edellyttämien ohjeiden ja piirustusten saatavuus ja niiden ajantasaisuus. Muuntamoilla ja sähköasemilla tarkastetaan määräaikaistarkastuksessa maadoitusjärjestelmän määräystenmukaisuus ja määrävällein vaadittujen mittausten suoritus ja tuloksien määräystenmukaisuus. Muuntamoiden ja sähköasemien maadoituskaaviot ja maadoitusresistanssiarvot myös tarkastetaan. (6, s. 10-11.)

Jos laitos kuuluu laajaan maadoitusjärjestelmään, maadoitusjärjestelmän perussuunnitelma on riittävä, eikä maadoitusresistanssin tai maadoitusjännitteen todentaminen ole tarpeellista. Dokumenteissa on kuitenkin todettava ja todennettava, että kaikki yksittäiset maadoitukset on yhdistetty laajaan maadoitusjärjestelmään luotettavasti. Laajan maadoitusjärjestelmän ulkopuolisten asennusten maadoitusresistanssit ja maadoitusjännite tulee laskea tai mitata. Tarvittaessa on myös suoritettava kosketusjännitteiden tarkistukset mittaamalla tai laskemalla. (4, liite M, s. 134)



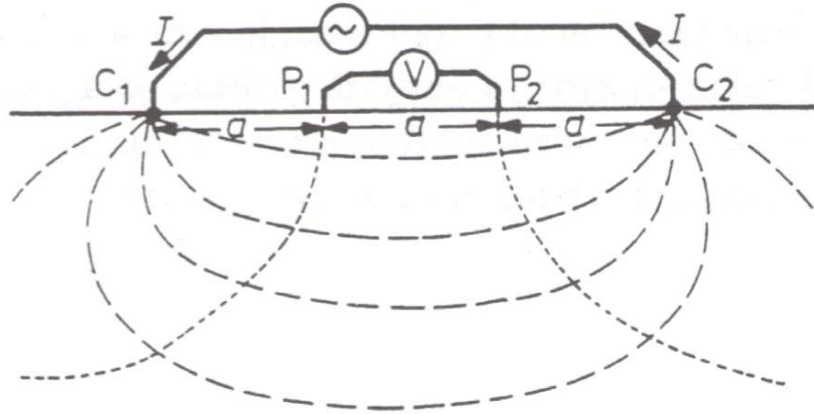
## 5 MAADOITUSKEN MITTAUKSET

Maadoitusimpedanssilla tarkoitetaan asennuksen tai järjestelmän kohdan ja maan välistä impedanssia tietyllä taajuudella. Maadoitusresistanssi puolestaan on maadoitusimpedanssin reaaliosa. (4, s. 22.) Maadoituksen tehokkuuden mittarina käytetään yleensä nimenomaan maadoituselektrodin maadoitusresistanssia. Maadoitusresistanssi ilmoittaa elektrodin potentiaalin sekä maadoituksen kautta maahan kulkevan virran osamäärän. (2, s. 413.)

Maadoituselektronin maadoitusresistanssin suuruus määräytyy maadoitusvirrasta sekä maadoitusjännitteestä (2, s. 413). Maadoituselektrodin maadoitusresistanssin arvo on verrannollinen maaperän sähkönjohtavuuteen, maadoituselektrodin mittoihin sekä asennustapoihin. Suurin vaikutus on maadoituselektrodin pituudella, kun puolestaan maadoituselektrodin paksuudella ei niinkään ole vaikutusta maadoitusresistanssin arvoon. (4, s. 123.)

### 5.1 Maan ominaisresistanssi

Maan ominaisresistanssin mittaaminen on ensimmäinen askel maadoituksen suunnittelussa. Maan ominaisresistanssin mittausta tapahtuu käyttäen niin kutsuttua neljän piikin menetelmää. Neljän piikin menetelmässä neljä maadoituspiikkiä isketään maahan riviin siten, että niiden etäisyys toisistaan on huomattavasti suurempi kuin niiden upotus syvyys. (2, s. 427.) Maan ominaisresistanssin mittauksen periaate yksinkertaisimmillaan näkyy kuvassa 3.



KUVA 3. Nelipiikkimenetelmän periaate (2, s. 428)

Yksinkertaisessa mittauksessa virta johdetaan maahan elektrodien C1 ja C2 avulla. Elektrodien P1 ja P2 avulla mitataan jännitettä maassa. P1 ja P2 välisen jännitteen avulla saadaan laskettua maadoitusvastus, kun tiedetään maassa kulkeva virta käyttäen kaavaa 1. Maadoitusresistanssilla puolestaan voidaan laskea maan ominaisresistanssi kaavalla 2. (2, s. 427.)

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

KAAVA 1

$R_m$  = maadoitusresistanssi

U = jännite

I = virta.

$$\rho = 2\pi a R_m$$

KAAVA 2

$\rho$  = maan ominaisresistanssi

a = sauvojen välinen etäisyys

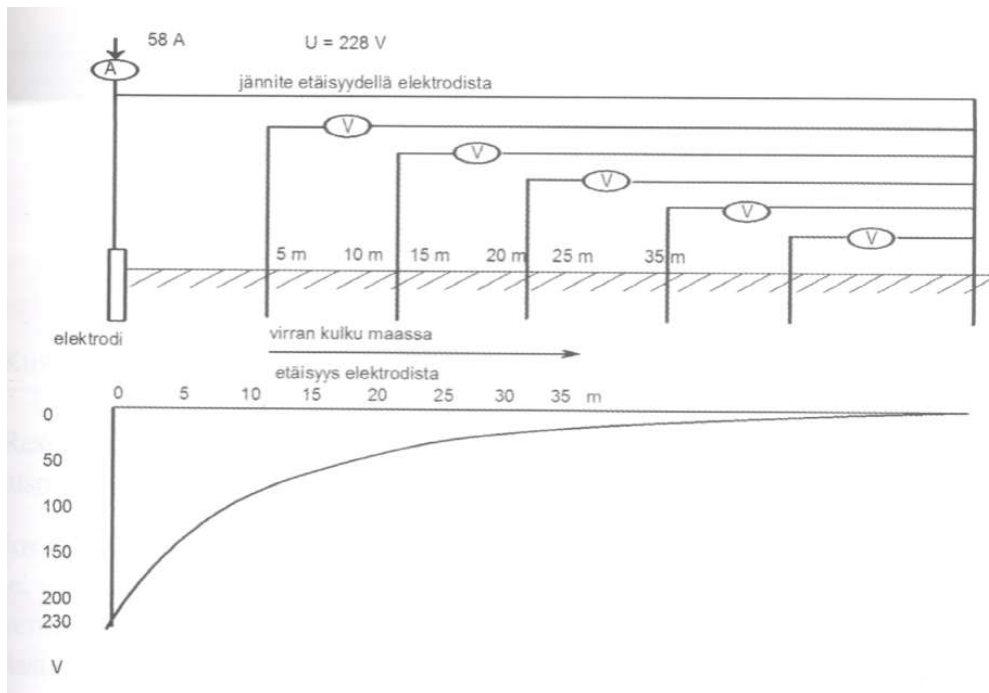
## 5.2 Maadoitusresistanssin mittaus

Maadoitusresistanssi on mitattava aina, kun sille on määrätty suurin sallittu arvo. Kohteessa sallitun arvon määräävät yleensä maasulkuvirta ja maadoitusjännite. Pienjänniteverkon liittymän maadoituksilla ei esimerkiksi ole määrätty

raja-arvoa. Maadoitusresistanssi mittaukset joudutaan tyypillisesti suorittamaan muuntajan suurjännitepuolen suojamaadoituksessa, sähköaseman maadoituksissa, enintään 1 kV jakeluverkon maadoituksissa, kun järjestelmä on alttiina yli 1 kV:n jännitteille sekä edellä mainittujen laitteistojen yhteisille maadoituksille. (3, s. 139.)

Maadoitusresistanssin mittaus suoritetaan yleensä laitteiston käyttöönoton yhteydessä sekä määräajoin tehtävissä tarkastuksissa. Kohde voidaan kuitenkin ottaa käyttöön ja maadoitusvastusmittaus siirtää keväälle, koska maadoitusten lopullinen kuntoon tekeminen on talviolosuhteissa vaativaa. Tässä tapauksessa mittaus suoritetaan pian roudan sulamisen jälkeen. Jos kyseessä on laaja maadoitusjärjestelmä, riittää että yhden kohteen maadoitusvastusarvo mitataan. Määräajoin suoritettavat maadoitusvastusmittaukset ovat osa laitteiston kunnossapitoa ja huoltoa. Maadoitusvastukset mitataan 6 - 12 vuoden välein riippuen maadoituksen rakenteesta ja luotettavuudesta. (3, s. 140.)

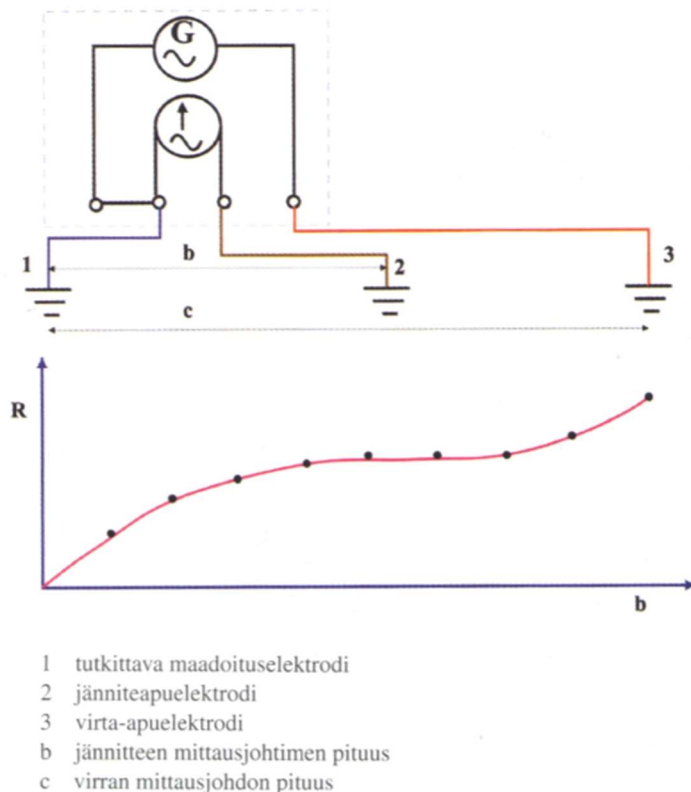
Tavallisessa tapauksessa maadoitusvastusmittaus suoritetaan syöttämällä mitattavan maadoituselektrodin kautta virtaa maahan ja mittaamalla tämän jälkeen elektrodin yli vaikuttavaa jännitettä. Tämän jälkeen maadoitusvastusarvo voidaan laskea kaavalla 1 aivan kuten maan ominaisvastusta mitattaessa. Maahan kulkeva virta jakautuu maadoituselektrodista siten, että virta on suurin maadoituselektrodin läheisyydessä ja pienin kauempana maadoituselektrodista. Virta aiheuttaa maassa jännite-eroja, jotka ovat myös suurempia lähempänä elektrodia. (3, s. 140) Kun mitataan maadoitusresistanssin arvoa, samaan suuntaan ja sopivien välimatkojen välein saadaan kuvan 4 mukainen kuvaaja.



KUVA 4. Maadoitusvastusmittaus (3, s. 141)

### 5.2.1 Käännepistemenetelmä

Käännepistemenetelmä on maadoitusvastusmittauksen yksi menetelmä, jossa mitataan suoraan maadoitusvastusarvoja. Tässä menetelmässä mitatuista arvoista muodostetaan kuvaaja, johon muodostuu käännepiste. Käännepisteestä saadaan selville tutkittavan maadoituksen maadoitusresistanssi. Mittaus voidaan suorittaa kompensatio periaatteella toimivalla maadoitusresistanssi mittarilla. Mittauksessa käytettävä jännite on 100 - 500V ja taajuus 70 - 140Hz. Mittauksessa mittauksen apuelektrodien on sijaittava maadoituksen ulkopuolella, ja ne on pyrittävä sijoittamaan poissa muiden maadoituselektrodien ja esimerkiksi metallisten vesijohtojen läheisyydestä. (3, s. 142.) Kuvassa 5 näkyy mittausjärjestelyt käännepistemenetelmä mittauksessa.



KUVA 5. Käännepistemittaus (3, s. 142)

Mittauksessa mittarin oma virtalähde syöttää mittausvirran mitattavaan elektrodiin. Maadoituselektrodista virta kulkee maan kautta virta-apuelektrodille, josta se kulkee takaisin virtalähteelle. Mittaaminen tapahtuu siirtämällä jänniteapuelektrodia mittauspisteen ja virta-apuelektrodin välillä. Jänniteapuelektrodin avulla mitataan apuelektrodin ja mitattavan maadoituselektrodin välinen potentiaaliero, josta lasketaan maadoitusresistanssin arvo mittapisteelle. Mittauksen aikana mitataan useita mittapisteitä maadoituselektrodin ja virta-apuelektrodin välillä. Jokaisesta jänniteapuelektrodin mittapisteestä mitataan maadoitusresistanssi. Mittatuloksista saadaan maadoitusresistanssin ja jännitejohtimen pituuden välinen käyrä, jossa tulisi näkyä käännepiste. Virta-apuelektrodi voi mittauksen aikana olla esimerkiksi 200 metrin päässä mittapisteestä. Jänniteapuelektrodia puolestaan tulee siirtää aina ainakin 0,5 metrin matka. (3, s. 142.)

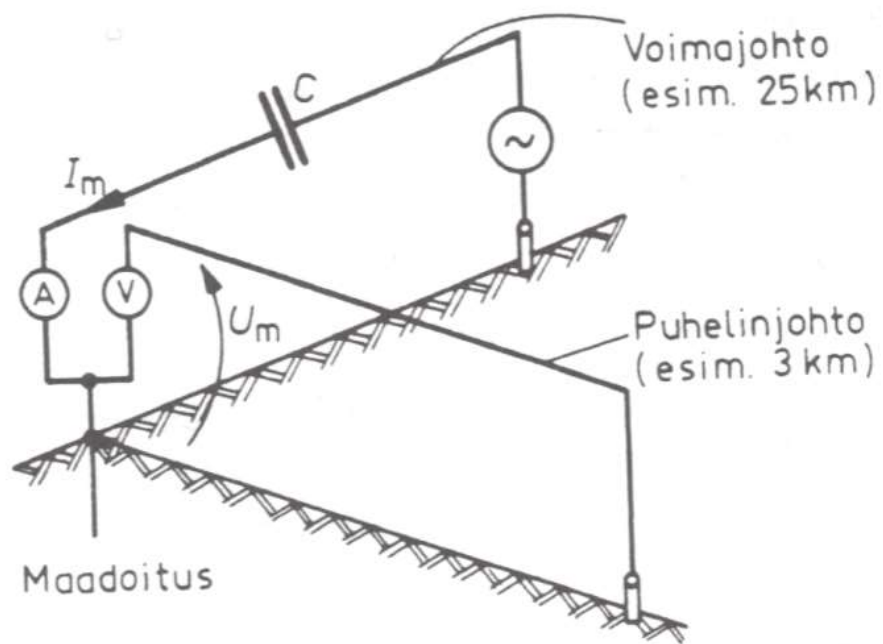
### 5.2.2 V-A-mittarimenetelmä

Jos maadoitusjärjestelmä ei ole kovin laaja, voidaan maadoitusvastusmittauksessa käyttää maadoitusmittaria. Laajojen maadoitusten mittauksessa maadoi-

tusmittarilla ei saada luotettavia tuloksia koska tarvitaan erittäin pitkät apuelektrodien etäisyydet. Etäisyyksien ollessa pitkät mittalaitteen tehokin alkaa olla rajallinen. Myös mittauspiiriin indusoituvat häiriöjännitteet voivat sotkea tulosta yrittäessä mitata laajoja maadoituksia siltamittauksessa. Suurempien maadoitusten maadoitusvastusarvo voidaan toteuttaa luotettavasti V-A-mittarimenetelmällä. (2, s. 141.)

V-A-mittarimenetelmässä simuloidaan oikeaa maasulkutilannetta syöttämällä virransyöttömuuntajan syöttämä mittausvirta maadoitukseen kaukaa esimerkiksi voimajohdon avulla. Virta kulkee mittauksessa kauempana sijaitsevan vastamaadoituselektrodin ja maadoituselektrodin kautta. Jännite puolestaan mitataan apuelektrodin ja maadoituksen väliltä. Mitattu jännite on suoraan maadoitusjännite ja siitä voidaan laskea maadoitusresistanssi kaavalla 1. Mittauksessa käytettävät apuelektrodit ovat etäällä sekä toisistaan että mittauskohteesta. (2, s. 142.)

Mittaus voidaan suorittaa esimerkiksi syöttämällä 10-50 A virtaa maadoituksen lävitse käyttäen apuna jonkin riittävän etäisyyden päässä sijaitsevan aseman maadoitusta ja asemien välistä johtoa. Virta voidaan ottaa sopivasta muuntajasta tai generaattorista ja jännite voidaan mitata suuri-impedanssisella jännitemittarilla esimerkiksi puhelinjohdon avulla. (2, s. 429.) Kuvassa 5 näkyy, miten laaja maadoitus voitaisiin mitata.



KUVA 5. Laajan maadoituksen maadoitusvastusmittaus (2, s. 430)

## 6 TOPPILAN VOIMALAITOS

Toppilan voimalaitos on Oulun Energian omistama turvevoimalaitos, joka sijaitsee Oulun Toppilassa. Toppilan voimalaitos tuottaa vuodessa noin 30 % Oulun Energian hankkimasta sähköstä ja noin 70 % Oulun Energian kaukolämmöstä. Voimalaitos koostuu kahdesta yksiköstä, Toppila 1 ja Toppila 2, ja kahdesta 130 metrin korkuisesta piipusta. Voimalaitoksen eteläseinään on myös vastikään rakennettu aurinkovoimala, joka on teholtaan 270 kW. Voimalaitoksen polttoaineet ovat oman maakunnan puu ja turve. Pääpolttoaine on yhä turve, vaikka puun käyttöä on lisätty viime vuosien aikana. (7.)

Toppilan voimalaitos tuottaa sekä sähköä että lämpöä, eli se on tyypiltään lauhdevoimalaitos. Laitoksen toiminta perustuu siihen, että turvetta tai puuta polttamalla saadaan lämmitettyä vesi höyryksi, joka kiertää omaa piiriään turbiinin ja lämmöntalteenottopiirin läpi. Lämmin kaukolämpövesi jaetaan Oulun alueella kaukolämmön asiakkaille kaukolämpöverkkoa pitkin. Laitoksessa tuotettu sähkö puolestaan siirretään 110 kV kentän avulla eteenpäin.

Toppilan voimalaitosten sähköjärjestelmä koostuu 110 kV kentästä ja kahdesta päämuuntajasta sekä voimalaitoksen sisäisestä jakeluverkosta. Päämuuntajat ovat kooltaan 85 MVA ja 158 MVA, ja suurempi muuntaja on uudemman laitoksen eli Toppila 2 -laitoksen päämuuntaja. Toppilan voimalaitoksilla on 4 erillistä 6,3 kV kiskostoa, joista yksi on jaettu voimalaitosten kesken ja tarkoitettu varavoimalle. Automaatiojärjestelmät on pyritty keskittämään yhteen tilaan, jota kutsutaan ristikytkentätilaksi.

### 6.1 Toppilan voimalaitoksen maadoitusjärjestelmä

Voimalaitoksen maadoituselektrodi koostuu koko voimalaitosalueen ympäri kiertävästä maadoituselektrodista, 110 kV kytkinkentän maadoitusruudukosta ja vaakamaadoituselektrodista, joka on vedetty aina mereen asti. Kaikki kolme maadoituselektrodia ovat yhteydessä keskenään. Maadoitusjärjestelmä on liitetty useasta kohtaa johtaviin putkistoihin. Vaakamaadoituselektrodissa on asen-



nusvaiheessa mietitty mahdollisia laajennuksia jättämällä liitöntöjä voimalaitoksen läheisyyteen. Liitöntöjä ei valitettavasti ole hyödynnetty laajennuksia rakennettaessa. Jokaisessa rakennuksessa on tämän lisäksi maadoitukseen liitetty betonirauditus. Joissakin rakennuksissa on tämän lisäksi esimerkiksi omia aluemaadoitussilmukkoja ja vaakamaadoituselektrodeja.

Suurin osa voimalaitoksen päämaadoituskiskoista on yhteydessä keskenään, joko kiskojen välisillä maadoitusjohtimilla tai voimalaitoksen aluemaadoituksen eli maadoituselektrodin kautta. Päämaadoituskiskoihin on liitetty myös tarvittaessa lisämaadoituskiskoja esimerkiksi eri sähkötiloihin ja eräässä kohteessa katolle. Osa päämaadoituskiskoista on liitetty voimalaitosaluetta kiertävään elektrodiin, kun taas osa on liitetty jo aiemmin mainittuun vaakamaadoituselektrodiin. Maadoituskiskoihin on liitetty luonnollisesti myös johtavia putkia ja esimerkiksi kaapelihyllyt.

## **6.2 Toppilan voimalaitoksen maadoituksen parannukset**

Laitoksen kiskot kuuluivat samaan maadoitusjärjestelmään muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Esimerkiksi turpeenvastaanoton vanhan ja uuden sähkötilan kiskon väliltä puuttui yhteys. Joissakin tapauksissa myös MEB ja SEB-kiskojen välinen yhteys oli unohdettu rakentaa. Opinnäytetyön aikaisen selvitystyön pohjalta suunniteltiin maadoitukseen tarvittavat muutokset, joiden avulla laajaa maadoitusjärjestelmää voitaisiin soveltaa kohteessa. Kun kyseessä on laaja maadoitusjärjestelmä, ei maadoitusmittauksia tarvitse järjestää kuin yksi ja täten se voisi olla ideaalinen ratkaisu myös Toppilan voimalaitoksella. Eräs maadoitusjohdin on jatkettu metallirungon avulla päämaadoituskiskolta lisämaadoituskiskolle.

SFS 6001-standardin mukaan maadoitusjohtimen jatkaminen metallirungosta on sallittua, kunhan kyseessä ei ole metallinen vesiputki, palavaa kaasua tai nestettä sisältävä putki, rakenneosia, joihin normaalilanteessa kohdistuu mekaanisia rasituksia, taipuisa tai taivuteltava putki, taipuisa metalliosa, kannatinköysi tai kaapelihylly. Lisäksi metalliosan tulee olla johtokyvyltään riittävän hyvä ja maadoitusjohtimet tulee kiinnittää siten että jatkuvuus on varmistettu. (5, s.

10) Koska kyseessä oli erittäin kookas alumiininen osa ja liitännät oli tehty luotettavasti, ei kyseistä liitäntää tarvitse muuttaa.

Useilla kiskoilla ei ollut positioita tai kiskon positio oli jo varattu toiselle kiskolle. Näin ollen opinnäytetyön aikana täytyi myös nimetä uudelleen useita kiskoja. Uudet kiskojen positiot tuli lisätä laitoksella käytössä olevaan kunnossapitojärjestelmään. Nimeämisen myötä kiskoille täytyi tehdä myös uudet nimikilvet. Voimalaitoksen kunnossapito lisää uudet nimikilvet sekä kaapeleiden lisäyksen kiskojen välille myöhemmin. Laitoksen maadoitukset ovat kaikki yhteydessä toisiinsa, kun suoritetaan opinnäytetyössä selvitettyt korjaukset. Kun kaikki maadoitukset Toppilan voimalaitoksella yhdistetään, voi Toppilan voimalaitoksen alueelle syntyä laaja maadoitusjärjestelmä.

Laajan maadoitusjärjestelmän alueella ei ole lainkaan tai on vain vähäisiä potentiaalieroja. Laaja maadoitusjärjestelmä alueella voidaan todentaa esimerkiksi mittaamalla tai laskemalla. (4. Liite O, s. 136.) Jos jatkossa voimalaitoksen alueelle lisätään esimerkiksi muuntamo, ei sen maadoitusresistanssia tarvitse mitata. Muuntamoa rakennettaessa tulee varmistua, että muuntamon maadoitus on varmasti yhteydessä Toppilan alueen maadoitusjärjestelmään.

## 7 TOPPILAN VOIMALAITOKSEN MAADOITUSPIIRUSTUKSET

Maadoituspiirustuksissa oli puutteita, joista mainittiin Toppilan voimalaitoksen määräaikaistarkastuksessa vuonna 2015. Puutteet on tarkoitus korjata ennen seuraavaa määräaikaistarkastusta vuonna 2025. Laitoksen elinkaaren aikana on laitokseen tullut paljon muutoksia, joiden johdosta maadoituksen dokumentaatio ei ollut ajantasainen. Esimerkiksi osia rakennuksesta oli rakennettu täysin uudestaan ja laitoksen kylkeen oli rakennettu lisää voimalaitoksen osia. Kuvia on myös kadonnut aikojen saatossa ja joitakin kuvia ei välttämättä ole tehty ollenkaan. Kuvien kartoittaminen oli haasteellista, sillä osa kuvista löytyi kansioista ja osa verkkolevyiltä. Varsinkin verkkolevyiltä hakeminen oli vaativaa, sillä tiedostonimet ja sijainnit eivät aina olleet yksinkertaisia.

Dokumentaation helppo löytäminen on ensiarvoisen tärkeää sekä kunnossapidon että tulevaisuuden suunnittelun kannalta. Jokaisesta päämaadoituskiskosta tulee olla kuva, josta voidaan selkeästi nähdä kiskon liitännät eri kohteisiin ja muihin kiskoihin. Opinnäytetyössä tehtiin useita uusia kiskokohtaisia kuvia sekä kuva päämaadoituskiskojen välisistä yhteyksistä.

Kiskokohtaisiin kuviin käytettiin mallina vuonna 2016 valmistuneen Toppilan voimalaitoksen aurinkovoimalan maadoituskuvaa. Kuva oli helppolukuinen ja sisälsi hyvin kaiken tarvittavan tiedon, kuten kaapeleiden paksuudet, maadoituskiskon sijainnin ja tilan korkeuden merenpinnasta. Suurin osa opinnäytetyössä tehdyistä kiskokohtaisista kuvista on yksisivuisia. Joissakin kiskoissa on kuitenkin enemmän yhteyksiä eri kohteisiin ja pienempiin kiskoihin. Näihin kuviin tuli useampi sivu ja viimeisille sivuille lisättiin kuva pienempien kiskojen yhteyksistä. Esimerkki tällaisesta kuvasta löytyy opinnäytetyön liitteenä 3. Kuvien tekemisessä käytettiin hyväksi vanhaa dokumentaatiota, siinä määrin kuin sitä oli tarjolla. Esimerkki kuvasta, jossa vanhaan olemassa olevaan dokumenttiin on korjattu erilaiset muutokset, löytyy työn liitteenä 4.

Lisäksi dokumentaation selvityksessä oli seurattava paikan päällä, mihin johtimet kiskolta kulkivat. Maadoituskiskojen välisistä yhteyksistä tuli olla selkeä

kaavio, josta selviää kiskojen sijainnit ja nimet. Tämä maadoituskuva ilman positioita ja tarkkoja paikkatietoja löytyy liitteestä 5. Koska kiskojen välisissä yhteyksissä oli korjattavaa, tehtiin opinnäytetyössä myös korjausehdotukset erilliseen kuvaan. Kuva, jossa näkyy tarvittavat korjaukset, löytyy työn liitteenä 6. Korjaukset ovat tarvittavia, jotta maadoitusjärjestelmä olisi yhtenäinen voimalaitoksen alueella.

Jotta tulevaisuudessa kuvat olisivat saatavilla ja helposti löydettävissä, tulisi ne lisätä voimalaitoksella käytössä olevaan ALMA-tiedonhallintajärjestelmään. ALMA -tiedonhallintajärjestelmä on ALMA Consulting Oy:n tuottama ohjelma, joka erikoistuu dokumenttien hallintaan. Se on tarkoitus olla työväline suurtenkin tietomäärien hallitsemiseen. ALMA sisältää esimerkiksi monipuolisia hakutoimintoja ja toimintoja, jotka helpottavat dokumenttien ajantasaisuuden hoitamista ja tarkastelua. (8.)

ALMA -tietokantaan tehtäisiin fyysisen kansion mukainen kansio, josta löytyisi sähköiset versiot maadoituskuvista. ALMAan tehtäisiin myös viittaukset maadoituskuviin ja muihin kuviin. Vanhat maadoituskuvat, jotka eivät pidä paikkaansa, poistetaan verkkoasemalta ja fyysisistä mapeista. Vanhat kuvat, jotka pitävät paikkansa lisätään ALMAan ja niihin lisätään viittauksia muihin kuviin tarvittaessa. ALMA -järjestelmään lisääminen tehdään myöhemmin opinnäytetyön ulkopuolella. Dokumentaation taltioinnista ALMA -järjestelmään tehtiin työtilaus Voimalaitoksen sähkösuunnittelulle.

## 8 VOIMALAITOKSEN MAADOITUSRESISTANSSIN MITTAUS

Maadoitusresistanssin mittaus suunniteltiin tarkoituksella opinnäytetyön loppupuolelle, sillä routainen maa ei ole ideaalinen maadoitusresistanssin mittaukselle. Alkuperäisen suunnitelman mukaan oli maadoitusresistanssi tarkoitus mitata huhtikuussa. Mittaukset jätettiin kuitenkin pois tästä opinnäytetyöstä koska aika dokumentaation tutkimisen kului odotettua enemmän.

Maadoitusresistanssin mittauksista pitäisi olla olemassa mittauspöytäkirja, jonka avulla maadoitusresistanssin mittaus laitokselle helpottuisi huomattavasti. Mittausmenetelmänä voisi käyttää esimerkiksi käännepistemenetelmää (siltamittaus) yksinkertaisuuden vuoksi. Jos laitoksesta on rakennusvaiheessa mitattu maadoitusresistanssi, pystytään mittaus yksinkertaistamaan käyttäen 60 %:n sääntöä käännepistemetelmässä. Mikäli mittauksen tulokset ovat asianmukaiset, voidaan mittauksen mittauspöytäkirja taltioida sekä paperi että PDF-muodossa asiaan kuuluvalla tavalla. Jos tulokset vaikuttavat epäilyttäviltä, tulisi maadoitusresistanssin mittausmenetelmän vaihtamista harkita, sillä siltamittaus on herkkä häiriöille.

Jos laitokselle ei ole valmistusvaiheessa mitattu maadoitusvastusmittausta, tulee se mitata. Mittausta varten tulee selvittää mikä maadoitusresistanssin suurin sallittu arvo Toppilan voimalaitoksella. Mittausta suorittaessa tulee kiinnittää huomiota sen toistettavuuteen, dokumentaation selkeyteen ja dokumentaation löydettävyyteen. Jos voidaan todentaa, että laitoksen alueella on käytössä laaja maadoitusjärjestelmä, voidaan mittaus suorittaa yhdestä pisteestä ja se kattaa koko järjestelmän.

## 9 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Toppilan voimalaitoksen maadoituksen dokumentaatio johtuen vuonna 2015 määräaikaistarkastuksessa havaituista puutteista. Maadoitusten selvitykseen liittyen opinnäytetyössä tuli suorittaa voimalaitokselle maadoitusresistanssimittaus.

Kokonaisen voimalaitoksen maadoituksen täydellinen selvittäminen on erittäin laaja projekti, joka vaatii paljon aikaa ja tuntemusta laitoksesta. Kokonaisuuden kannalta ei kannata pyrkiä pikkutarkkaan ja täydelliseen dokumentaatioon alueesta, vaan dokumentaation tulee olla riittävän tarkka ja toimiva. Oman rajansa dokumentaation täydellisyydelle asettaa myös aikataulu ja ei ole järkevää käyttää turhan paljoa aikaa yhden laitoksen osan dokumentaatioon. Tärkeintä maadoituksen dokumentaatiossa on tietenkin selkeys ja ajantasaisuus, jotta vältetään turhilta sekaannuksilta.

On tärkeää toteuttaa dokumentaatoratkaisu, joka on järkevä kokonaisuuden kannalta. Koska kokonaisuus oli niin laaja, ei opinnäytetyössä käsitelty esimerkiksi ollenkaan sosiaalitulojen maadoituksia. Myös muutamia voimalaitosalueenkin kiskoja jätettiin työn ulkopuolelle aikataulullisista syistä johtuen. Tärkeämpää oli selvittää laitoksen toiminnan kannalta tärkeät maadoitukset.

Opinnäytetyössä selvitettiin suurin osa laitoksen dokumentaatiosta, mutta osa dokumentaatiosta oli mahdotonta selvittää. Joistakin maadoituskiskoista ei ollut minkäänlaista dokumentaatiota tallessa ja kaapeleiden seuraaminen laitoksella oli mahdotonta. Pääosin tarkastettiin kiskojen liitännöitä voimalaitosalueella kaapelimerkintöjen ja kaapeleiden reittien perusteella. Välillä jouduttiin luottamaan myös vanhentuneeseen dokumentaatioon.

Opinnäytetyön tuloksena on maadoituksen dokumentaatio kuitenkin paremmassa kunnossa kuin ennen opinnäytetyötä. Osa maadoituskiskoista ei ollut yhdessä muun järjestelmän kanssa, ja näistä kiskoista opinnäytetyön aikana tehtiin työtilaukset Toppilan voimalaitoksen kunnossapitojärjestelmään. Maadoi-

tusjärjestelmään liittämättä olevat maadoituskiskot liitetään järjestelmään myöhemmin.

Maadoitusresistanssin mittaus jäi työn aikana tekemättä Toppilan voimalaitokselle. Tämä johtui siitä, että aikaa voimalaitoksen maadoitusten ja sen dokumentaation selvittämiseen kului odotettua enemmän. Maadoitusresistanssin mittaaminen kuitenkin helpottuu, kun toteutetaan opinnäytetyössä suunnitellut korjaukset maadoitusjärjestelmään. Muutoksien johdosta voidaan maadoitusjärjestelmää käsitellä laajana maadoitusjärjestelmänä ja maadoitusvastusmittaus voidaan suorittaa yhdestä pisteestä.

Opinnäytetyön tuloksena on Toppilan voimalaitoksen maadoitusjärjestelmä ja Toppilan päämaadoituskiskot dokumentoitu paremmin. Toppilan maadoituksista tehtiin oma ”Toppilan Maadoitukset” kansio, joka sisältää voimalaitoksen Päämaadoituskiskojen väliset yhteydet kuvaavan kuvan sekä voimalaitoksen päämaadoituskiskojen kiskokohtaiset kuvat. Kiskokohtaisissa kuvissa näkyy selvästi, mitä päämaadoituskiskoon on liitetty, millä kaapelilla liitos on tehty ja missä kisko sijaitsee.

## LÄHTEET

1. Konsernin esittely, 2017. Oulun energia Oy. Saatavissa:  
<https://www.oulunenergia.fi/energia-ja-ymparisto/energiantuotanto/voimalaitokset/toppilan-voimalaitos> Hakupäivä 27.3.2017
2. Elovaara, Jarmo – Laiho, Yrjö 2007. Sähkölaitostekniikan perusteet 499. Helsinki: Otatieto
3. Maadoituskirja. 2014. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry
4. SFS-EN 6001. 2015. Suurjännitesähköasennukset, Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
5. SFS-EN 6000-5-54. 2012. Pienjännitesähköasennukset. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. maadoittaminen ja suojajohtimet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
6. ST 51.23. 2005. Määräaikaistarkastuksen suorittaminen. Espoo: Sähkötiety ry
7. Toppilan voimalaitos, 2017. Oulun energia Oy. Saatavissa:  
<https://www.oulunenergia.fi/energia-ja-ymparisto/energiantuotanto/voimalaitokset/toppilan-voimalaitos> Hakupäivä 6.2.2017
8. Ratkaisuja elinkaaren eri vaiheisiin, 2017. ALMA Consulting Oy. Saatavissa:  
<http://www.alma.fi/ratkaisut/teknisen-tiedon-ja-dokumentaation-hallinta> Hakupäivä 27.3.2017



## **LIITTEET**

Liite 1 SFS6001 liite E (4, s. 115 - 116)

Liite 2 SFS6001 liite D (4, s. 111.)

Liite 3 Kiskokohtainen kuva 1

Liite 4 Kiskokohtainen kuva 2

Liite 5 Kiskojen väliset yhteydet

Liite 6 Kiskojen väliset yhteydet korjausehdotus

## Liite E (velvoittava) Erityistoimenpiteiden M kuvaus

**Taulukko E.1 Erityistoimenpiteiden M käyttö sallittujen kosketusjännitteiden  $U_{Tp}$  takaamiseksi (ks. kuva 4)**

Vian kestoaika $t_f$	Maadoitusjännite $U_E$	Asennuksia ympäröivät aidat ja ulkoseinät	Asennustyyppi	
			Sisäasennus	Ulkoasennus
$t_f > 5 \text{ s}$	$U_E \leq 4 \times U_{Tp}$	M1 tai M2	M 3	M 4.1 tai M 4.2
	$U_E > 4 \times U_{Tp}$	Osoitettava, että $U_T \leq U_{Tp}$	M 3	M 4.2
$t_f \leq 5 \text{ s}$	$U_E \leq 4 \times U_{Tp}$	M 1 tai M 2	M 3	M 4.2
	$U_E > 4 \times U_{Tp}$	Osoitettava, että $U_T \leq U_{Tp}$		

- M 1** Erityistoimenpiteet sisäasennuksia sisältävien rakennusten ulkoseinille ja niitä ympäröiville aidoille. Erityistoimenpiteitä M 1.1 – M 1.3 voidaan käyttää ulkopuolisilta kosketusjännitteiltä suojautumiseen.
- M 1.1** Ulkoseinissä käytetään johtamatonta materiaalia, (esim. kiviainesta tai puuta) ja vältetään ulkopuolelta kosketeltavissa olevia maadoitettuja metalliosia.
- M 1.2** Toteutetaan potentiaalinhjaus maadoitusjärjestelmään yhdistetyllä vaakamaadoituselektrodilla, joka asennetaan noin 1 m etäisyydelle ulkoseinän ulkopuolelle enintään 0,5 m syvyyteen.
- M 1.3** Käyttöpaikka eristetään. Eristävien osien tulee olla mitoiltaan riittäviä, jotta eristyksen ulkopuolelta on mahdotonta koskettaa käsin maadoitettuja johtavia osia. Jos koskettaminen on mahdollista vain sivuttaissuunnassa, eristävän osan leveydeksi riittää 1,25 m.
- Käyttöpaikan eristäminen on riittävä toimenpide seuraavissa tapauksissa:
- eristyksen muodostaa vähintään 100 mm paksu kivimurskakerros
  - eristyksen muodostaa asfalttikerros, jolla on sopiva maapohja (esim. sora),
  - eristyksen muodostaa eristematto, jonka pinta-ala on vähintään 1 000 mm × 1 000 mm ja jonka paksuus on vähintään 2,5 mm tai jokin muu menetelmä, joka takaa vastaavan eristyksen
- M 2** Erityistoimenpiteet ulkoasennuksia ympäröiville aidoille.
- Ulkoisilta kosketusjännitteiltä suojautumiseen voidaan soveltaa erityistoimenpiteitä M 2.1 – M 2.3. Porttien osalta voidaan käyttää myös erityistoimenpidettä M 2.4.
- M 2.1** Käytetään johtamattomasta materiaalista tai muovipäällysteisestä metallilankaverkosta valmistettuja aitoja (joissa voi olla myös paljaita johtavia lamelleja).
- M 2.2** Käytettäessä johtavasta materiaalista tehtyä aita, toteutetaan potentiaalinhjaus aitaan yhdistetyllä vaakamaadoituselektrodilla, joka on noin 1 m etäisyydellä aidan ulkopuolella enintään 0,5 m syvyydellä. Aidan yhdistäminen maadoitusjärjestelmään on valinnaista (ks. kuitenkin erityistoimenpide M 2.4).
- M 2.3** Käyttöpaikka eristetään erityistoimenpiteen M 1.3 mukaisesti ja maadoitetaan aita joko liitteen G mukaisesti tai yhdistämällä se maadoitusjärjestelmään.

- 
- M 2.4 Jos ympäröivien aitojen portit on yhdistetty maadoitusjärjestelmään suoraan tai henkilökunnan kulunvalvontajärjestelmien tms. suojajohtimien tai kaapelien metallivaippojen välityksellä, potentiaalinohjaus tai käyttöpaikan eristys porttien avausalueella on toteutettava erityistoimenpiteen M 1.3 mukaisesti.
- Jos erillisesti maadoitetun johtavan aidan portit yhdistetään päämaadoitusjärjestelmään, portit on eristettävä aidan johtavista osista siten, että muodostuu vähintään 2,5 metrin sähköinen erotus. Tämä voidaan toteuttaa käyttämällä johtamattomasta materiaalista olevaa aidan osaa tai johtavaa aitaa, jonka päissä on eristävät kiinnikkeet. On huolehdittava siitä, että sähköinen erotus säilyy porttien ollessa täysin auki.
- M 3 Erityistoimenpiteet sisäasennuksissa
- Sisäasennuksissa voidaan käyttää erityistoimenpiteitä M 3.1 – M 3.3.
- M 3.1 Toteutetaan potentiaalinhjaus rakennuksen perustusten sisällä olevilla ruudukon muotoisilla elektrodeilla (esim. käytetään elektrodeja, joiden poikkipinta on vähintään 50 mm<sup>2</sup> ja ruudukon leveys enintään 10 m tai rakenneteräsverkkoja), jotka yhdistetään maadoitusjärjestelmään vähintään kahdesta eri kohdasta.
- Terästen virranjohtokyky on laskennallisesti tarkistettava, jos betoniraudoituksia käytetään tarkoituksellisesti vikavirran kulkutienä.
- Jos käytetään rakenneteräsverkkoja, vierekkäiset verkot on yhdistettävä toisiinsa ainakin yhdestä pisteestä ja kaikki verkot yhdessä on yhdistettävä maadoitusjärjestelmään vähintään kahdesta pisteestä.
- Olemassa olevilla rakennuksilla voidaan käyttää ulkoseinien lähelle maahan kaivettua vaakamaadoituselektrodiä, joka yhdistetään maadoitusjärjestelmään.
- M 3.2 Käytetään metallisia rakenneosia, esim. metalliruudukkoa tai metallilevyä, joka yhdistetään käyttöpaikalta kosketeltavissa oleviin maadoitettaviin metalliosiin.
- M 3.3 Käyttöpaikka eristetään maadoitusjännitteeltä erityistoimenpiteen M 1.3 mukaisesti. Potentiaalintasaamiseksi kaikki käyttöpaikalta samanaikaisesti kosketeltavissa olevat maadoitettavat metalliosat yhdistetään toisiinsa.
- M 4 Erityistoimenpiteet ulkoasennuksissa.
- M 4.1 Käyttöpaikoilla:
- Toteutetaan potentiaalinhjaus vaakamaadoituselektrodilla, joka asennetaan noin 1 m etäisyydelle käytettävistä laitteista noin 0,2 m syvyyteen. Tämä vaakamaadoituselektrodi yhdistetään kaikkiin käyttöpaikalta kosketeltavissa oleviin maadoitettaviin metalliosiin.
- tai
- Käyttöpaikoilla käytetään metallista rakenneosaa (esim. hoitotaso, metalliritilä tai metallilevy), joka yhdistetään käyttöpaikalta kosketeltavissa oleviin maadoitettaviin metalliosiin.
- tai
- Paikka eristetään erityistoimenpiteen M 1.3 mukaisesti. Samanaikaisesti käyttöpaikalta kosketeltavissa olevat metalliosat tulee yhdistää toisiinsa ja maadoittaa potentiaalintasaamiseksi.
- M 4.2 Rakennetaan asennusta ympäröivä vaakamaadoituselektrodi maahan suljetun renkaan muotoon. Renkaan sisäpuolelle asennetaan maadoitusruudukko, jonka yksittäisen ruudun koko on enintään 10 m × 10 m. Renkaan ulkopuolella sijaitsevien asennusten yksittäisillä osilla, jotka on yhdistetty maadoitusjärjestelmään (esim. valaisinmastot, jotka yhdistetään suojajohtimilla maadoitusjärjestelmään) on käytettävä noin 1 m etäisyydellä ja noin 0,2 m syvyydellä olevaa potentiaalinhjauselektrodiä.

## Liite D (Velvoittava) Maadoitusjohtimen ja maadoituselektrodin kuormitettavuuden laskenta

Alle 5 sekuntia kestävillä vikavirroilla maadoitusjohtimen tai maadoituselektrodin poikkipinta lasketaan kaavalla D.1 (ks. IEC 60949:1988).

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\Theta_i + \beta}{\Theta_f + \beta}}} \quad (\text{D.1})$$

Missä:

$A$	poikkipinta [mm <sup>2</sup> ]
$I$	johtimen viran tehollisarvo [A]
$t_f$	vikavirran kesto aika [s]
$K$	virrallisen osan materiaalista riippuva vakio; taulukossa D.1 on esitetty arvot yleisimmille materiaaleille olettaen alkulämpötilan olevan 20 °C
$\beta$	virrallisen osan resistanssin lämpötilakertoimen käänteisarvo lämpötilassa 0 °C (ks. taulukko D.1)
$\Theta_i$	alkulämpötila [°C]. Arvo saadaan esim. julkaisusta IEC 60287-3-1. Jollei kansallisissa taulukoissa ole annettu muuta arvoa, ympäröivän maan lämpötilana 1 m syvyydessä tulisi käyttää arvoa 20 °C
$\Theta_f$	loppulämpötila [°C].

**Taulukko D.1 Materiaalivakiot**

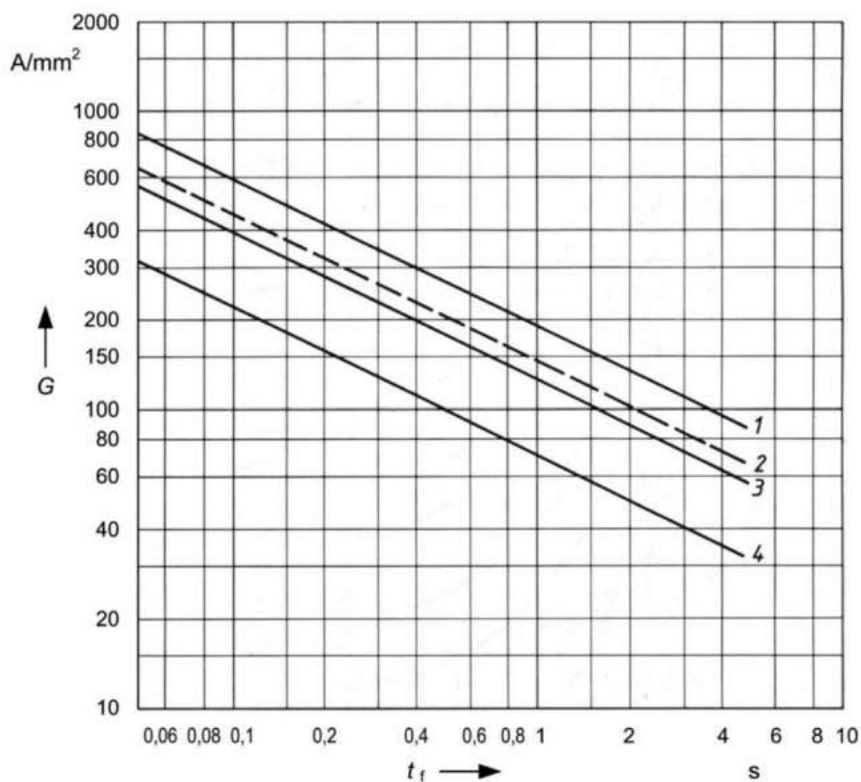
Materiaali	$\beta$ [°C]	$K$ [A × √s / mm <sup>2</sup> ]
Kupari	234,5	226
Alumiini	228	148
Teräs	202	78

Normaaliolosuhteissa, missä maadoitusjohtin on ilmassa ja maadoituselektrodi maassa, oikosulkuvirran tiheytenä  $G (= I/A)$  voidaan käyttää kuvan D.1 mukaisia arvoja alkulämpötilan ollessa 20 °C ja loppulämpötilan korkeintaan 300 °C.

Yli 5 sekuntia kestäville vikavirroille (kuten maasta erotetuissa tai sammutetuissa järjestelmissä), sallitut poikkipinnat on esitetty kuvassa D.2. Jos loppulämpötilaksi valitaan muu arvo kuin 300 °C (ks. kuva D.2a ja D.2b, suorat 1, 3 ja 4), virta voidaan laskea taulukon D.2 mukaisen muunnoskertoimen avulla. Alempia loppulämpötiloja suositellaan esimerkiksi eristetyille johtimille ja betoniin upotetuille johtimille.

**Taulukko D.2 Jatkuvan virran muunnoskerroin loppulämpötilasta 300 °C toiseen loppulämpötilaan**

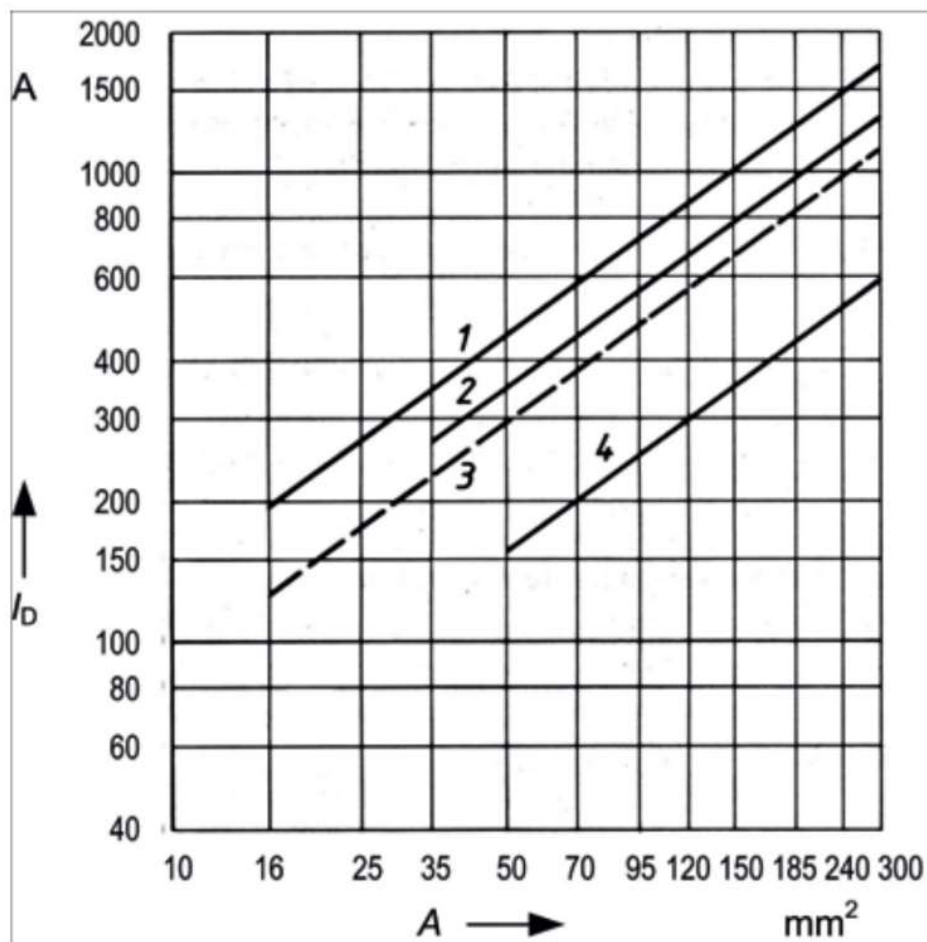
Loppulämpötila °C	Muunnoskerroin
400	1,2
350	1,1
300	1,0
250	0,9
200	0,8
150	0,7
100	0,6



Suorat 1, 3 ja 4 pätevät loppulämpötilalle 300 °C, suora 2 pätee loppulämpötilalle 150 °C.

- 1 Paljas tai sinkkipäällysteinen kupari
- 2 Tinattu tai lyijyvaippainen kupari
- 3 Alumiini (vain maadoitusjohtimena)
- 4 Sinkitty teräs

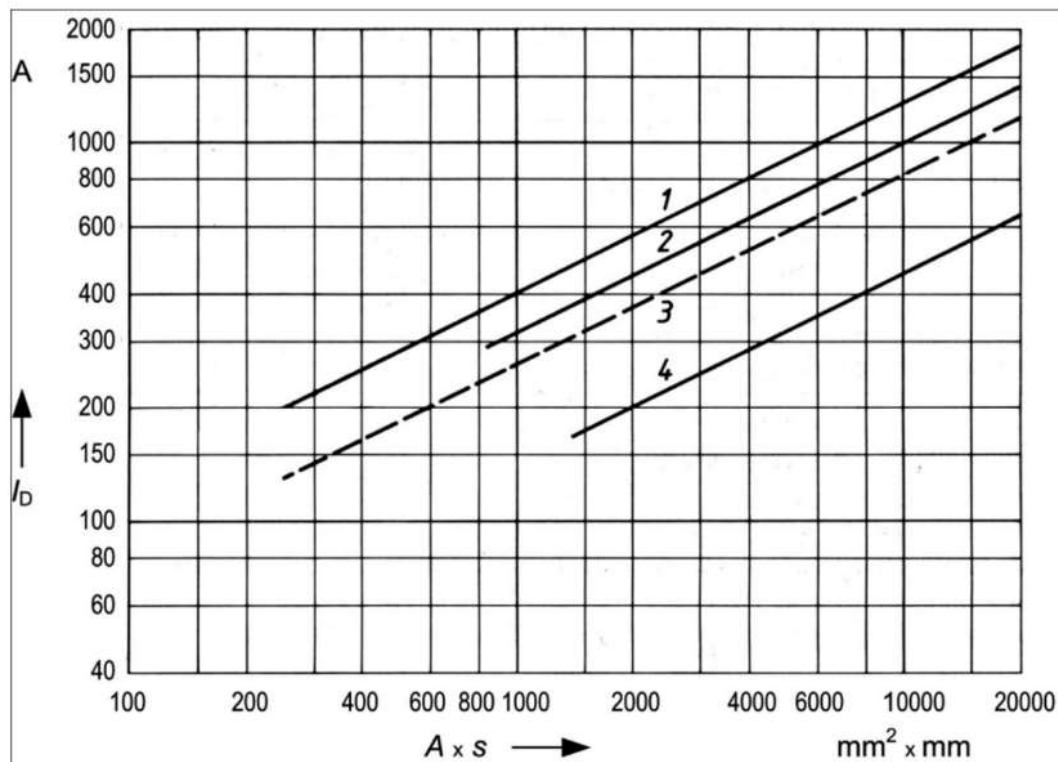
**Kuva D.1 Maadoitusjohtimien ja maadoituselektrodien sallittu oikosulkuvirran tiheys  $G$  vikavirran kestoajan  $t_f$  funktiona**



Suorat 1, 2 ja 4 pätevät loppulämpötilalle 300 °C, ja suora 3 pätee loppulämpötilalle 150 °C. Taulukossa D.2 on esitetty muunnoskertoimet toisille loppulämpötiloille.

- 1 Paljas tai sinkkipäällysteinen kupari
- 2 Alumiini
- 3 Tinattu tai lyijyvaippainen kupari
- 4 Sinkitty teräs

a) Poikkipinnaltaan (A) pyöreään maadoitusjohtimen sallittu jatkuva virta  $I_D$

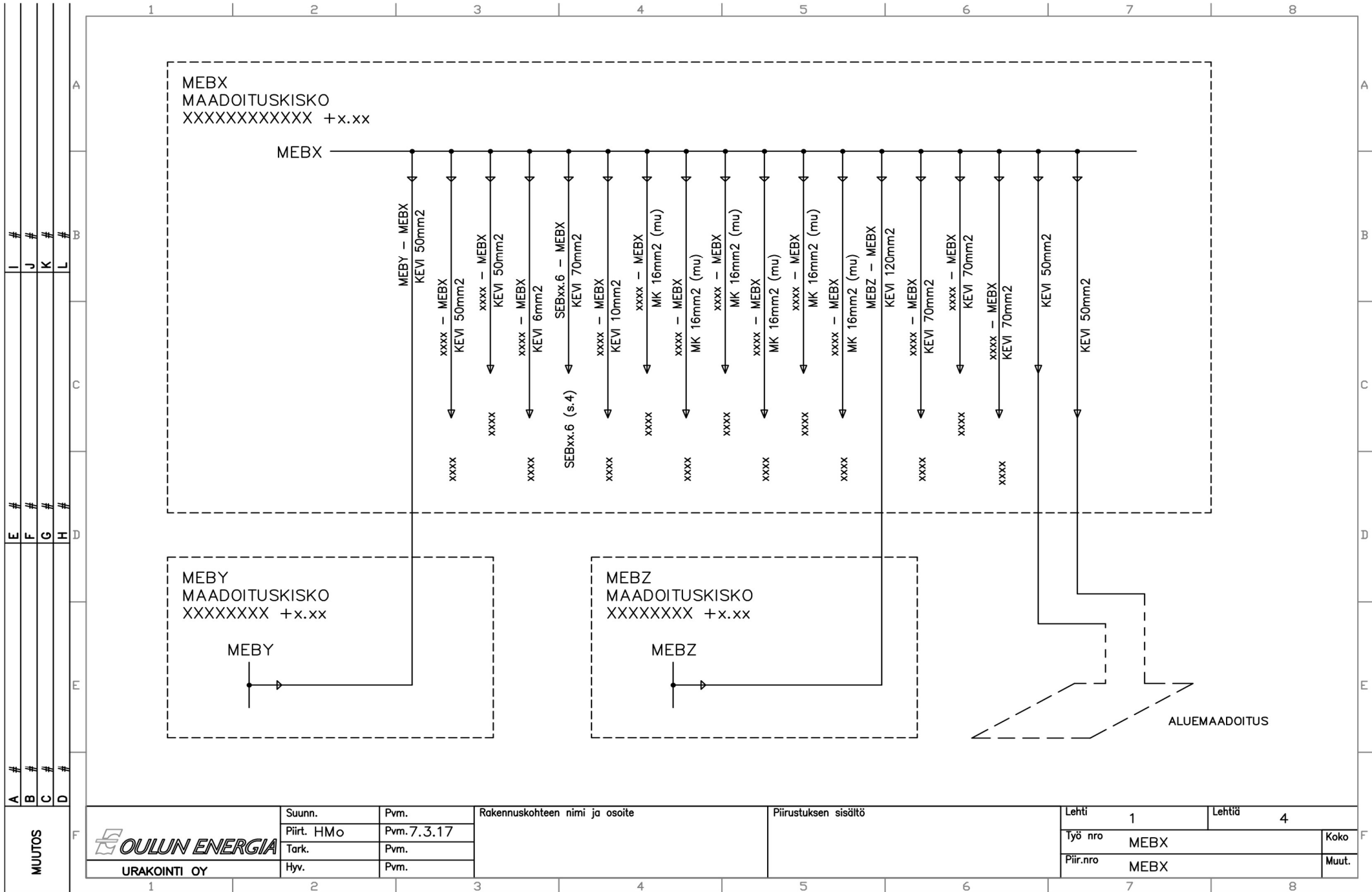


Suorat 1, 2 ja 4 pätevät loppulämpötilalle 300 °C, suora 3 pätee loppulämpötilalle 150 °C. Taulukossa D.2 on esitetty muunnoskertoimet muille loppulämpötiloille.

- 1 Paljas tai sinkkipäällysteinen kupari
- 2 Alumiini
- 3 Tinattu tai lyijyvaippainen kupari
- 4 Sinkitty teräs

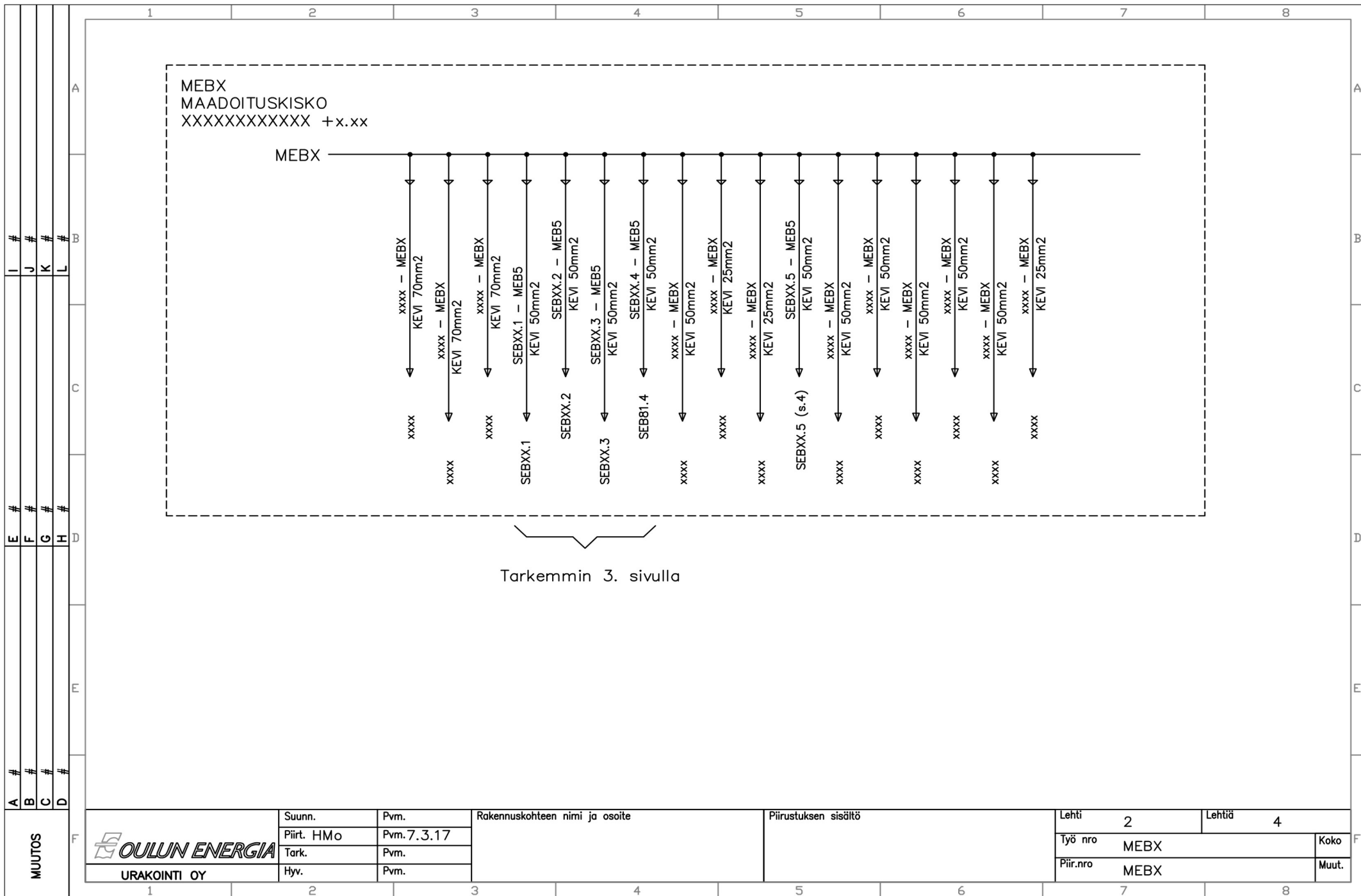
**b) Poikkipinnaltaan suorakulmaisen maadoitusjohtimen sallittu jatkuva virta  $I_D$  poikkipinnan  $A$  ja profiilin ympärysmittan  $s$  tulon ( $A \cdot s$ ) funktiona**

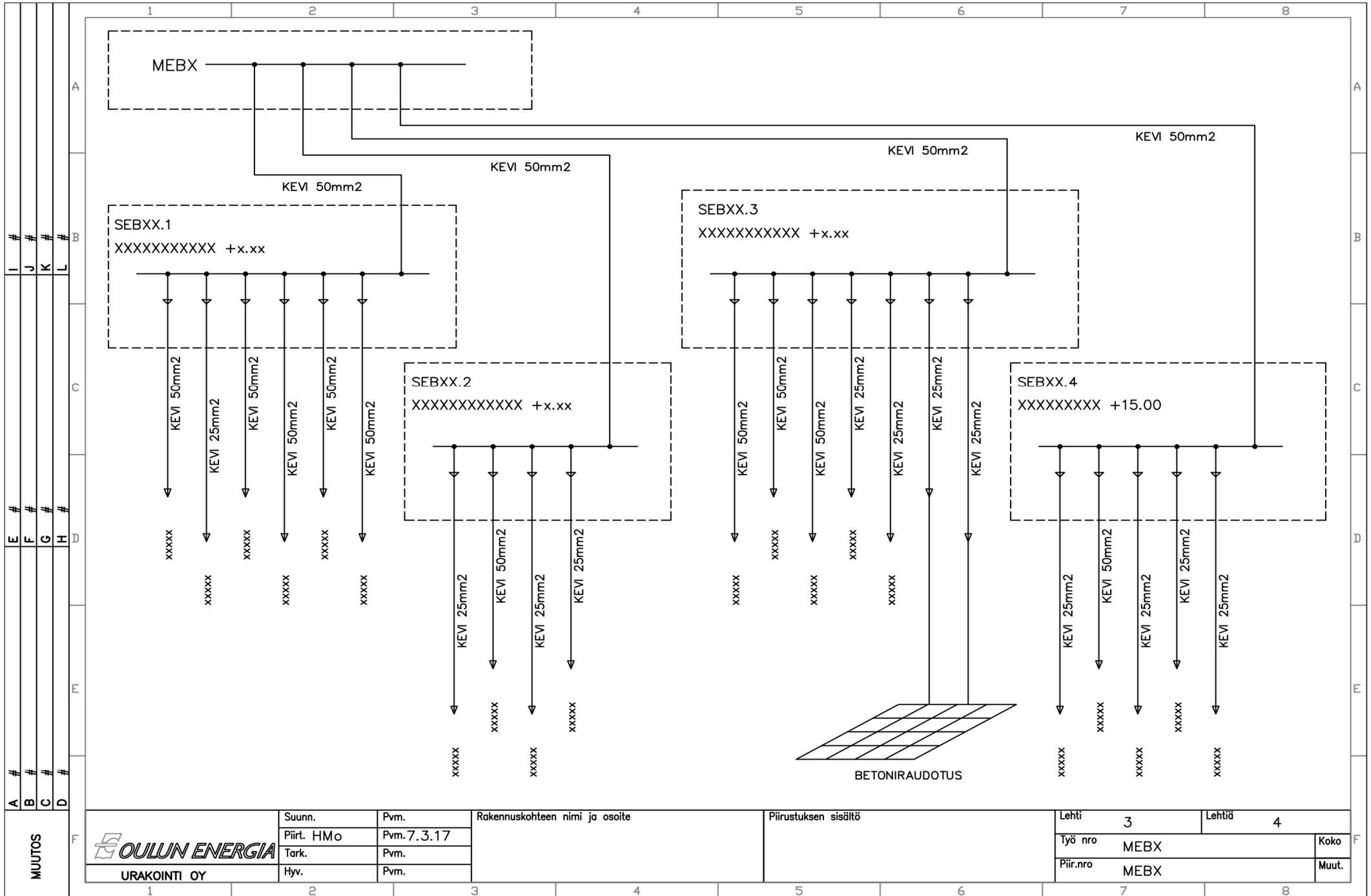
**Kuva D.2 Maadoitusjohtimen sallittu jatkuva virta  $I_D$**



<b>MUUTOS</b>	A #	E #			<b>URAKOINTI OY</b>	Suunn.	Pvm.	Rakennuskohteen nimi ja osoite	Piiirustuksen sisältö		Lehti	1	Lehtiä	4
	B #	F #	Piirt.	HM0		Pvm.	7.3.17				Työ nro	MEBX		Koko
	C #	G #	Tark.			Pvm.					Piiir.nro	MEBX		Muut.
	D #	H #	Hyv.			Pvm.								

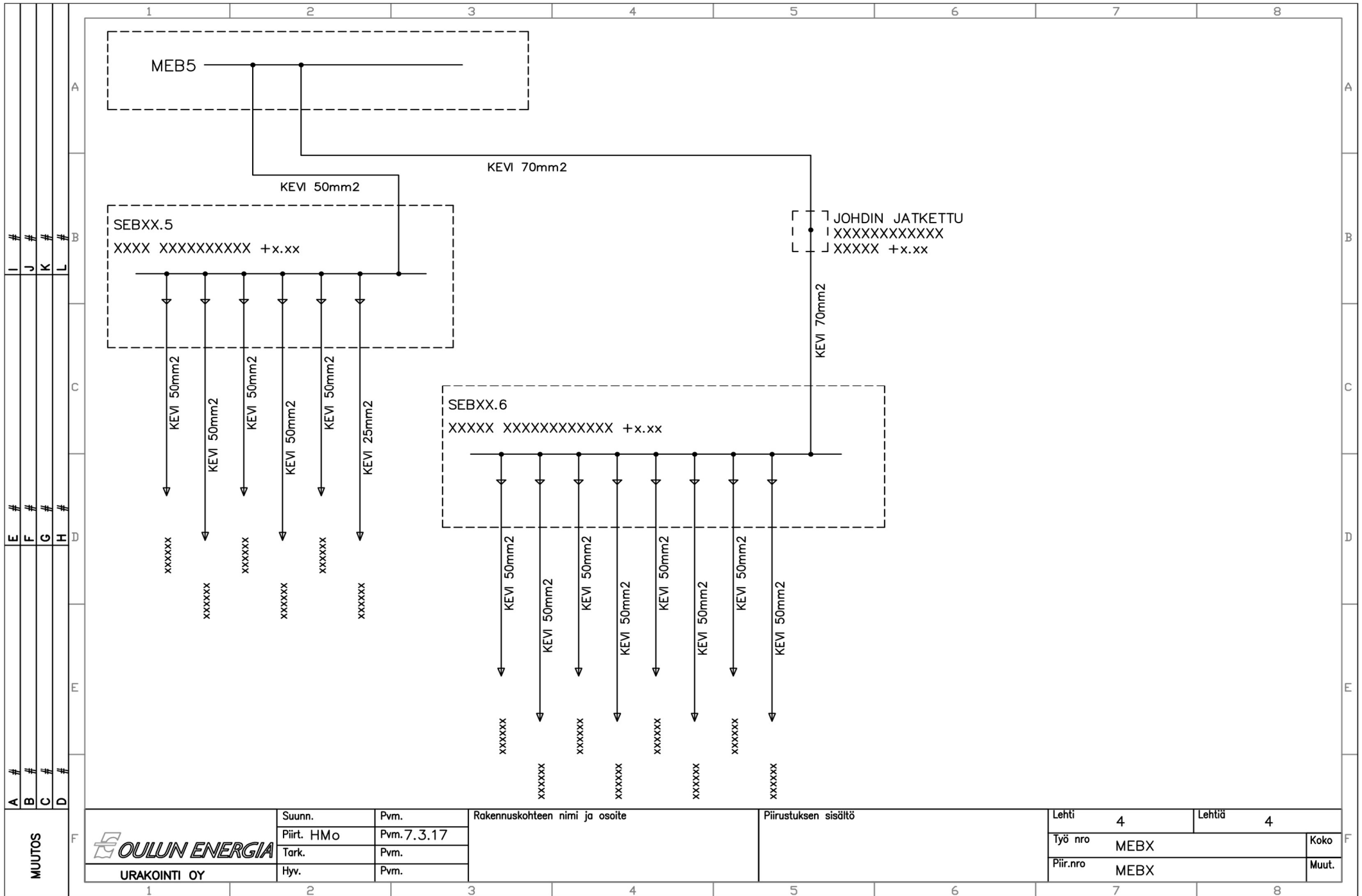




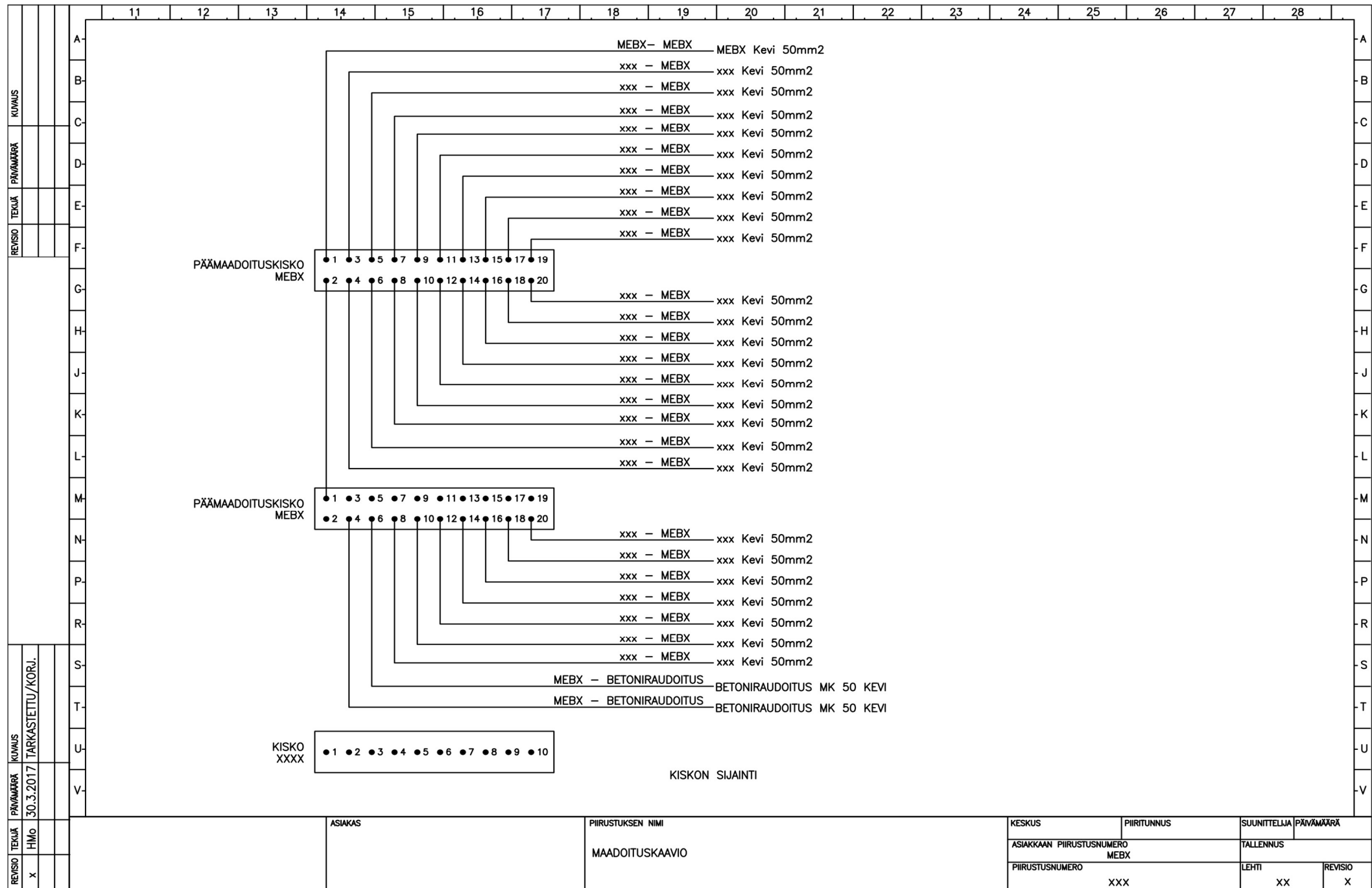


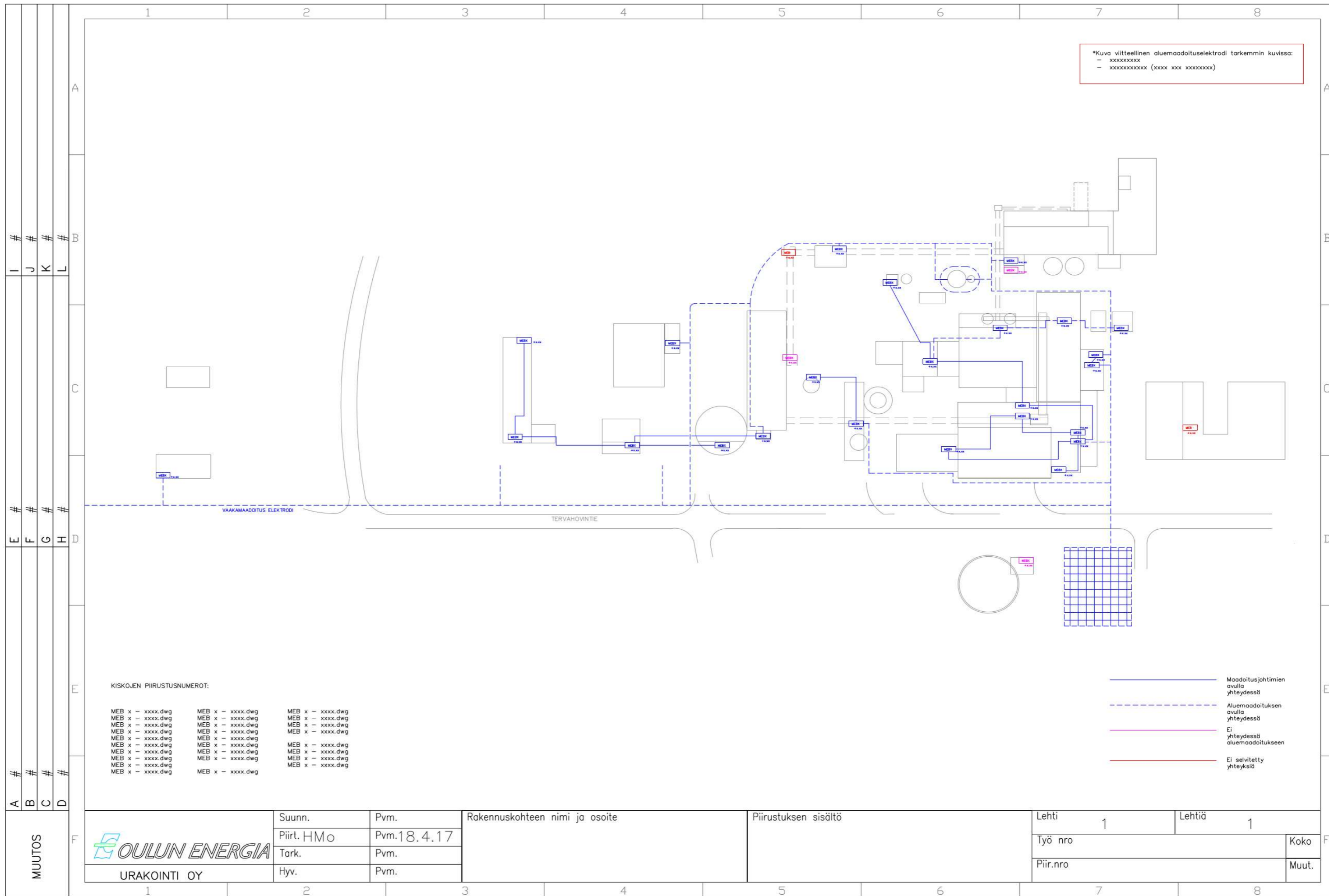
A #	E #	I #
B #	F #	J #
C #	G #	K #
D #	H #	L #
MUUTOS		

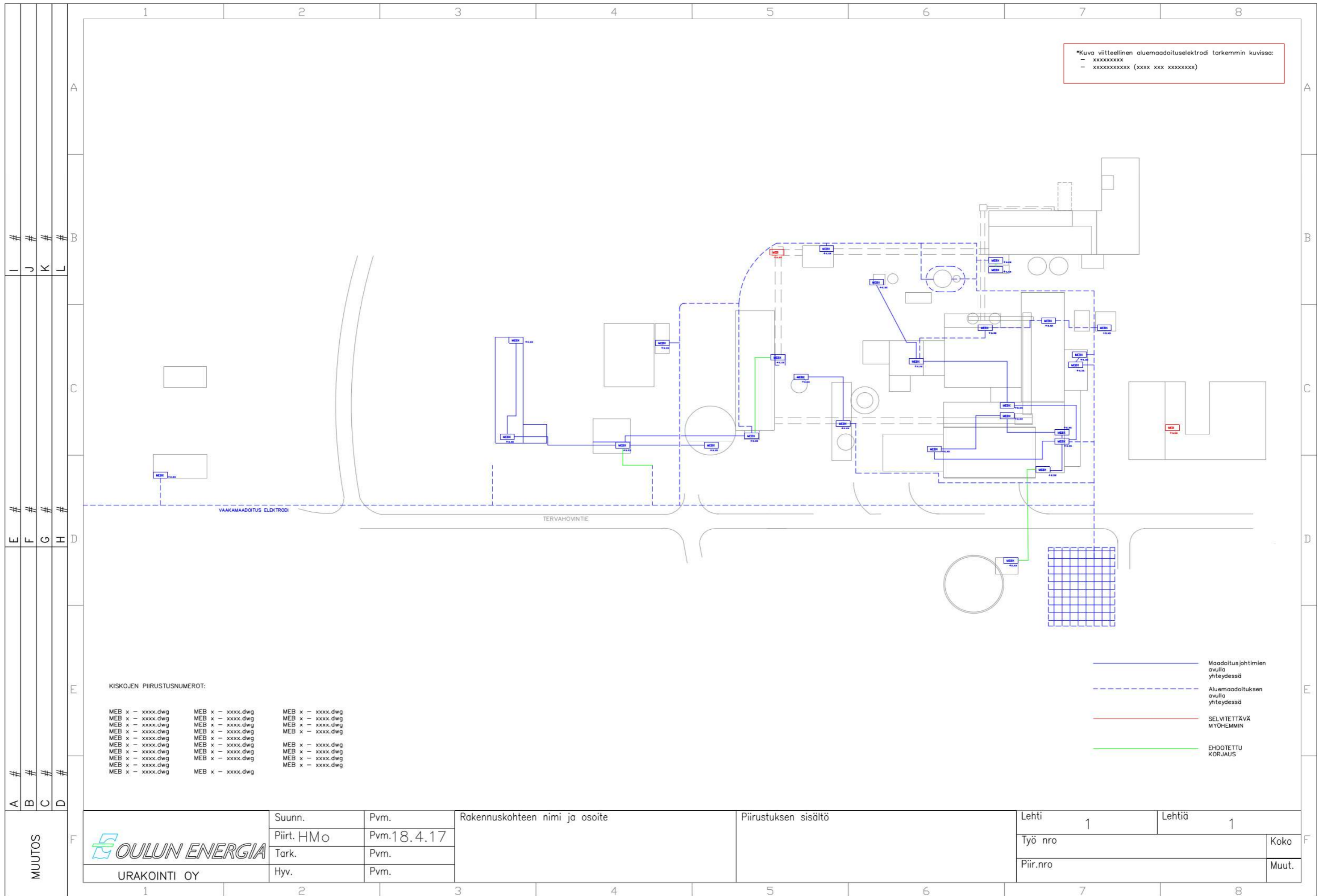
<p>URAKOINTI OY</p>	Suunn.	Pvm.	Rakennuskohteen nimi ja osoite	Piirustuksen sisältö	Lehti	3	Lehtiä	4		
	Piirt.	HMo			Pvm.	7.3.17	Työ nro	MEBX		Koko
	Tark.				Pvm.		Piir.nro	MEBX		Muut.
	Hyv.				Pvm.					



<b>MUUTOS</b>	A #	E #				Lehti 4	Lehtiä 4	
	B #	F #				Työ nro MEBX	Koko	
	C #	G #				Piir.nro MEBX	Muut.	
	D #	H #						
<b>URAKOINTI OY</b>		Suunn.	Pvm.	Rakennuskohteen nimi ja osoite		Piirustuksen sisältö		
		Piirt. HMO	Pvm. 7.3.17					
		Tark.	Pvm.					
		Hyv.	Pvm.					







KISKÖJEN PIIRUSTUSNUMEROT:

MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg
MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg
MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg
MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg
MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg
MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg
MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg
MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg
MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg
MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg
MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg
MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg	MEB x - xxxx.dwg

<b>OU LUN ENER G I A</b> URAKOINTI OY	Suunn.	Pvm.	Rakennuskohteen nimi ja osoite	Piirustuksen sisältö	Lehti	1	Lehtiä	1
	Piirt. HMO	Pvm.18.4.17			Työ nro		Koko	
	Tark.	Pvm.			Piir.nro		Muut.	
	Hyv.	Pvm.						