



Käsikirja maadoitusten suunnitteluun

Juuso Latva-aho

Opinnäytetyö, AMK

Joulukuu 2022

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma (AMK)

Latva-aho, Juuso

Käsikirja maadoitusten suunnitteluun

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Joulukuu 2022, 33 sivua

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Maadoitusten suunnittelussa käytettävää tietoa on paljon saatavilla eri lähteissä ja tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli koota tiivis tietopaketti maadoitusten suunnittelun avuksi Rejlers Finland Oy:n käyttöön. Op-paan on tarkoitus toimia ohjeena maadoitusten suunnittelussa yleensä ja varsinkin sellaisissa suunnittelu-kohteissa, joihin ei ole laadittu omaa suunnitteluohjetta.

Työssä tehtiin kyselytutkimus, jonka perusteella työssä käsiteltävät aiheet rajattiin. Kyselytutkimuksella pyrittiin myös saamaan ideoita varsinaiseen toteutukseen. Aiheiden tietoperusta on koottu enimmäkseen standardeista sekä niihin perustuvista julkaisuista. Kyselytutkimusta jatkettiin myös koko ajan työn edetessä ja aiheita tarkennettiin ja niitä valikoitui työhön työn edetessä.

Työn tuloksena syntyi suunnitteluohje, joka koottiin tämän opinnäytetyön pohjalta mahdollisimman tiiviiksi ja selkeäksi paketiksi. Toteutustavaksi valikoitui lopulta perinteinen opas. Aiheen rajauksesta johtuen ohjeesta ei tullut kuitenkaan täysin kattava, mutta valikoidut aiheet siihen saatiin koottua mielestäni hyvin. Ohje on kuitenkin hyvä pohja jatkokehitykselle. Toteutustavaksi valikoitui lopulta perinteinen opas.

Lähestymistapa työhön oli erilainen verrattuna muihin aiheesta kirjoitettuihin opinnäytetöihin mikä toi työn jäsentelyyn omia haasteita.

Avainsanat (asiasanat)

maadoitusjärjestelmä, maadoituselektrodi, mitoitus, suojavaadoitus, laaja maadoitusjärjestelmä

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Latva-aho, Juuso

Handbook for earthing planning

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, December 2022, 33 pages

Degree Programme in Electrical and automation engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

There is lots of information available about earthing however, it is scattered to many different sources. Aim of this thesis was to put together that information in compact handbook. Purpose of this handbook is to help designers to plan earthing arrangements especially in projects without design manual.

Theory part of this thesis was defined by survey. Purpose of the survey was also to get ideas about implementation of the handbook. Survey was continued throughout the project to get all the subjects which needed to include in handbook. Theory of this thesis is mostly based on industry standards and publications based on it.

As a result of this project was classic handbook which was collected from theory of this thesis and made as compact and easily utilizable as possible. Approach of this thesis was different and caused challenges on structuring of the thesis. Outlining of this thesis caused that the handbook is not comprehensive. However, it is a good basis for further development and all the selected subjects were executed in handbook successfully.

Keywords/tags (subjects)

earthing, earthing arrangement, earth electrode, calculation, protective earthing, global earthing system

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	3
1.1	Rejlers Finland Oy.....	3
2	Kehittämistyön tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymykset	4
2.1	Tavoite.....	4
2.2	Tutkimuskysymykset	4
2.3	Tutkimusmenetelmät.....	5
3	Teoria	5
3.1	Maadoitusjärjestelmän tarkoitus ja tehtävä.....	5
3.2	Maadoituselektrodi.....	5
3.2.1	Maadoituselektrodi pienjännitejärjestelmässä.....	5
3.2.2	Maadoituselektrodi suurjännitejärjestelmässä.....	7
3.3	Laaja maadoitusverkko	8
3.4	Muuntamon maadoitukset	10
3.4.1	Maadoituselektrodi	10
3.4.2	Muuntamon maadoituskisko.....	11
3.4.3	Hajamagneettikenttien estäminen.....	13
3.5	Laitemaadoitukset.....	14
3.5.1	Moottorit	14
3.5.2	Taajuusmuuttajat.....	14
3.6	Mitoitus	16
3.6.1	Suojajohtimen mitoitus alle 1000V järjestelmissä	16
3.6.2	Maadoitusjohtimen ja -elektrodin mitoitus suurjännitejärjestelmässä.....	19
3.7	ATEX.....	20
3.7.1	TN- Järjestelmä	20
3.7.2	TT- Järjestelmä.....	21
3.7.3	IT- Järjestelmä.....	22
3.7.4	Potentiaalintasaus	22
3.7.5	Exi piirien ja laitteiden maadoitus	23
3.8	Toiminnallinen maadoitus.....	25
4	Toteutus	26
4.1	Käsiteltävien aiheiden rajaus	26
4.2	Tiedonhankinta	26

5 Tulokset	26
6 Johtopäätökset	27
7 Pohdinta	28
Lähteet	30
Liitteet	32
Liite 1. Suurjännitemaadoitusjärjestelmien suunnitteluun käytettävät virrat	32
Liite 2. Kaavojen 2 ja 4 vertailu	33

Kuviot

Kuvio 1. Esimerkki laajasta maadoitusjärjestelmästä	10
Kuvio 2. Jakelumuuntamon maadoitukset	12
Kuvio 3. Sähkökäyttäjän muuntamo	13
Kuvio 4. Potentiaalintasaukseen käytettäviä johtimia	15
Kuvio 5. Esimerkki taajuusmuutaja asennuksesta	16
Kuvio 6. TN- järjestelmä	21
Kuvio 7. TT- järjestelmä.....	21
Kuvio 8. IT-järjestelmä	22
Kuvio 9. Zener barrieri	24
Kuvio 10. Toiminnallisen maadoituksen toimintaperiaate	25

Taulukot

Taulukko 1. Maadoituselektrodin minimimitat	6
Taulukko 2. Maadoituselektrodin mitoitus mekaanisen kestävyuden perusteella	8
Taulukko 3. Suojajohtimien minimipoikkipinnat	17
Taulukko 4. Kertoimia syöttökaapelista erillään oleville suojajohtimille	18
Taulukko 5. Kaavassa 3 käytettäviä parametrejä eri kaapelimateriaaleilla.....	18
Taulukko 6. Materiaalivakiot normaaliolosuhteissa	19

1 Johdanto

Tämän työn tarkoituksena on laatia käsikirja Rejlers Finlandille maadoitusten suunnittelun tueksi. Maadoitusten suunnitteluun on tarjolla paljon tietoa, mutta se on hajautuneena eri lähteisiin. Monella asiakkaalla on myöskin olemassa kattavat suunnitteluohjeet maadoitusten suunnittelun, jonka vuoksi maadoitukseen liittyviä asioita ei välttämättä kovin usein tarvitse itse miettiä. Tämän vuoksi voi tiedon hakemiseen joskus kulua aikaa.

Työssä on tarkoitus koota tietoa yhteen pakettiin, josta se on helposti löydettävissä ja hyödynnettävissä. Työn lopputuloksen on tarkoitus toimia suunnittelun tukena sekä suunnitteluohjeena varsinkin sellaisissa kohteissa, joihin ei ole laadittu valmista suunnitteluohjetta.

Aihetta lähdetään rajaamaan sen perusteella mitä henkilöstön mukaan olisi tarpeen käsitellä ja tämän vuoksi työhön valikoituu aiheita, joita suunnittelukohteissa tulee vastaan. Näihin aiheisiin työssä pyritään kokoamaan tiivis paketti ja myös mahdollisesti selvittämään epäselviä tai hankalia aiheita tarkemmin. Työssä huomioidaan, myös uudessa vuonna 2022 vahvistetussa SFS 6000 standardissa tapahtuneet muutokset.

1.1 Rejlers Finland Oy

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Rejlers Finland Oy, joka on osa ruotsalaista Rejlers konsernia. Rejlers AB on teknisen alan suunnittelu- ja konsultointiyhtiö, joka on perustettu Ruotsissa vuonna 1942 ja yritys työllistää 2600 ihmistä yli kahdeksassakymmenessä konttorissa Ruotsissa, Suomessa, Norjassa ja Arabiemiirikunnissa. Rejlers on listattuna Tukholman pörssissä ja konsernin liikevaihto oli vuonna 2021 2,9 miljardia kruunua. (Yritysesitys 2022)

Rejlers Finland aloitti toimintansa Mikkelissä vuonna 1980 ja nykyään se toimii Suomessa yli 20 eri paikkakunnalla ja työllistää 1100 asiantuntijaa. Asiakkaat toimivat teollisuuden-, rakentamisen-, energian ja infran aloilla. Rejlers Finlandin liikevaihto on noin 100 miljoonaa euroa. (Yritysesitys 2022)

2 Kehittämistyön tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymykset

2.1 Tavoite

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä ohjeistus maadoitusten suunnittelun avuksi. Opinnäytetyöhön on tarkoitus koota yhteen tietoa mitä muuten joudutaan etsimään eri julkaisuista ja näin helpottaa suunnittelua ja tiedonhakua. Koska aiheesta on jo kirjoitettu jonkin verran opinnäytetöitä ei työssä ole tarkoituksena käsitellä aiheesta kaikkea asioita, vaan aiheet rajautuvat ja valikoituvat kyselytutkimuksen perusteella. Tämän vuoksi työssä jää joitain perusasioita käsittelemättä ja pyritään keskittymään niihin asioihin mistä halutaan lisätietoa tai ohjeistusta. Vaikka itse opinnäytetyö toimii myös materiaalina niin tarkoituksena on tehdä asioista jonkinlainen kooste tai käsikirja, josta asioita olisi helppo katsoa. Yhtenä haasteena työssä onkin se, että käsikirjasta saisi mahdollisimman kompaktin paketin. Myös tätä ongelmaa pyritään ratkaisemaan ja selvittämään kyselytutkimuksessa.

Opinnäytetyön tuloksena pitäisi saada aikaan kompakti opas, jonka avulla myös linjataan ja yhdenmukaistetaan yrityksen suunnittelutapoja varsinkin kohteissa, joissa ei ole laadittu maadoitukseen erillistä suunnitteluohjetta.

2.2 Tutkimuskysymykset

Opinnäytetyössä suoritetaan kyselytutkimus, jossa selvitetään seuraavia asioita:

- Mitkä asiat ovat olleet vaikeita tai epäselviä suunnitteluprosessien aikana?
- Onko jotain asioita mitä joutuu usein etsimään standardeista?
- Mitä ongelmia on tullut vastaan suunnitelluissa kohteissa?
- Millainen oppaan pitäisi olla?

Näiden kysymyksien avulla pyritään saamaan esiin kysymyksiä, joihin pyritään vastaamaan opinnäytetyön teoriaosuudessa. Kyselytutkimuksen avulla yritetään saada selville myös ideoita ja mielteitä toteutukseen.

2.3 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmänä käytetään kvalitatiivista tutkimusta, johon kerään aineistoa haastattelemalla kollegoita ennen teorian pohjan kirjoittamisen aloitusta sekä myös jatkuvasti työn edetessä. Aineiston avulla on tarkoitus kerätä asioita, joihin tarvitaan eniten selvitystä. Kyselyjä suoritetaan jatkuvana, jotta saisin haastateltavat kiinnittämään huomiota aiheeseen ja siten mahdollisesti saada aiheesta keskustelua ja lisää kysymyksiä joihin vastata työn teoriaosuudessa.

3 Teoria

3.1 Maadoitusjärjestelmän tarkoitus ja tehtävä

Maadoituksen ja potentiaalintasauksen päätehtävänä on mahdollistaa asennuksien turvallisuus sekä luotettava toiminta. Maadoitusjärjestelmällä luodaan yhteys maahan ja sitä käytetään suojautumiseen sähköiskulta sekä häiriösuojaukseen. Suojaus sähköiskulta tapahtuu maadoitusjärjestelmän suojajohtimen avulla käytettäessä automaattista poiskytkentää. Maadoituksissa suojaus menee aina häiriöpoiston edelle tilanteessa missä maadoitusjärjestelmää käytetään myös häiriöpoistoon. (ST 53.21 2018, 3.)

3.2 Maadoituselektrodi

Maadoituselektrodin tärkein tehtävä on luoda johtava yhteys maahan, sekä pyrkiä pitämään rakennuksen sisäiset potentiaalierot mahdollisimman pieninä. Yhteys maahan toteutetaan upottamalla elektrodi suoraan maahan tai esimerkiksi perustusten kautta. Normaalitilanteessa maadoituselektrodissa ei kulje virtaa, joten poikkipintaan vaikuttaa eniten mekaaninen- ja korroosiokestävyys. Maadoituselektrodin muodolla ja pituudella voidaan kuitenkin vaikuttaa sen potentiaalintausvaikutukseen ja maadoitusresistanssiin. (Tiainen, Nurmi & Koivisto 2019, 14–16).

3.2.1 Maadoituselektrodi pienjännitejärjestelmässä

Taulukossa 1 esitetään maadoituselektrodien minimimitat, jossa on otettu huomioon korrosio ja mekaaninen kestävyys. Taulukossa olevat arvot täyttävät vain sähköiskulta suojautumisen vaatimukset (SFS 6000-5-54:2022, 9).

Taulukko 1. Maadoituselektrodin minimimitat (SFS 6000-5-54:2022, 9).

Materiaali	Poikkipinta-ala mm ²	Halkaisija \varnothing mm	Minimipaksuus mm ^a	Korroosiosuojaus- kerroksen paksuus μm
Kupari	16		1,6	-
Kuumasinkitty teräs	90	10	3	45
Ruostumaton teräs	90	10	3	-
Betoniin upotettu teräs	90	10	3	- ^b
Kuparivaipalla varustettu teräs		15		2000
Sähköisesti kuparilla päällystetty teräs		14 (vaakatasossa 10)		250 (vaakaelektrodilla 70)
^a Nauhan tai levyn paksuus tai köyden yksittäisen langan halkaisija \varnothing				
^b Betoniin upotetulla perustusmaadoituselektrodilla ei tarvita korroosiosuojausta				

Koska pienjännitejärjestelmässä ei maadoituselektrodissa kulje suuria virtoja mitoituksen tärkeimpänä perusteena on korroosiosuojaus. Suomessa riittää maadoituselektrodiksi 16mm² kuparia tai vähintään 10mm² ruostesuojattua terästä. Tärkeissä kohteissa ja teollisuudessa suositellaan käytettäväksi 25mm² poikkipinta-alaa mekaanisten vaurioiden estämiseksi. Jos elektrodia käytetään myös salamasuojauksessa pitää elektrodin olla standardin SFS-EN 62305-3 mukaan olla poikkipinnoiltaan vähintään 25mm², mutta suositeltavaa on käyttää 50mm² kuparijohtinta. (ST 53.21 2018, 5–6.)

Jokainen asennus ei tarvitse maadoituselektrodiä, mutta jokaisella liittymällä pitää olla maadoituselektrodi. Esimerkiksi jos liittymässä on useita rakennuksia ei elektrodia tarvita kuin yksi. Potentiaalintasausta ajatellen on hyvä laittaa maadoituselektrodi myös muihin rakennuksiin. Rakennuksen sisäisessä PEN johtimella tapahtuvassa syötössä on lisättävä elektrodi 200 m päässä olevissa kohteissa. (Tiainen 2020.)

Standardin SFS 6000-5-54:2022 Liite C suosittelee, että maadoituselektrodina käytettäisiin perustusmaadoituselektrodiä. Se on kuparista tai muusta korroosiolta suojatusta aineesta tehty elektrodi, joka asennetaan perustusten alle. Jos tämmöistä ei pystytä rakentamaan, on suositeltavaa käyttää rakennusta kiertävää elektrodia, joka asennetaan perustusten ympärille mahdollisimman lähelle ja syvälle vahingoittumisen estämiseksi. Jos maadoitusta ei pystytä asentamaan perustusten ympärille on vähimmäisvaatimus maadoituselektrodille 20 metriä pitkä taulukossa 1 kerro-

tusta materiaalista tehty vaakaelektrodi. Suositeltavia tapoja on asentaa elektrodi syöttävän kaapelin kanssa samaan ojaan tai lähelle perustuksia. Pystyelektrodien käyttö on myös mahdollista, joko pelkästään tai vaakaelektrodin lisäksi. Pystyelektrodin pituus pitää olla vähintään puolet vaakaelektrodin minimipituudesta ja pystysauvojen etäisyys toisistaan on oltava vähintään yhtä pitkä kuin sauvan pituus. (SFS6000-5-54:2022, 25.)

Rakennuksen perustuksiin upotettu perustusmaadoituselektrodi on hyvä vaihtoehto maadoituselektrodiksi, koska perustuksien betoni on johtavaa ja sillä on laaja kosketuspinta maahan. Se on myös hyvä vaihtoehto, jos käytetään salamasuojausta. Sen avulla saadaan myös hyvä perusta pääpotentialintasaukselle. Mikäli perustus eristetään maasta eristävällä lämmöneristeellä, ei voida tämän tyyppistä elektrodiä toteuttaa. (SFS6000-5-54:2022, 26.)

3.2.2 Maadoituselektrodi suurjännitejärjestelmässä

Suurjännitejärjestelmässä pitää maadoituselektrodin kestää mekaanisen rasituksen lisäksi myös maasulun aiheuttama terminen kuorma. Elektrodien mekaanisen ja korroosiosuojaukseen perustuva vähimmäismitoitus on tehtävä taulukon 2 mukaisesti. (SFS 6001:2018.)

Suurjännitteellä käytetään maadoituselektrodina vähintään 25mm² maadoitusköyttä tai vaihtoehtoisesti pyöreää johdinta, nauhaa, lankaa tai putkea. Jos kuitenkin voidaan luotettavasti todeta, että kohteessa mekaanisen vaurion ja korroosion riski on alhainen, voidaan käyttää myös 16mm² kuparia. Tällöisiä kohteita voisi olla esimerkiksi pylväsmuuntamoissa tai -erottimissa. Pinnoitetun kuparin käyttö voi tulla vastaan kohteissa, joissa on havaittu kuparin syöpymistä. Taulukossa 2 on esitetty vaatimuksia maadoituselektrodeille. Suomessa käytetään kuitenkin yleensä kupariköysiä sekä -lankoja. Esimerkiksi kuumasinkityt teräkset ovat syöpyneet suomalaisessa maaperässä ja niiden käyttö on lopetettu eikä niitä suositella käytettäväksi, vaikka taulukon mukaan sitä voitaisiin käyttää. (SFS 6001:2018; Tiainen ym. 2019,57.)

Maadoituselektrodit ovat rakenteeltaan yleensä noin metrin syvyyteen kaivettuja tai aurattuja vaakaelektrodeja. Routa heikentää elektrodin maadoitusresistanssia paikoista, joissa lumet aurataan pois. Pystyelektrodeilla saavutetaan vakaampi maadoitusresistanssi ja niiden käyttö on lisääntynyt. Niitä kannattaa käyttää, jos pintamaa on huonosti johtavaa ja tiedetään, että johtavuus on parempi syvemmällä maassa. (Tiainen ym. 2019, 58.)

Taulukko 2. Maadoituselektodin mitoitus mekaanisen kestävyuden perusteella. (SFS 6001:2018, 108).

Materiaali	Elektrodin tyyppi	Vähimmäismitta					
		Ydinosa			Pinnoite/vaippa		
		Halkai- sija mm	Poikki- pinta mm ²	Paksuus mm	Yksittäi- nen arvo µm	Keskiarvo µm	
Teräs	Kuumasinkitty	Nauha ^b		90	3	63	70
		Profiili (ml. levy)		90	3	63	70
		Putki	25		2	47	55
		Sauvaelektrodin pyörötanko	16			63	70
		Vaakamaadoituselektrodin pyöreä lanka	10				50
	Lyijyvaipalla ^a	Vaakamaadoituselektrodin pyöreä lanka	8			1 000	
	Päälystetyllä kuparivaipalla	Sauvaelektrodin pyörötanko	15			2 000	
	Elektrolyytti-kuparivaipalla	Sauvaelektrodin pyörötanko	14,2			90	100
Kupari	Paljas	Nauha		50	2		
		Vaakamaadoitus-elektrodin pyöreä lanka		25 ^c			
		Köysi	1,8 ^d	25 ^c			
	Putki	20		2			
	Tinattu	Köysi	1,8 ^d	25 ^c		1	5
	Sinkitty	Nauha		50	2	20	40
	Lyijyvaipalla ^a	Köysi	1,8 ^d	25 ^c		1 000	
	Pyöreä lanka		25 ^c		1 000		

^a Ei sovellu asennettavaksi suoraan betoniin. Lyijyn käyttöä ei suositella ympäristösyistä.

^b Valssattu tai leikattu nauha pyörästetyin reunoin.

^c 16 mm² poikkipintaa voidaan käyttää erityisolosuhteissa, joissa kokemuksen mukaan korroosion ja mekaanisen vaurioitumisen riski on vähäinen.

^d Yksittäiselle langalle.

Maadoituselektrodin mitoitus termisen keston perusteella on käsitelty kappaleessa 3.6.2.

3.3 Laaja maadoitusverkko

SFS 6001 Liite O määrittelee laajan maadoitusverkon käsitteen näin: ”Yhtenäinen maadoitusjärjestelmä, joka on toteutettu kytkemällä yhteen paikalliset maadoitusjärjestelmät. Yhteen kytkettyjen paikallisten maadoitusjärjestelmien läheisyys varmistaa sen, ettei vaarallisia kosketusjänniteitä esiinny.” Tämä määritelmä perustuu siihen, että alueella ei ole juurikaan potentiaalieroja. Laajassa maadoitusjärjestelmässä muuntopiirin pitää olla yhteydessä vähintään kahteen muuhun

maadoitusjärjestelmän maadoitukseen. Laajassa maadoitusjärjestelmässä yhdistysjohtimina toimivat kaapeleiden vaipat ja keskusköydet, pienjänniteverkon PEN- johtimet sekä muuntamoita yhdistävät erilliset maadoitusjohtimet sekä elektrodit. (SFS 6001:2018, 20, 134.)

On tärkeää määrittää ja tunnistaa laajaan maadoitusjärjestelmään kuuluvat alueet. Tämän tekee monesti esimerkiksi jakeluverkkoyhtiö. Laaja maadoitusjärjestelmä muodostuu monesti esimerkiksi kaupunkialueille ja teollisuusalueelle, missä alue on ruutukaavamainen. (Tiainen ym. 2019, 70–71.) Laaja maadoitusjärjestelmä tulisi osoittaa esimerkiksi esittämällä alueesta kaavio, jossa maadoitusjärjestelmien yhteydet näkyvät (Tiainen ym. 2019, 71).

Artikkelissa A Comparative Review of the Methodologies to Identify a Global Earthing System, Colella, Pons ja Tommasini (2017) käyvät läpi, sekä vertailevat muutamia mielenkiintoisia tapoja tunnistaa laaja maadoitusjärjestelmä.

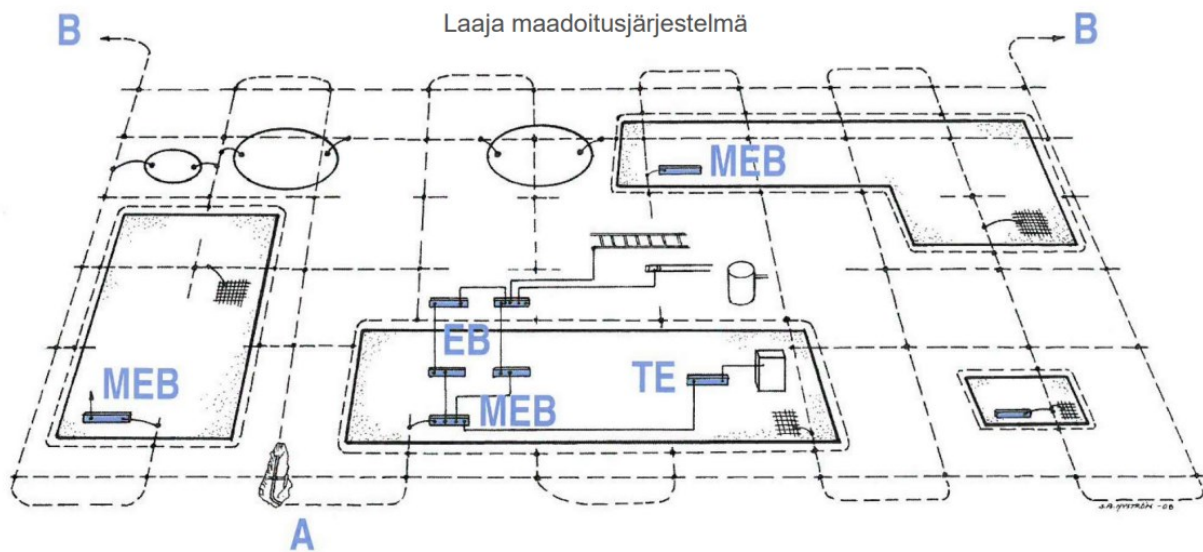
Yhtenä tapana tunnistamiseen artikkelissa esitettiin Desmedtin metodi, jonka oli kehittänyt belgialainen ryhmä. Kyseisessä metodissa on vaatimuksena vähintään 20 maadoitusjärjestelmää yhdistettynä toisiinsa keskijännitekaapeleiden konsentrisen johtimen tai muiden suojajohtimien kautta. Tämän lisäksi seuraavista ehdoista vähintään toisen pitää täytyä:

1. Kaapelien pituudet eivät saa ylittää L_{max} arvoa
2. Kaapelia on asennettu vähintään 1 kilometri ja kaapeleiden maanpinnalla olevan osuuden keskiarvo ei ylitä L_{max} arvoa.

$$L_{Max} \leq 500 \cdot \frac{S_m}{16(mm^2)} \quad (1)$$

missä S_m = kaapeleiden suojajohtimien poikkipinta-alojen painotettu keskiarvo (Colella ym. 2019).

Kaava 1 on tarkoitettu järjestelmiin, joissa käytetään virranrajoitusvastusta. Artikkelissa olleessa tilanteessa se kuitenkin toimii, vaikka kyseessä ei ollutkaan sellainen järjestelmä. Tätä metodologiaa voisi laajan maadoitusjärjestelmän tunnistamiseen käyttää apuna. (Colella ym. 2019)



Kuvio 1. Esimerkki laajasta maadoitusjärjestelmästä (Mäkinen, Kallio, & Tantarimäki. 2009, 34)

Kuviossa 1 on esitetty teollisuuslaitoksen laaja maadoitusjärjestelmä. Siinä Maahan on upotettu kuparitankoa (A) ja yhdessä maadoituselektrodin (B) kanssa se muodostaa verkkomaisen kuvion. Maadoituselektrodiin yhdistetään päämaadoituskiskot, maadoituskiskot ja alueella olevat säiliöt ja muut johtavat rakenteet. Rakennusten suojavaadoitukset ja toiminnalliset maadoitukset kytkevään rakennuksessa sijaitsevaan omaan päämaadoituskiskoon. (Mäkinen, Kallio, & Tantarimäki. 2009, 34.)

3.4 Muuntamon maadoitukset

3.4.1 Maadoituselektrodi

Muuntamolle rakennetaan aina maadoituselektrodi. Maadoituselektrodille vaadittava maadoitusimpedanssin mitoitusarvo ja alueen maadoitusverkon rakenne on selvitettävä. Maadoituselektrodiksi suositellaan syvämaadoituksia tai muuntamorakennuksen kiertävää elektrodia. On myös mahdollista käyttää kummankin liittymisjohdon ojaan asennettavia maadoitusköysiä. Myös liittymisjohtojen mahdollinen keskusköysi, joka yhdistää muuntamoiden maadoitukset toisiinsa, toimii osittain myös maadoituselektrodina. (ST 53.11. 2018.)

Kun rakennetaan laajan maadoitusverkon alueelle ei maadoitusresistanssin mittaamista vaadita. On kuitenkin varmistettava luotettavalla tavalla muuntamon liittyminen laajaan maadoitusjärjestelmään. Muuntamon ja pienverkon maadoitukset on laajaan maadoitusverkkoon liittymisestä huolimatta tehtävä standardien mukaan. (Tiainen ym. 2019; ST 53.11. 2018.)

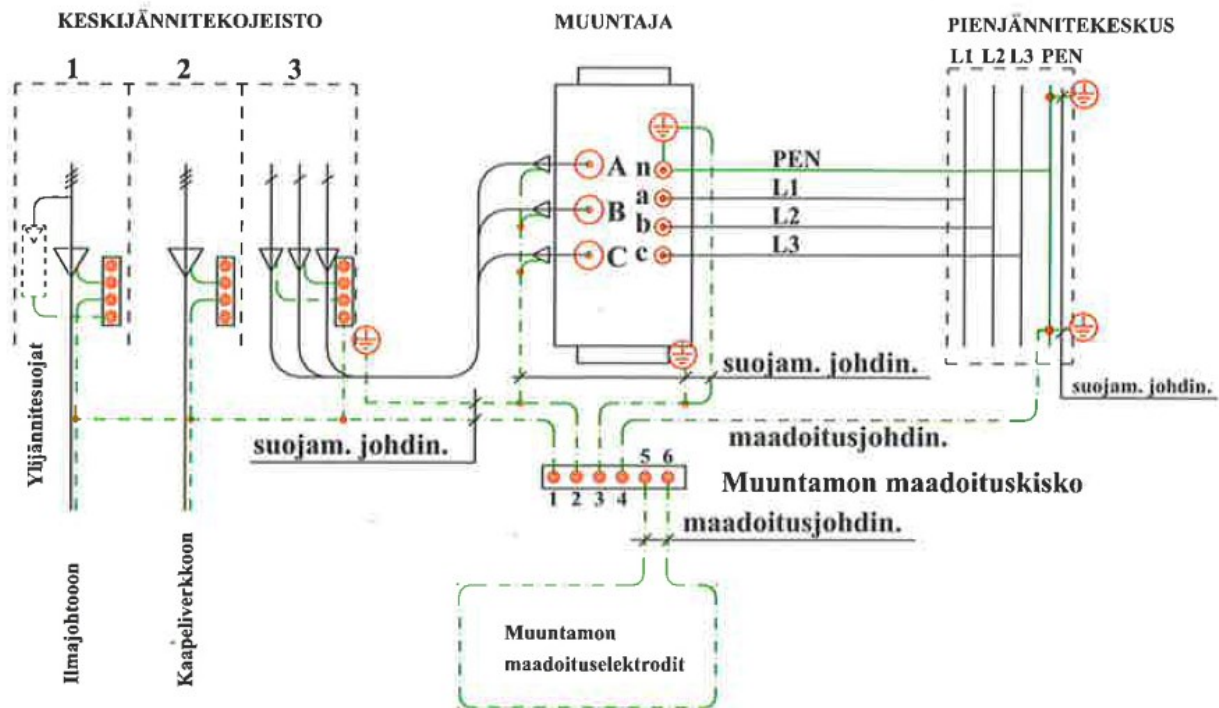
3.4.2 Muuntamon maadoituskisko

Muuntamoon rakennetaan oma maadoituskisko, johon yhdistetään:

- Maadoituselektrodi
- KJ- kojeiston maadoituskisko
- Muuntaja, valmistajan ohjeiden mukaan
- Kaapelipäätteet
- Liittymisjohtojen keskusköydet
- Muuntamon ja rakennuksen päämaadoituskiskon yhdistys
- Ukkossuojaus

Kaikki suojamaadoitusjohtimet voivat muuntamossa olla kirkasta 50mm² kuparia. Voidaan käyttää myös eristettyjä johtimia, mutta koska mitoituksessa sallitaan käytettäväksi 300 °C lämpötila on otettava huomioon mahdollinen eristeen sulaminen esimerkiksi kaksoismaasulussa. (ST 53.11; Tiainen ym. 2019.)

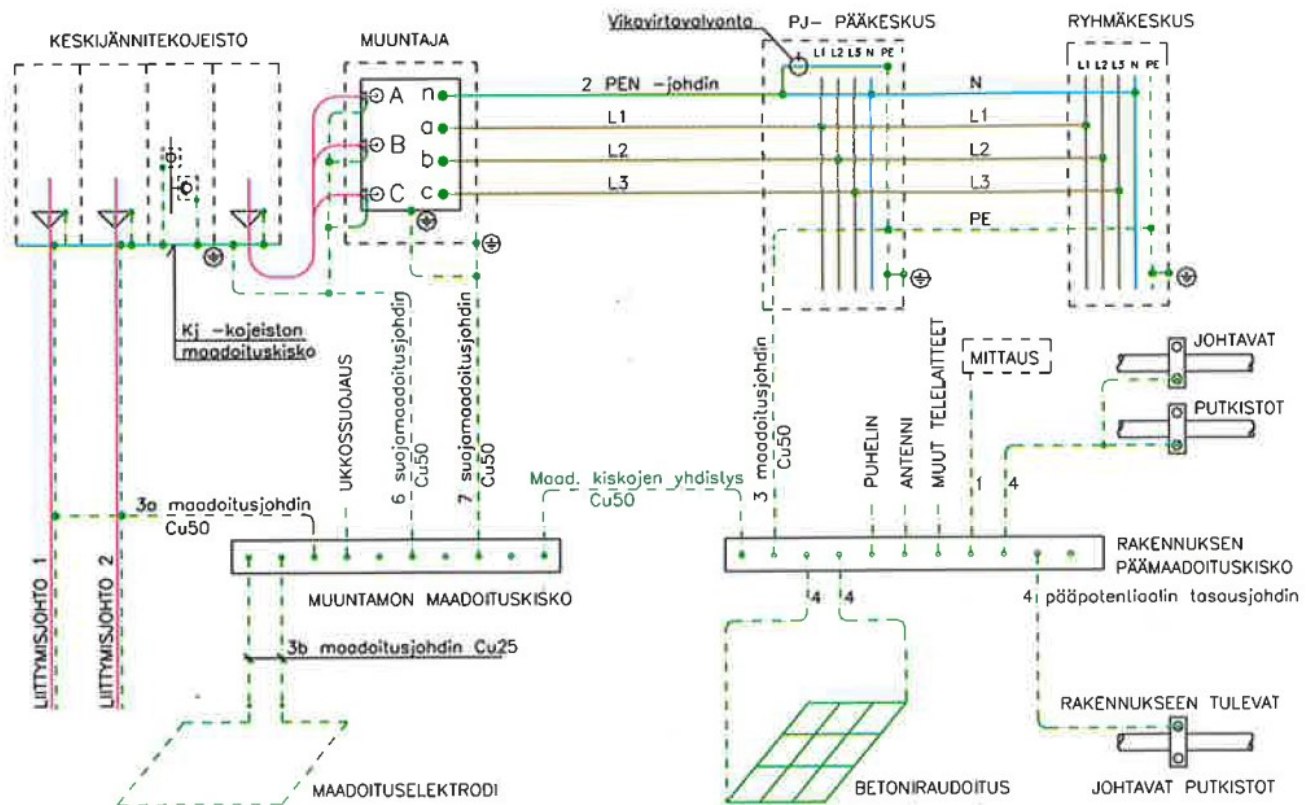
Kuviossa 2 on esitetty jakelumuuntamon maadoitukset. Liittimestä 1 lähtevään suojamaadoitusjohtimeen kytketään syöttävien kaapeleiden keskusköydet ja kennon 3 suojamaadoitus. Tämä varmistaa sen, että suuret vikavirrat kulkevat aina suojamaadoitusjohtimen kautta. Kennojen 1 ja 2 suojamaadoitus tapahtuu käytännössä keskusköysien avulla. Tällä kytkennällä pyritään varmistamaan keskusköysien yhdistymien toisiinsa kaikissa tilanteissa. Muuntajan syöttökaapelin kosketussuoja yhdistetään käytännössä aina molemmista päistä. (Tiainen ym. 2019, 63–64.)



Kuvio 2. Jakelumuuntamon maadoitukset (Tiainen ym. 2019, 63)

Kuviossa 3 on esitetty sähkökäyttäjän muuntamon kaapeliverkko. Jos muuntajan n-napa yhdistetään muuntajan vaippaan, on muuntajan n-avalta eteenpäin käytettävä erillisiä N- ja PE- johtimia. Mikäli pääkeskuksella on PEN-kisko rakennuksen- ja muuntamon päämaadoituskiskoa ei saa yhdistää. On myös mahdollista käyttää muuntamolla ja pääkeskuksella yhteistä päämaadoituskiskoa. (Tiainen ym. 2019, 65–66; ST 53.11 2018, 16.)

Pääkeskuksen ja päämaadoituskiskon välinen suojamaadoitusjohdin mitoitetetaan vikatilanteessa esiintyvän suurimman virran perusteella tai SFS6000-5-54:stä löytyvän taulukon 54.2 mukaan. Poikkipinnan on kuitenkin oltava päivittyneen vuoden 2022 standardin mukaan vähintään 16mm² kuparia, mutta sen ei tarvitse kuitenkaan olla suurempi kuin 50mm² kuparia. Tämä johtuu siitä, että kyseisessä suojajohtimessa kulkee harvoin virtaa edes vikatilanteessa, koska vikavirta kulkee muuntajan tähtipisteeseen kytketyssä PEN- tai PE- johtimessa. (SFS6000-5-54:2022, 13.)



Kuvio 3. Sähkönkäyttäjän muuntamo (Tiainen ym. 2019, 65)

3.4.3 Hajamagneettikenttien estäminen

Muuntamon ollessa samassa rakennuksessa sähkön käyttäjän kanssa on huolehdittava siitä, että noljavirralla ei ole muuta kulkureittiä kuin liittymisjohdon PEN johdin. Rakennuksen potentiaalintasusta ei saa liittää muuntamon maadoituskiskoon. On pyrittävä myös erottamaan muuntamon kojeistot rakennuksen maadoitettavista osista. Jos muuntamon ilmanvaihdon syöttö otetaan muuntamon pienjännitekeskuksesta ja ilmanvaihtoputkisto menee muiden tilojen läpi pitää moottori eristää putkistosta koska se on liitetty rakennuksen potentiaalintasaukseen. Muuntamossa maadoitetaan vain jännitteelle alttiit osat ja esimerkiksi muihin tiloihin jatkuva kaapelihylly liitetään rakennuksen potentiaalintasaukseen. (Tiainen ym. 2019, 64.)

3.5 Laitemaadoitukset

3.5.1 Moottorit

Enintään 1000V jännitteellä toimivissa moottoreissa käytetään suojajohtimena moottorin syöttökaapelin konsentrista johdinta (Tiainen ym. 2019, 77).

Yli 1000V jännitteellä toimivissa moottoreissa käytetään maadoitusjohtimena vähintään 50mm² kuparijohdinta (Tiainen ym. 2019, 77).

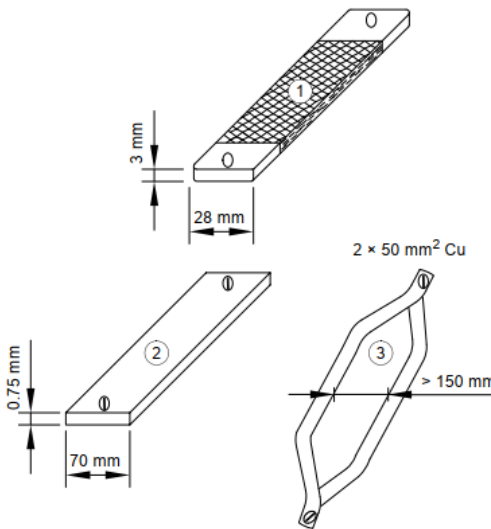
ATEX tiloissa olevien moottoreiden runkoon on tehtävä potentiaalintasaus, jonka minimipoikkipinnan on oltava vähintään 4mm², mutta käytännössä on otettava huomioon myös mekaaninen kestävyys (Tiainen ym. 2019, 164).

3.5.2 Taajuusmuuttajat

Taajuusmuuttajassa häiriön vaimentamiseen käytettävät komponentit aiheuttavat vuotovirtoja. Näiden vuoksi, jos taajuusmuuttajan syöttökaapelin suojajohtimen poikkipinta-ala on alle 10mm² on taajuusmuuttajalle vedettävä vuotovirtojen vuoksi vahvistettu suojamaadoitus (Facts Worth Knowing about AC Drives. 2019 ,159). Mikäli laitteessa on erillinen liitin toiselle suojajohtimelle, voidaan laitteelle asentaa lisämaadoitusjohdin. Lisämaadoitusjohdin liitetään pisteeseen, jossa suojajohtimen paksuus on vähintään 10mm² kuparia tai 16mm² alumiinia. Mikäli laitteessa taas on vain yksi liitin suojamaadoitukselle, asennetaan laitteelle kaapeli, jonka suojajohdin on vähintään 10mm² kuparia tai 16mm² alumiinia. (SFS6000-5-54:2022, 17.)

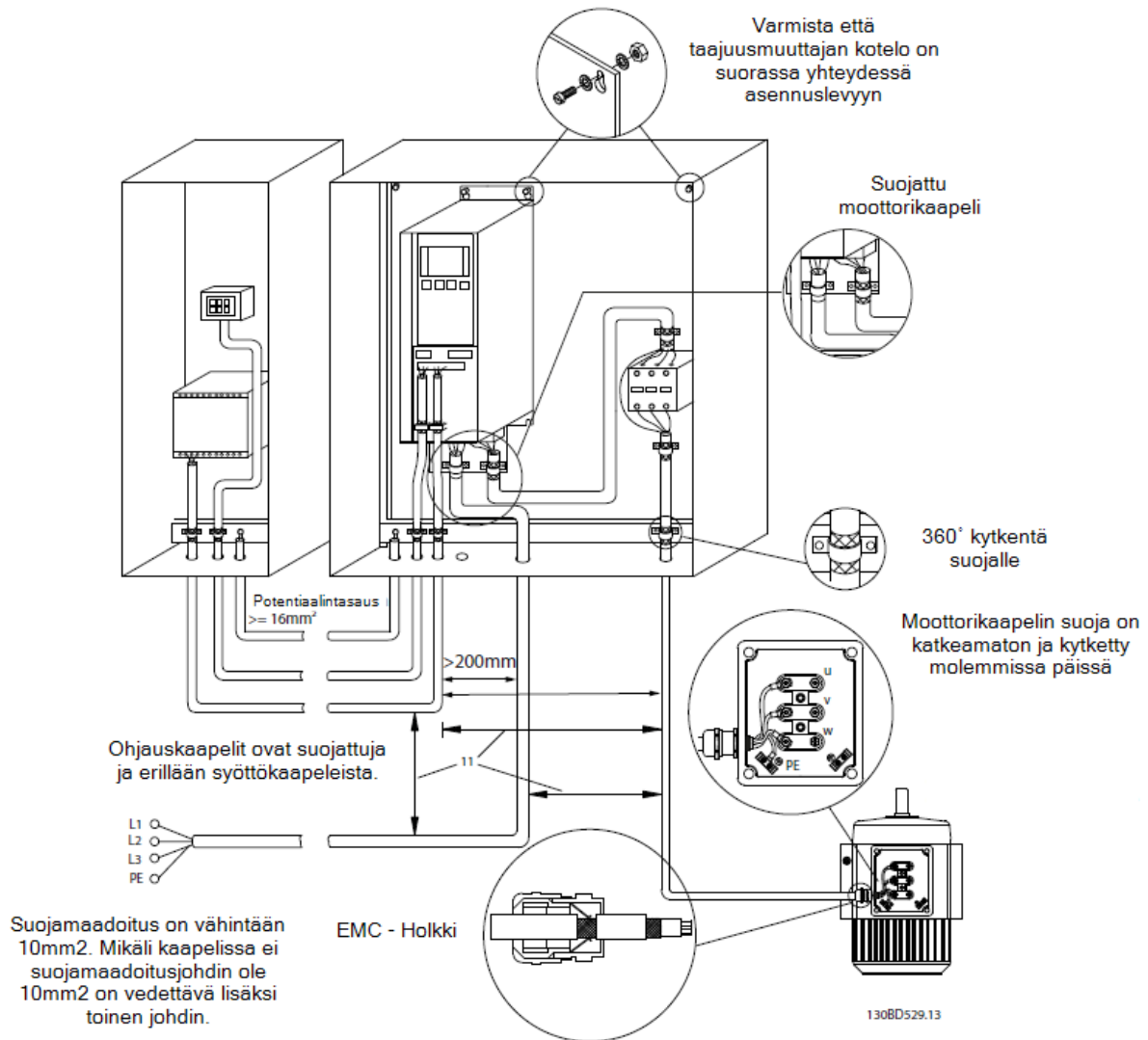
Taajuusmuuttajakäytöissä, joissa käytetään yli 100kW moottoreita on myös huolehdittava potentiaalintasaus moottorin ja pyöritettävän laitteen välillä. Tämmöistä potentiaalintasausta tarvitaan monesti esimerkiksi pumpuissa ja keskusvoidelluissa vaihdelaatikoissa. Tätä potentiaalintasausta ei tarvita, mikäli moottorin akseli on johtamaton tai liitos on eristävä, moottori ja pyöritettävä laite on asennettu yhtenäiselle teräksiselle alustalle tai moottori on liitetty laippaliitoksella suoraan laitteeseen. (Grounding and cabling of drive systems. 2013, 24.)

Potentiaalintasaus tehdään kupariliuskalla tai -nauhalla, jonka poikkipinta-ala on oltava vähintään 70 mm x 0,75 mm tai käyttämällä kahta erillistä poikkipinnaltaan 50 mm² kaapelia, jotka ovat vähintään 150 mm etäisyydellä toisistaan. Potentiaalintasaus on tehtävä lyhyintä mahdollista reittiä. Kuviossa 4 on esimerkkejä potentiaalintasaukseen käytettävistä johtimista. (Grounding and cabling of drive systems. 2013, 24.)



Kuvio 4. Potentiaalintasaukseen käytettäviä johtimia (Grounding and cabling of drive systems. 2013, 25, muokattu)

Taajuusmuuttajan invertterissä tapahtuvat nopeat jännitteen kytkeytymiset aiheuttavat elektromagneettisia häiriöitä. Tämän vuoksi on tärkeää käyttää suojattuja kaapeleita. Suunnittelussa on myös hyvä huomioida, että asennuksessa käytetään oikeanlaisia EMC asennuksiin soveltuvia tarvikkeita. Suojatussa kaapelissa kytketään molempien päiden suojaus käyttämällä 360 asteen kytkentätapaa. Jos tämä aiheuttaa signaaliin häiriötä on tarkastettava, että laitteet, jotka kaapeli yhdistää ovat samassa potentiaalissa. Mikäli laitteiden välillä ei ole mahdollista saada samaa potentiaalia voidaan toinen pää maadoittaa 100nF kondensaattorin kautta. (Facts Worth Knowing about AC Drives 2019, 138.)



Kuvio 5. Esimerkki taajuusmuutaja asennuksesta (Facts Worth Knowing about AC Drives 2019,140, muokattu)

3.6 Mitoitus

3.6.1 Suojajohtimen mitoitus alle 1000V järjestelmissä

Suojajohdin mitoitetaan joko taulukon 3 mukaisesti tai laskemalla. Johtimen on kestettävä prospektiivisen vikavirran aiheuttamat mekaaniset ja termiset rasitukset, joita syntyy suojalaitteen toiminta-aikana. Jos suojajohdin ei ole kaapelivaipan sisässä tai kulje samassa asennusputkessa on poikkipintojen oltava vähintään $2,5\text{mm}^2$ kuparia tai 16mm^2 alumiinia, jos suojajohtimella on mekaaninen suojaus. Ilman mekaanista suojausta on johtimen oltava vähintään 4mm^2 kuparia tai 16mm^2 alumiinia. (SFS6000-5-54:2022, 11-12)

Taulukossa 3 on esitetty suojajohtimien minimipoikkipinta eri äärijohtimien poikkipinnoilla.

Taulukko 3. Suojajohtimien minimipoikkipinnat (SFS6000-5-54:2022, 12)

Äärijohtimen poikkipinta S mm ² kuparia	Vastaavan suojajohtimen minimipoikkipinta mm ² kuparia	
	Suojajohdin on samaa materiaalia kuin äärijohtimien	Suojajohdin on eri materiaalia kuin äärijohtimien
$S \leq 16$	S	$\frac{k_1}{k_2} \times S$
$16 < S \leq 35$	16^a	$\frac{k_1}{k_2} \times 16$
$S > 35$	$\frac{S}{2}^a$	$\frac{k_1}{k_2} \times \frac{S}{2}$

Suojajohtimen poikkipinta voidaan myös laskea käyttämällä kaavaa 2. Laskemista käytetään yleensä tilanteessa, jossa vikavirta voi kiertää suojajohtimen kautta. Esimerkkinä tilanne, jossa suuritehoisen muuntamon suuri vikavirta kiertää suojajohtimen kautta. Tällöin suojajohtimen mitoittamiseen ei riitä yllä olevan taulukon tapa. (Puttonen, 2022)

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k} \quad (2)$$

missä S = suojajohtimen pienin pinta-ala (mm²)

I = Prospektiivisen vikavirran tehollisarvo, joka kulkee suojalaitteen kautta, kun tapahtuu pieni-impedanssinen vika. Eli yksivaiheinen oikosulkutilanne.

t = on suojalaitteen kokonaistoiminta-aika (s)

k = kerroin saadaan taulukosta 4 tai laskemalla kaavalla 3.

Taulukossa 4 on esitetty k -kertoimet erillisille suojajohtimille, jotka eivät sisälly kaapeliin tai ole niputettu yhteen muiden kaapelien kanssa. Muihin tilanteisiin löytyy taulukoita SFS6001-5-54:n velvoittavasta liitteestä 54A. (SFS6000-5-54:2022, 12)

Taulukko 4. Kertoimia syöttökaapelista erillään oleville suojajohtimille (SFS6000-5-54:2022, 20)

Johdineristys	Lämpötila °C ^b		Johtimen materiaali		
			Kupari	Alumiini	Teräs
	Alku	Loppu	Arvot kertoimelle k^c		
70 °C PVC	30	160/140 ^a	143/133 ^a	95/88 ^a	52/49 ^a
90 °C PVC	30	160/140 ^a	143/133 ^a	95/88 ^a	52/49 ^a
90 °C PEX, EPR	30	250	176	116	64
60 °C EPR-kumi	30	200	159	105	58
85 °C EPR-kumi	30	220	166	110	60
185 °C Silikonikumi	30	350	201	133	73

^a Alemmat arvot ovat poikkipinnaltaan yli 300 mm² kestomuovi(PVC)-eristeisille johtimille.
^b Lämpötilarajat erityyppisille eristeille on annettu IEC 60724:ssä.
^c Tämän Liitteen alussa esitetyssä kaavassa on annettu kertoimen k laskentamenetelmä.

Kerroin k voidaan myös laskea kaavalla 3.

$$k = \sqrt{\frac{Q_c(\beta + 20^\circ\text{C})}{\rho_{20}} \ln\left(\frac{\beta + \theta_f}{\beta + \theta_i}\right)} \quad (3)$$

Taulukossa 5 on esitetty kaavassa 3 käytettäviä parametrejä. θ_f on johtimen loppulämpötila (°C) ja θ_i kaapelin alkulämpötila (°C) (SFS6000-5-54:2022, 20).

Taulukko 5. Kaavassa 3 käytettäviä parametrejä eri kaapelimateriaaleilla (SFS6000-5-54:2022, 20.)

Materiaali	β^a °C	Q_c^a J/°C mm ³	ρ_{20}^a Ω mm	$\sqrt{\frac{Q_c(\beta + 20^\circ\text{C})}{\rho_{20}} \frac{A(\sqrt{s})}{\text{mm}^2}}$
Kupari	234,5	$3,45 \times 10^{-3}$	$17,241 \times 10^{-6}$	226
Alumiini	228	$2,5 \times 10^{-3}$	$28,264 \times 10^{-6}$	148
Teräs	202	$3,8 \times 10^{-3}$	138×10^{-6}	78

^a Arvot on otettu IEC 60949:stä.

Mikäli kiinteän laitteen ominaisuuksista johtuen suojamaadoitusjohtimessa virta ylittää 10mA on käytettävä vahvistettua suojamaadoitusjohdinta. Laittevalmistaja ilmoittaa kyseisen laitteen ominaisuuden ja varaa tähän tarkoitukseen sopivat liittimet. Jos laitteessa ei ole kuin yksi suojamaadoitusliitin on suojamaadoitusjohdin oltava koko matkalta vähintään 10mm² kuparia tai 16mm²

alumiinia. Mikäli laitteesta löytyy erillinen liitin toiselle suojamaadoitusjohtimelle, täytyy se mitoittaa vikasuojauksen mukaan siihen saakka, kun suojajohtimen poikkipinta on vähintään 10mm² kuparia tai 16mm² alumiinia. (SFS6000-5-54:2022, 17.)

3.6.2 Maadoitusjohtimen ja -elektrodin mitoitus suurjännitejärjestelmässä

Alle viisi sekuntia kestävillä vikavirroilla maadoituselektrodin ja –johtimen poikkipinta-alat voidaan mitoittaa laskemalla kaavalla 4. Johtimen virtana käytetään liitteessä 1 olevassa taulukossa esitettyjä virtoja.

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}} \quad (4)$$

missä A = Johtimen poikkipinta-ala

I = Johtimen vikavirran tehollisarvo

t_f = Vikavirran kesto aika sekuntia

K = Materiaalista riippuva vakio. Taulukossa 6 arvot yleisimmille materiaaleille 20° C alku lämpötilassa ja maksimissaan 300°C loppulämpötilassa

β = Virrallisen osan resistanssin lämpötilakertoimen käänteisarvo 0 asteen lämpötilassa.

θ_f = Alkulämpötila, maan lämpötilana tulisi 1 metrin syvyydessä käyttää 20°C.

θ_i = Loppulämpötila. Eristämättömällä johtimella käytetään 300°C ja eristetyllä 150°C. (SFS 6001:2018, 109.)

Taulukko 6. Materiaalivakiot normaaliolosuhteissa (SFS 6001:2018, 109.)

Materiaali	β [°C]	K [$A \times \sqrt{s} / mm^2$]
Kupari	234,5	226
Alumiini	228	148
Teräs	202	78

On myös hyvä huomata, että jos maadoitusjohdin mitoitetaan käyttäen 300 °C loppulämpötilaa, tulee maadoitusjohtimien olla paljaita. Mikäli tällöin käytetään eristettyä maadoitusjohdinta, on vaarana eristeen sulaminen. Jos johdin on olosuhteiden vuoksi eristettävä, pitää loppulämpötila laskussa muuttaa muunnoskertoimella johtimen eristeen mukaiselle loppulämpötilalle. Maadoitusjohtimen eriste on yleensä PVC:tä, jonka suurin sallittu loppulämpötila on 160 °C. (Tiainen ym. 2019, 61–62)

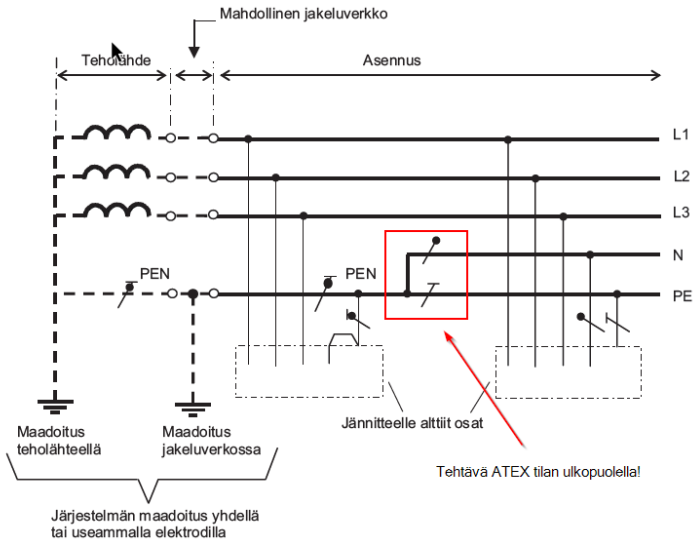
Kaava 4 ottaa huomioon laskennassa alku ja loppulämpötilat, mutta samaan tulokseen päästään käytännössä myös kaavalla 2, jos kerroin k lasketaan kaavalla 3. Tästä esimerkkilasku liitteessä 2. Nyrkkisääntönä voisi siis ajatella, että jos maadoitusjohtimena käytetään paljasta kuparia, käytetään kaavaa 4 ja jos eristettyä johdinta, voisi käyttää suoraan kaavaa 2.

3.7 ATEX

Räjähdyksivaarallisissa on huolehdittava siitä, että sähkölaitteet eivät missään tilanteessa voi aiheuttaa kipinöintiä. Tämän takia räjähdysvaarallisissa tiloissa suojamaadoitus ja potentiaalintasausvaatimukset ovat tiukempia kuin muissa tiloissa. Näissä suojauksen pääperiaatteet ovat vikavirtojen suuruuden ja kestoajan rajoittaminen sekä potentiaalintasausjohtimen jännitteen nousun estäminen. Nämä asiat pätevät tehollisarvoltaan 1000V vaihtovirralla ja 1500V tasavirralla toimiville sähköverkoille, lukuun ottamatta EXi piirejä. (SFS60079:2015, 47; Tiainen ym. 2019,163).

3.7.1 TN- Järjestelmä

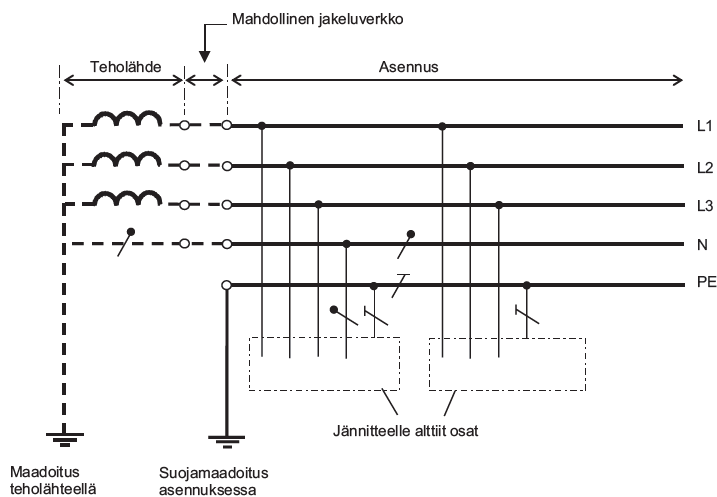
TN järjestelmässä on käytettävä TN-S järjestelmää, jossa nolla ja suojajohdin on erotettu. Suojajohdin on yhdistettävä potentiaalintasauskiskoon räjähdysvaarallisen tilan ulkopuolella siirryttäessä TN-C järjestelmästä TN-S järjestelmään (SFS60079:2015, 47).



Kuvio 6. TN- järjestelmä (SFS 6000-1:2022, 50, muokattu)

3.7.2 TT- Järjestelmä

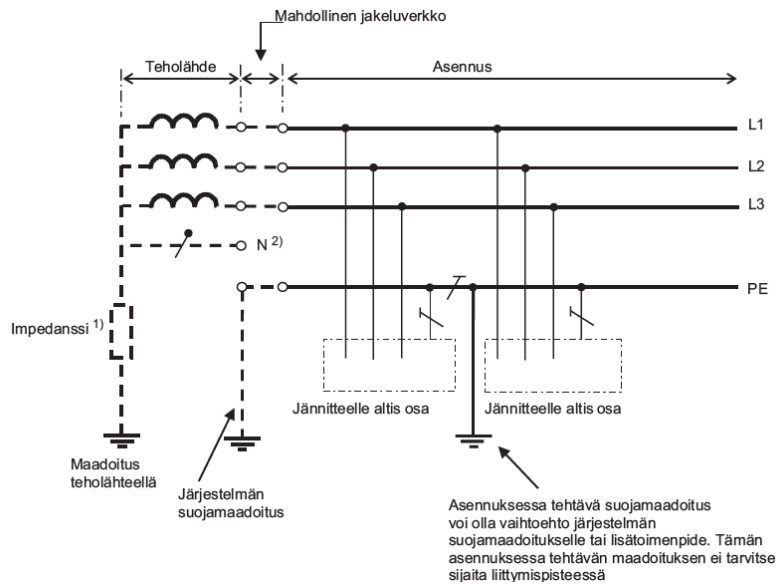
Järjestelmässä, jossa sähköverkko ja jännitteelle alttiit osat ovat eri maadoituksissa, pitää suojaauksessa käyttää vikavirtasuojaa. On otettava huomioon, että jos maadoitusresistanssi on suuri ei tällainen järjestelmä ole välttämättä hyväksyttävissä. TT järjestelmää ei käytetä Suomessa, mutta on yleinen esimerkiksi Etelä-Euroopassa. (SFS60079:2015; SFS 6000-1:2022, 52.)



Kuvio 7. TT- järjestelmä (SFS 6000-1:2022, 53)

3.7.3 IT- Järjestelmä

Järjestelmässä, jossa tähtipiste on kytketty maahan impedanssin kautta tai erotettu maasta, on oltava ensimmäisestä maasulusta hälyttävä maasulkuilmaisoin (Tiainen ym. 2019, 163).



Kuvio 8. IT-järjestelmä (SFS 6000-1:2022, 55)

3.7.4 Potentiaalintasaus

TN- TT- ja IT-järjestelmien kaikki jännitteelle alttiit osat ja muut johtavat osat on yhdistettävä potentiaalintasausjärjestelmään sekä toisiinsa. Jos on vaarana syntyä staattista sähköä, pitää myös kaikki pienetkin kappaleet kuten muoviputkien laipat sekä venttiilit yhdistää potentiaalintasausjärjestelmään. Potentiaalintasausjärjestelmä yhdistetään sähköverkon suojamaadoitukseen. Kaikissa liitoksissa on minimoitava korroosion riskit huomioimalla materiaalit sekä estettävä löystyminen. (SFS60079:2015, 49.)

Vaikka laitteen jännitteelle alttiit osat olisi suojamaadoitettu on sähkölaitteiden metalliset kotelot ja rungot liitettävä erillisellä johtimella potentiaalintasausjärjestelmään. Jos laite on asennettu niin, että sillä on luotettava ja johtava yhteys maadoitettuihin rakenneosiin ei tätä tarvitse kuitenkaan tehdä. Myös muut johtavat osat, jotka eivät kuulu asennukseen voidaan jättää yhdistämättä potentiaalintasaukseen, mikäli jännitteen siirtymisestä ei ole vaara. Näitä ovat esimerkiksi johtavat

ikkunoiden tai ovien puitteet. Energiaa rajoittavien laitteiden metallisia koteloita ei yhdistetä potentiaalintasausjärjestelmään elleivät laitteen ohjeet tai staattisen sähkövarauksen purkaminen sitä edellytä. (SFS60079:2015, 49.)

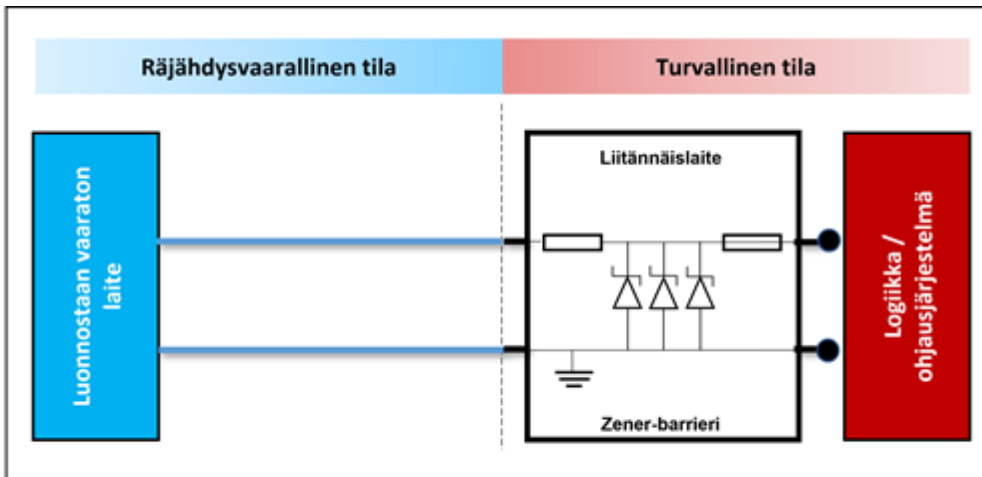
Yhtenäiset metallirakenteet yhdistetään potentiaalintasaukseen vähintään yhdellä, ja suuremmat rakenteet useammalla yhdistyspisteellä. Jos putkistossa on huonosti johtavia osia kuten eristäviä laippaliitoksia ja tiivisteitä, pitää ne ylittää sähköä johtavalla johtimella tai putkisto on yhdistettävä erikseen potentiaalintasaukseen eristävän kohdan molemmilta puolilta. Näin toimitaan myös siinä tapauksessa, kun putkistossa on semmoinen osa, jonka poistaminen esimerkiksi huollon tai vaihdon ajaksi katkaisee johtavan yhteyden. (Tiainen ym. 2019, 163.)

3.7.5 Exi piirien ja laitteiden maadoitus

Exi- piirit ovat joko maadoitettuja tai maadoittamattomia. Exi piiri, joka on kytketty maahan minimissään $0,2M\Omega$ vastuksen kautta ei katsota maadoitetuksi piiriksi (Tiainen ym. 2019, 165).

Virtapiiri maadoitetaan yhdistämällä maadoitettava virtapiiri laitoksen maadoitus- tai potentiaalintasausjärjestelmään. Yhdessä galvaanisesti yhtenäisessä järjestelmässä on maavirtasilmukoiden välttämiseksi kytkentä tehtävä vain toiseen näistä maadoituskohdista. Kytkentä voidaan tehdä joko räjähdysvaarallisessa tilassa tai sen ulkopuolella. (Tiainen ym. 2019, 165.)

Zener-barrierilla rajoitetaan räjähdysvaarallisen tilan laitteiden jännitteitä, virtaa ja tehoa. Sen toimintaperiaatteessa estetään vastuksella virran pääsy räjähdysvaaralliseen tilaan ja vikatilanteessa zener-diodit rajoittavat jännitettä johtaen ylimääräisen jännitteen maahan. Ylikuormitussuojaus zener-diodille tehdään sulakkeen avulla. Jotta zener-barrieri toimii oikein, tarvitsee se Ex i maadoituksen. (Zener-barrierin ja luonnostaan vaarattoman erottimen ero n.d)



Zener-barrieri

Kuvio 9. Zener barrieri (Zenerbarrierin ja luonnostaan vaarattoman erottimen ero n.d)

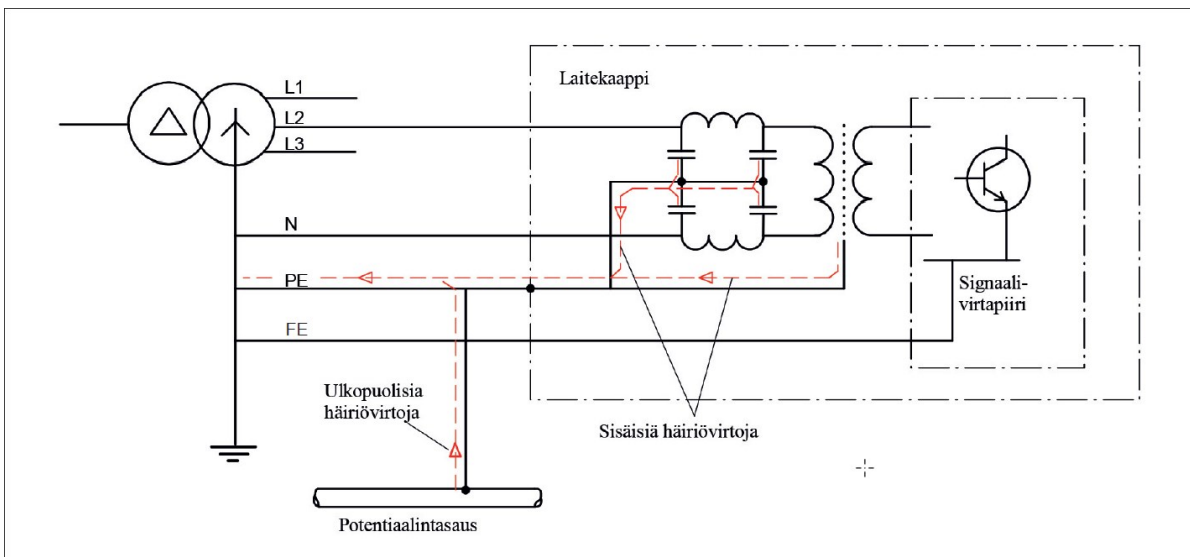
Zener-barrieria käytettäessä piirin turvallisuus on täysin maadoituksen varassa. Tämän takia maadoitusliittimet pitää kytkeä maadoitus- tai potentiaalintasauskiskoon lyhyintä tietä. Jotta vikajännitteet eivät pääsisi häiritsemään barrierin toimintaa pitää rajoittimen maadoituskiskona toimiva asennuskisko eristää keskuksen rungosta. Maadoitusjohtimena käytetään eristettyä, vähintään 4mm^2 kuparijohdinta. Jos käytetään kahta johdinta rinnakkain, voi poikkipinta-ala olla $1,5\text{mm}^2$. Johtimen poikkipinta-alan pitää vastata suurinta maasulkuvirtaa. Maadoitusjohtimen resistanssi saa olla enintään 1Ω , jotta voidaan välttää vaaralliset potentiaalierot. (Tiainen ym. 2019, 166.)

Kaapelin johtava suojavaippa yhdistetään barrierin maadoituskiskoon tai suoraan maadoitus- tai potentiaalintasausjärjestelmään samaan paikkaan kuin Exi- piiri. Jos potentiaalintasauasta ei virtapiirissä ole pitää suojavaippa yhdistää potentiaalintasaukseen vain yhdessä kohdassa. (Tiainen ym. 2019, 167.)

Exi- laitteiden metallikotelot täytyy 0-, 20 ja A- luokan tiloissa yhdistää potentiaalintasaukseen 4mm^2 kuparijohtimella. Katodisuojausjärjestelmässä sisältävissä asennuksissa on otettava huomioon, ettei niitä saa yhdistää potentiaalintasausjärjestelmään, ellei niitä ole tähän suunniteltu. (Tiainen ym. 2019, 167.)

3.8 Toiminnallinen maadoitus

Jotkin elektroniset laitteet tarvitsevat häiriöttömän toiminnan takaamiseksi referenssimaan. Toiminnallinen maadoitus tehdään laitteen toiminnan, eikä suojauksen takia. Tämän vuoksi toiminnallinen maadoitus ei siis täytä suojamaadoituksen vaatimuksia eikä johdinvärinä saa käyttää keltavihreää. Toiminnallisen maadoituksen tunnusväri on vaaleanpunainen. On kuitenkin mahdollista yhdistää suojamaadoitus, sekä toiminnallinen maadoitus kunhan täytetään suojamaadoituksen vaatimukset. Tällöin on mahdollista käyttää johdinvärinä keltavihreää. Toiminnallisesta maasta on aikaisemmin käytetty kirjainyhdistelmää TE, mutta nykyään on käytössä FE. (SFS6000-5-54:2022, 28.)



Kuvio 10. Toiminnallisen maadoituksen toimintaperiaate (ST 51.02 2017,4)

Kuviossa 10 on esitetty toiminnallisen maadoituksen toimintaperiaate. Laitteen häiriösuodatin vuotaa vuotovirtaa PE johtimeen. Tämä aiheuttaa kyseiseen johtimeen jännitehäviön, joka taas aiheuttaa ongelmia herkille laitteille. Signaalivirtapiiri on eristetty muusta laitekaapista, ja yhdistetty FE johtimella maahan, joka on maan potentiaalissa. PE johtimessa taas kulkevat häiriövirrat, jotka on merkitty punaisella. (Tiainen, 2020.)

4 Toteutus

4.1 Käsiteltävien aiheiden rajaus

Koska työssä ei ollut tarkoitus käsitellä aiheesta kaikkea, vaan enemmänkin keskittyä löytämään aiheet, joihin on haastava tai työläs hakea tietoa. Aloitin opinnäytetyön kollegoiden haastatteluilla, joista kirjasin itselleni ylös pienet muistiinpanot. Työn alussa oli tärkeää saada kokoon teoriapohjassa käsiteltävät aiheet, jotta pääsin kokoamaan teoriaosuutta. Työn edetessä jatkoin haastatteluja ja pyrin herättämään aiheesta keskustelua, jotta aiheeseen voisi herätä lisää kysymyksiä ja löytä tyä niin sanottua hiljaista tietoa. Kun sain valittua teoriapohjaan riittävän määrän käsiteltäviä aiheita, pyrin myöhemmissä haastatteluissa keskustelemaan enemmän työhön valikoiduista aiheista ja löytämään aiheisiin esimerkkejä suunnitelluista kohteista ja selvittämään onko kohteissa tullut minkälaisia ongelmia vastaan, sekä siitä millainen opas aiheesta olisi hyödyllinen.

4.2 Tiedonhankinta

Käsiteltäviin aiheisiin tutustuin ensimmäisenä standardien avulla. Standardien lisäksi käytin hyväkseni alan kirjallisuutta ja esimerkiksi ST kortteja, joiden avulla sain asiaan hieman käytännönlähteistä tulokulmaa. Tietoa pyrin etsimään myös kansainvälisistä artikkeleista ja koulun kurssimateriaaleista.

Tiedon tarkistusta tein vertaamalla usein tietoa standardiin. Tämä sen vuoksi, että se on toiminut pääasiallisena lähteenä myös muissa käyttämässäni lähteissä. Tietoa tarkastin myös ohjauspalaverissa opinnäytetyön ohjaajalta sekä omalta kollegalta, joka toimi työpaikallani opinnäytetyön ohjaajana. Työpaikan ohjaajan kanssa pyrin myös vertaamaan tietoa käytännön toteutuksiin.

5 Tulokset

Opinnäytetyön tuloksena tein yrityksen käyttöön ohjeistuksen, jossa käsitellään tutkimuskysymysten avulla saatuja aiheita. Ohjeistukseen kirjoitetaan rajauksen vuoksi tässä vaiheessa vain asiat, jotka valikoituivat työhöni kyselyjen perusteella. Tästä syystä itse yritykselle koostamastani ohjeistuksesta tuli vielä melko suppea, mutta kuitenkin hyvä pohja jatkokehitykselle.

Aiheiden tieto on jakautunut moneen eri paikkaan, joten sain sitä työssäni hieman koottua yksiin kansiin. Pyrin tiivistämään asiat siihen mahdollisimman tiiviisti ja selkeästi ja lisäsin myös tiedot lähteistä, jotta lukijan on helppo löytää tarvittaessa aiheesta lisätietoa helposti.

6 Johtopäätökset

Alussa esitin työn tutkimuskysymyksiä seuraavat kysymykset:

- Mitkä asiat ovat olleet vaikeita tai epäselviä suunnitteluprosessien aikana?
- Onko jotain asioita mitä joutuu usein etsimään standardeista?
- Mitä ongelmia on tullut vastaan suunnitelluissa kohteissa?
- Millainen oppaan pitäisi olla?

Näihin kysymyksiin pyrin saamaan tutkimusosuudessa vastauksia. Kolmeen ensimmäiseen kysymykseen sain jonkin verran vastauksia, mutta en kuitenkaan ihan siinä määrin kuin olisin toivonut. Tämä johtui siitä, että asia on kuitenkin melko hankala eikä sitä kovin usein tarvitse perinpohjaisesti suunnittelussa miettiä, koska valmiita ratkaisuja on myös käytettävissä vanhoista projekteista. Lisäksi kyselyssä ilmeni, että asiakkailla on hyvät suunnitteluohjeet maadoitusten tekemiseen. Se taas helpottaa suunnittelua ja vähentää tiedonhaun tarvetta. Tämän perusteella rajasin työstä pois vielä asiakkaiden omat ohjeistukset ja keskityin toteutuksessa tekemään vain yleisen ohjeistuksen, jota voisi käyttää apuna sellaisissa kohteissa joihin ohjeistusta ei ole laadittu ollenkaan.

Oppaan toteutukseen liittyvään kysymykseen sain vastauksia melko vähän. Kysymyksellä oli alun perin tarkoitus löytää jokin ratkaisu siihen, että toteutuksesta tulisi mahdollisimman yksinkertainen ja käytännöllinen. Vaikka ehdotin muutamaa ideaa itsekin niin loppujen lopuksi päädyin työssäni perinteiseen raporttimalliseen työhön. Tämä kysymys olisi jälkeenpäin ajateltuna olisi pitänyt alun perinkin jättää pois ja päättää heti aluksi, että toteutuksesta tulee raportti mallinen. Luulen, että se olisi helpottanut paljon opinnäytetyön teoriaosuuden jäsentelyä ja rajaamista.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada aikaan helppokäyttöinen ohjeistus, jota voidaan käyttää suunnittelun apuna. Itsessään ohjeistus jäi rajaustavan vuoksi melko vajaaksi, mutta antaa kuitenkin hyvän pohjan jatkokehittää sitä. Ohjeistus on hyödyksi ainakin käsiteltävissä aiheissa ja antaa niistä aiheista enemmän tietoa. Mielestäni ohjeistuksesta tuli kuitenkin melko onnistunut niiden aiheiden osalta mitä siinä käsiteltiin.

Jos olisin halunnut oppaasta valmiimman ja johdonmukaisemman olisi minun kannattanut tehdä tästä työstä enemmän kirjallisuuskatsaus tyyppinen työ. Tämä lähestymistapa olisi ollut helpompi jäsenellä suoraan oppaaksi ja siitä olisi tullut johdonmukaisempi.

Valitsemani lähestymistapa toi projektiin haasteita jäsentelyyn ja rajaamiseen, mutta omasta mielestäni pääsin syventymään valittuihin asioihin hieman enemmän kuin, jos olisin käsitellyt maadoituksia laajemmin. Aiheiden valinta olisi ollut ilman kyselytutkimusta vaikeaa koska itselleni ei vielä ole kovin paljon suunnittelukokemusta kertynyt. Työn lopputulos olisi ollut parempi, kun olisin rajannut asiakkaiden ohjeistukset heti alussa pois ja keskittynyt vain siihen, että tekisin työssä suunnitteluohjeen kohteisiin, joissa ohjeistusta ei ole. Olisi pitänyt myös keskittyä enemmän tekemään linjauksia suunnitteluun, mutta tämä asia keksittiin projektissa liian myöhäisessä vaiheessa, jonka vuoksi ne jäivät valitettavan vähäiseksi.

Itse teoriaosuuteen oli saatavilla paljon tietoa ja sen kirjoittaminen, sujui melko helposti. Pientä haastetta teoriaosuuden johdonmukaisuuteen toi se, että työssä ei käsitelty juurikaan perusteita. Tärkeimpänä lähteenä toimivat standardit, mutta pyrin kuitenkin etsimään monipuolisesti erilaisia lähteitä.

Tiedon luotettavuutta pyrin validoimaan vertaamalla sitä asiakkaiden ohjeistuksiin sekä testamalla laskuja yrityksen omilla Excel taulukoilla. Tarkistin tietoa myös opinnäytetyön ohjaajaltani sekä työpaikalla kollegoiltani.

Kyselytutkimusta suorittaessani kirjoitin myös muistiinpanoja, mutta niihin en sisällyttänyt lainkaan henkilötietoja. Työhön ei tehty salassapitosopimuksia, joten jätin opinnäytetyöstä pois kaikki

asiakkaisiin viittaavat asiat ja esimerkit. Vaikka näitä yrityksen käyttöön jäävästä oppaasta löytyykin ei niiden käyttöön ollut mielestäni tarvetta.

Opinnäytetyö onnistui haasteista huolimatta mielestäni hyvin. Sain opinnäytetyön tekemisen aikana itse paljon tietoa maadoituksista ja varmasti myös kiinnitän näihin asioihin enemmän huomiota tulevaisuudessa, kun niitä suunnitelmissa tulee vastaan.

Lähteet

Facts Worth Knowing about AC Drives. 2019. Käsikirja. Danfoss. <https://danfoss.ipapercms.dk/Drives/DD/Global/SalesPromotion/FWK/fwk-2019/?page=1>. Viitattu 17.10.2022

Grounding and cabling of drive systems. 2013. Käsikirja. ABB. https://library.e.abb.com/public/64a0f2f7292bcfd7c1257b3a003993ea/EN_Grounding_and_cabling_rev_C.pdf. Viitattu 18.10.2022

Mäkinen, M. J., Kallio, R. & Tantarimäki, R. 2009. Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset. Helsinki: Otava.

Colella, P. Pons, E & Tommasini, R. 2017. Comparative Review of the Methodologies to Identify a Global Earthing System. IEEE Transactions on Industry Applications, 53, 4, 3260–3267. Viitattu 21.9.2022. <https://janet.finna.fi>, IEEE Electronic Library (IEL)

Puttonen, P. 2022. Teollisuusverkon suojajohtimen mitoitus. Luentotalenne. Viitattu 14.10.2022.

SFS60079:2015. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 14: Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu: 27.4.2015. Perustuu standardiin EN 60079-14:2014. Viitattu 25.9.2022. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS 6000-1:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Peruseriaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu: 12.08.2022. Perustuu standardeihin CENELEC HD60364-1:2008 ja SFS-IEC 60050-826:2005. Viitattu 23.11.2022. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS 6000-4-41:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4–41: Suojausmenetelmät. Suojaus sähköiskulta. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu: 15.6.2018. Perustuu standardiin CENELEC HD60364-4-41:2017. Viitattu 12.9.2022. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS 6000-5-54:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5–54: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Maadoittaminen ja suojajohtimet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu: 12.8.2022. Perustuu standardeihin IEC 60364-5.54:2011 ja CENELEC HD 60364-5-54 sekä muutokseen A11/2017. Viitattu 12.9.2022. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS 6001:2018. Suurjännitesähköasennukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu: 12.2.2022. Perustuu standardeihin SFS-EN-61936-1 ja SFS-EN 50522. Viitattu 12.9.2022. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

ST 51.02. 2017. EMC-näkökohdat sähkö- ja telesuunnittelussa sekä -asennuksissa. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST 53.11. 2018. Kuluttajamuuntamot. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST 53.21. 2018. Rakennusten sähköasennusten maadoitukset ja potentiaalintasaukset. Espoo: Sähköinfo Oy.

Tiainen, E., Nurmi, T. & Koivisto, P. 2019. Maadoituskirja. 6. uud. p. Espoo: Sähköinfo Oy.

Tiainen, E. 2020. Pienjänniteasennusten maadoitukset ja potentiaalintasaukset. Webinaari. Tallenne webinaarista. Sähköinfo Oy. Viitattu 14.9.2022

Yritysesitys. 2022. Rejlers Finland Oy. Powerpoint materiaali.

Zener-barrierin ja luonnostaan vaarattoman erottimen ero. N.d. PR-Electronics. Viitattu 20.10.2022. <https://www.prelectronics.com/fi/zener-barrierin-ja-luonnostaan-vaarattoman-erottimen-ero/>

Liitteet

Liite 1. Suurjännitemaadoitusjärjestelmien suunnitteluun käytettävät virrat

Taulukko 5 Maadoitusjärjestelmien suunnitteluun liittyvät olennaiset virrat (SFS-EN 50522 taulukko 1)

Suurjännitejärjestelmän tyyppi	Termiseen kuormitukseen liittyvä virta ^{a e}		Maadoitusjännitteeseen ja kosketusjännitteisiin liittyvä virta
	Maadoituselektrodi	Maadoitusjohdin	
Maasta erotetut järjestelmät			
	$I''_{kEE}{}^i$	$I''_{kEE}{}^i$	$I_E = r \cdot I_C{}^b$
Sammutetut järjestelmät			
Sisältäen lyhytaikaisen maadoittamisen vianilmaisua varten			
Järjestelmät ilman sammutuskeloja ^f	$I''_{kEE}{}^i$	$I''_{kEE}{}^i$	$I_E = r \cdot I_{RES}{}^b$
Järjestelmät, joissa on sammutuskelat	$I''_{kEE}{}^i$	$I''_{kEE}{}^{ci}$	$I_E = r \cdot \sqrt{I_L^2 + I_{RES}^2}{}^{bh}$
Pienen impedanssin kautta maadoitetut järjestelmät			
Sisältäen lyhytaikaisen maadoittamisen laukaisua varten ^g			
Järjestelmä, jossa ei ole tähtipisteen maadoitusta	I''_{k1}	I''_{k1}	$I_E = r \cdot I''_{k1}$
Järjestelmä, jossa on tähtipisteen maadoitus	I''_{k1}	I''_{k1}	$I_E = r \cdot (I''_{k1} - I_N) {}^d$
<p>^a Jos virralla on useita kulkuteitä, virran jakautuminen voidaan ottaa huomioon.</p> <p>^b Jos maasuluille ei ole automaattista poiskytkentää, kaksoismaasulkujen huomioon ottamisen tarve riippuu käyttökokemuksista.</p> <p>^c Petersenin kelan eli maasulkuvirran sammutuskelan maadoitusjohdin pitää mitoittaa kelan maksimivirran mukaan.</p> <p>^d On tarkistettava, voiko aseman ulkopuolinen vika olla määräävä.</p> <p>^e Liitteen C mukaiset vähimmäispoikkipinnat pitää ottaa huomioon.</p> <p>^f Jos järjestelmä ei ole riittävän hyvin kompensoitu, yleistä arvoa 10 % arvosta I_C ei voi soveltaa. Jäännösvirran reaktiivinen/kapasitiivinen komponentti on lisäksi otettava huomioon.</p> <p>^g Sammutetuissa järjestelmissä oletetaan, että lyhytaikainen maadoittaminen (vastuksen kytkeminen sammutuskelan rinnalle) alkaa automaattisesti 5 s kuluttua maasulun havaitsemisesta.</p> <p>^h Kun vika sattuu sähköasemalla, pitää ottaa huomioon kapasitiivinen vikavirta I_C. Jos sähköaseman ulkopuolisessa verkossa on muita sammutuskeloja, ne pitää ottaa huomioon.</p> <p>ⁱ (FI) Maasta erotetuissa ja sammutetuissa verkoissa, joissa maasulku kytketään pois alle 1 sekunnissa, suuretta I_C voidaan käyttää maadoituselektrodien ja -johtimien termisen kuormitettavuuden mitoituksessa määräävänä tekijänä. Tällöin maasulun poiskytkentäaikaan käytetään ekvivalenttista poiskytkentäaikaa. (FI)</p>			
Selitykset:			
I_C	Laskettu tai mitattu kapasitiivinen maasulkuvirta		
I_{RES}	Maasulun jäännösvirta (katso kuva 3b). Jos tarkkaa arvoa ei ole käytettävissä, arvoksi voidaan olettaa 10 % arvosta I_C .		
I_L	Kyseessä olevan sähköaseman rinnakkaisten sammutuskelojen nimellisvirtojen summa		
I''_{kEE}	Standardin SFS-EN 60909 mukaisesti laskettu kaksoismaasulkuvirta. Virran I''_{kEE} maksimi-arvon voidaan olettaa olevan 85 % symmetrisen alkuoikosulkuvirran arvosta		
I''_{k1}	Standardin SFS-EN 60909 mukaan laskettu yksivaiheisen symmetrisen maasulkuvirran alkuarvo		
I_E	Maavirta (katso kuva 2)		
I_N	Muuntajan tähtipistevirta (katso kuva 2)		
r	Reduktiokerroin (katso liite 1)		
Jos asemalta lähtevillä ilmajohtoilla ja kaapeilla on erilaiset reduktiokerroimet, tulee tarvittava rezultoiva virta määrittää liitteen L mukaisesti.			

Liite 2. Kaavojen 2 ja 4 vertailu

Esimerkin lähtötiedot:

- 2 vaiheinen oikosulkuvirta: 30,71kA
- Suojauksen kokonaistoiminta-aika: 1s
- Alkulämpötila 20°C
- Loppulämpötila 300°C

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t_f}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}}$$

Lasketaan poikkipinta-ala ensin kaavalla 4

$$A = \frac{30710A}{226 \frac{A(\sqrt{s})}{mm^2}} \sqrt{\frac{1s}{\ln \frac{300^\circ C + 20^\circ C}{20^\circ C + 20^\circ C}}} = 157,8mm^2$$

Lasketaan K arvo kaavalle 2

$$k = \sqrt{\frac{Q_c (\beta + 20^\circ C)}{\rho_{20}} \ln \left(\frac{\beta + \theta_f}{\beta + \theta_i} \right)}$$

$$k = \sqrt{\frac{3,45 * 10^{-3} \frac{J}{^\circ C mm^3} (234,5^\circ C + 20^\circ C)}{17,241 * 10^{-6} \Omega mm}} \ln \left(\frac{234,5^\circ C + 300^\circ C}{234,5^\circ C + 20^\circ C} \right) = 194,394 \frac{A(\sqrt{s})}{mm^2}$$

Lasketaan poikkipinta-ala kaavalla 2

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k}$$

$$S = \frac{\sqrt{30710A^2 \cdot 1s}}{194,394 \frac{A(\sqrt{s})}{mm^2}} = 157,9mm^2$$