



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

LAURA SIIRTONEN

# **Palavien nesteiden laiturin maadoitus ja potentiaalintasausjärjestelmä**

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIikka  
2021

Tekijä(t) Siirtonen, Laura	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Syyskuu 2021
	Sivumäärä 36+1	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi <b>Palavien nesteiden laiturin maadoitus ja potentiaalintasausjärjestelmä</b>		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka		
Tiivistelmä  <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella maadoitus ja potentiaalintasausjärjestelmä Tahkoluodon satamassa sijaitsevalle nestebulk-laiturille. Opinnäytetyössäni luotiin myös monesta eri tietolähteestä koottu opas maadoituksen suunnitteluun kaasuja nesteräjähdyksivaarallisella alueella huomioiden myös sataman määräykset. Tietoa kerättiin monista eri standardeista, kirjoista, erilaisista ohjeistuksista sekä www-sivuilta.</p> <p>Työni teoriaosuudessa kerrottiin satama-alueesta sekä sen potentiaalintasauksesta ja maadoituksesta kaasua ja nesteräjähdyksivaarallisilla alueilla. Lisäksi lopussa esiteltiin uuden nestebulk-laiturin maadoituksen suunnittelu.</p> <p>Työn tuloksena toteutettiin teoriaosuuden pohjalta maadoituspiirustukset, jotka tehtiin Autocad-ohjelmistolla ja kaapeliluettelo Excel-ohjelmalla. Työn toimeksiantaja oli Sweco Industry Oy. Sen palvelut koostuvat konsultointi-, suunnittelu- ja projektinjohtopalveluista, prosessisuunnittelusta, laitossuunnittelusta sekä sähkö- ja automaatio-suunnittelusta.</p> <p>Räjähdyksivaarallisella alueella räjähdysvaaran edellytyksenä on palava aine, happi sekä sytytykseen tarvittava energia. Tämän takia maadoitus ja potentiaalintasaus on yksi tärkeimmistä osista räjähdysvaarallisilla alueilla, koska maadoituksen avulla energia, joka tarvitaan sytytykseen, pystytään hallitusti johtamaan maahan.</p>		
<a href="#">Asiasanat</a> Maadoitus, räjähdysvaaralliset tilat, satama, potentiaalintasaus		

Author(s) Siirtonen, Laura	Type of Publication Bachelor's thesis	Date September 2021
	Number of pages 36+1	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>Flammable liquids quay earthing and equipotential bonding system</b>		
Degree program Electrical and automation engineering		
Abstract  <p>The purpose of this thesis was to plan an earthing and equipotential bonding system for a liquidbulk quay in the Port of Tahkoluoto. In my thesis also created a guide from many different data sources for the plan of earthing in a gas and liquid explosion hazardous areas, taking into account the regulations of the port. Information was collected from many different standards, books, various guidelines, and websites.</p> <p>The theory part of my work told me about the port area and its equipotential bonding system, as well as earthing and areas with gas and liquid potentially explosive atmospheres. In addition to, at the end, shown new liquidbulk quay earthing plan.</p> <p>The result is earthing drawings were made on the basis of the theoretical part that work with Autocad software and a cable list with Excel.</p> <p>The assignment of the work was by Sweco Industry Oy. Its services consist of consulting, plan and project management services, process plan, plant plan and electrical and automation plan.</p> <p>In explosive atmospheres, the explosion requires combustible material, oxygen and the energy required for ignition. Because of this earthing and equipotential bonding are one of the most important things in explosive atmospheres, because by earthing, energy needed for ignition can be conducted to ground.</p>		
<u>Key words</u> Earthing, explosive atmospheres, harbour, equipotential bonding		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 SATAMA-ALUE.....	8
2.1 Satama-alueen säädökset.....	8
2.2 Aluksen ja laiturin välinen potentiaalintaus.....	9
2.2.1 Potentiaalintaus tasaava vai eristävä järjestelmä.....	9
2.2.2 Lastausletkut ja lastausvarret.....	9
2.2.3 Putkistot ja eristyslaipat.....	10
2.2.4 Turvakytkin.....	10
3 MAADOITUS.....	10
3.1 Maadoitus.....	10
3.2 Suojamaadoitus.....	10
3.3 Maaperänresistiivisyys.....	11
3.4 Päämaadoituskisko.....	12
3.5 Toiminnallinen maadoitus.....	12
4 POTENTIAALINTASAUS ATEX-ALUEELLA .....	13
4.1 Maadoitusjärjestelmä .....	13
4.2 Jännitteelle alttiit osat sekä muut johtavat osat.....	14
4.3 Metallirakenteet ja liitokset.....	14
4.4 Sähkölaitteiden metallikotelot ja rungot .....	15
4.5 Johtimien liitokset.....	15
4.6 Pääpotentiaalintaus .....	15
4.7 Lisäpotentiaalintaus .....	16
4.8 Käyttöönotto.....	16
5 MAADOITUSELEKTRODI .....	16
5.1 Vaatimukset maadoituselektrodille.....	16
5.2 Perusmaadoituselektrodi .....	17
5.3 Betoniin asennettu elektrodi.....	17
5.4 Perusmaadoituselektrodin huonot puolet .....	17
5.5 Perusmaadoituselektrodi TN-järjestelmässä .....	18
5.6 Muut elektrodirakenteet .....	18
6 JOHTIMIEN MITOITUS .....	19
6.1 Maadoituselektrodinmitoitus.....	19
6.2 Suojajohtimen mitoitus .....	20
6.3 Potentiaalintausjohtimen mitoitus.....	21
7 LIITOKSET .....	22

7.1 Maassa olevat liitokset .....	22
7.2 Eri materiaalien liitokset .....	22
7.3 Alumiinijohtimien liitokset .....	22
7.4 Puristusliitokset .....	23
7.5 Calweld-liitokset .....	23
7.6 Korroosio Al-liitoksissa .....	24
8 MAADOITUSRESISTANSSI JA MITTAUKSET .....	24
8.1 Maadoitusvastusarvo .....	24
8.2 Maadoitusresistanssi mittaukset .....	25
8.3 Maadoitusresistanssi mittausten menetelmät .....	25
8.3.1 Käänne pistemenetelmä .....	25
8.3.2 Voltti-ampeerimittarimenetelmä .....	26
8.3.3 Muita mittausten menetelmiä .....	27
9 SALAMASUOJAUS .....	27
10 RÄJÄHDYSVAARALLISET TILAT .....	27
10.1 Yleistä .....	27
10.2 ATEX .....	28
10.3 Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen räjähdysvaarallisessa tilassa .....	28
10.4 Räjähdyssuojasiasiakirja .....	29
10.5 Tilaluokitus .....	29
10.5.1 Tilaluokka 0 .....	30
10.5.2 Tilaluokka 1 .....	30
10.5.3 Tilaluokka 2 .....	30
10.6 Laiteluokat ja lämpötilaluokat sekä räjähdysryhmät .....	31
10.7 Häätälaukaisu .....	32
11 NESTEBULK-LAITURIN MAADOITUKSEN SUUNNITTELU .....	33
11.1 Maadoituksen suunnittelu .....	33
11.1.1 Salamasuojaus .....	34
12 YHTEENVETO JA POHDINTA .....	35
LÄHTEET	
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Porin Tahkoluodon satamaan rakennetaan vanhan nestebulk-laiturin tilalle uusi nestebulk-laituri. Laituria on suunnittelemassa monet eri osa-alueen osaajat, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään sähkösuunnittelun puolelle.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Sweco Industry Oy. Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella suojamaadoituksen ja potentiaalintasauksen suunnittelua Tahkoluodon nestebulk-satamassa sijaitsevaan nestebulk-laituriin. Tahkoluodon nestebulk-satamassa on jo valmiiksi nestebulk-laituri, mutta sitä on tarkoitus siirtää ja samalla rakentaa uutta maa-ainesta johon laituri kiinnitetään. Tarkoituksena on, että laituri ei ole missään kohtaa pois käytöstä vaan laiturin uusiminen ja siirto tapahtuisi mahdollisimman sujuvasti. Itse laituri tulee käyttöön vasta vuonna 2022, mutta sen suunnittelu on jo aloitettu.

Koska kyseessä on eri kemikaaleja käsittelevä laituri, josta joko puretaan mantereella oleviin säiliöihin tai lastataan laivaan eri aineita, kuten bensiiniä, kevytpolttoöljyä, bitumia ja raskaspolttoöljyä, tulee suunnittelussa huomioida myös räjähdysvaarallisen tilan vaativat ohjeet ja säädökset. Työssä pitää myös huomioida vanhassa laiturissa jo valmiiksi olevat maadoitukset ja potentiaalintasaukset sekä yleisesti satama-alue.

Suunnittelussa pystytään apuna käyttämään osittain vanhan laiturin sähköpiirustuksia sekä maadoituskaviota. Suunnittelussa pitää myös huomioida räjähdysvaarallisten tilojen laitevalinnat sekä sähköasennuksia koskevat vaatimukset.

Opinnäytetyö koostuu kolmesta eri osasta. Ensimmäisessä osassa perehdytään satama-alueeseen. Toisessa osiossa perehdytään teoriaosuuteen maadoituksesta ja potentiaalintasauksesta sekä räjähdysvaarallisista tiloista. Kolmannessa osiossa käsitellään sekä tarkastellaan nestebulk-laiturin maadoituksen- ja potentiaalintasauksen suunnittelua.

Maadoituksen tärkein tehtävä on suojata ihmisiä sähköstä aiheutuvalta vaaralta. Sydämen alueen kautta kulkeva sähkövirta voi aiheuttaa sydänkammiovärinän. Maadoitusjärjestelmän pitää toimia kaikissa tilanteissa ja varmistaa henkilöiden turvallisuus kaikissa paikoissa, joihin henkilöiden pääsy on sallittu. (SFS 6001.10.1).

Mikäli maadoitusjärjestelmä ei ole kunnollinen on olemassa sähköiskun vaara sekä laitevaurioiden riski. Jos vikavirralla ei ole väylää maahan oikein suunnitellun ja ylläpidetyn maadoitusjärjestelmän kautta, se etsii ei-toivottuja reittejä ja se voi purkautua esimerkiksi ihmiseen. (Fluke 2017, 2.)

## 2 SATAMA-ALUE

Porin Satama Oy on Satakunnassa sijaitseva satama yhtiö, jonka satama alueet koostuvat kahdesta eri satamasta, Mäntyluodosta ja Tahkoluodosta. Tahkoluodon satama-alue muodostuu syväsatamasta ja nestebulk-satamasta. Nestebulk-satamaan tuodaan monia eri kemikaaleja, kuten bensiiniä, kevytpolttoöljyä, bitumia ja raskaspolttoöljyä. Syväsataman kautta kuljetetaan kuivaa irtotavaraa esimerkiksi hiiltä ja rautayhdisteitä. (Port of Pori www-sivut 2021.)

Kuvassa 1 etualalla oleva nestebulk-laituri tullaan siirtämään lähemmäs rantaa noin kolme metriä sekä laiturin ja rannan väliin jäävä vesialue tullaan täyttämään maa-aineksella.



Kuva 1. Ilmakuva Porin satama Oy Tahkoluodon satamasta, jossa etualalla vanha nestebulk-laituri. (Port of Pori www-sivut 2021).

### 2.1 Satama-alueen säädökset

Satama- ja laituri alueella on tiettyjä säädöksiä ja standardeja, joita tulee noudattaa. Standardissa SFS 3355:2020 kerrotaan palavien nestemäisten kemikaalien käsittelystä satama-alueella.



## 2.2 Aluksen ja laiturin välinen potentiaalintasaus

Lastauksen aikana letkun tai lastausvarren kiinnitys- ja irrotusvaiheessa mahdollinen potentiaaliero laiturin ja aluksen välillä aiheuttaa riskin valokaaren tai kipinän syttymiselle. (SFS 3355. 10.3.1.) Potentiaalintasauskaapelin mitoituksessa pitää huomioida aluksien koko. (SFS 3355. 10.3.8).

### 2.2.1 Potentiaalintasaava vai eristävä järjestelmä

Jos tehdään uutta laiturijärjestelmää niin lähtökohtana on, että alus ja laituri putkistoinen eristetään toisistaan, mutta vanhoissa laiturijärjestelmissä on usein vielä käytössä potentiaalintasaava järjestelmä. Uusittaessa vanhoja järjestelmiä, pitää tarkistaa, ettei käytössä ole samaan aikaan potentiaalintasaavaa ja eristävää järjestelmää, jotta nämä eivät kumoja toisiaan. (SFS 3355. 10.3.2.)

Kun alus eristetään laiturijärjestelmästä, sähkön johtuminen ja kipinöinti estetään eristelaipoilla. Tai vaihtoehtoisesti voidaan käyttää sähköä johtamattomia letkuja. Kaikissa alukseen johtavissa linjoissa tulee tällöin käyttää joko eristelaippoja tai johtamattomia letkuja. Mikäli käyttöön tulee eristelaipat, niiden eristyskyky täytyy olla vähintään 1000 ohmia. (SFS 3355. 10.3.3.)

### 2.2.2 Lastausletkut ja lastausvarret

Jos käytetään lastausletkuja, tulee eristyslaippa asentaa ennen lastausletkua maanpuolen linjan päähän. Lastauksen ja tankkauksen aikana lastausletku on tuettava ilmaan, jotta lastausletku ei pääse maan kautta tasaamaan potentiaalia ja tee eristyslaippaa hyödyttömäksi. (SFS 3355. 10.3.4.)

Mikäli käytetään lastausvarsia potentiaali ei saa päästä tasaantumaan eristyslaipan yli tai muuta kautta. (SFS 3355. 10.3.5).

### 2.2.3 Putkistot ja eristyslaipat

Satama-alueella sijaitsevat kiinteät putkistot ja muut laitteet on yhdistettävä potentiaalintasaukseen ja maadoitettava, staattisen sähkön aiheuttaman vaaran eliminoimiseksi. (SFS 3355. 10.2.1). Eristyslaipan sijainti putkistossa tulee merkitä näkyvästi sekä eristyslaipan toimivuus on tarkastettava vähintään vuosittain. (SFS 3355. 10.3.6-7).

### 2.2.4 Turvakytkin

Aluksen ja laiturin väliseen potentiaalitasaukseen käytetään turvakytintä, joka on off-asennossa, kun alukseen/aluksesta kytketään tai irrotetaan kaapelia. Kytkin laitetaan on-asentoon, kun kaapeli on kiinnitetty alukseen. Kytkimen täytyy soveltua tilaluokkaan 1. (SFS 3355. 10.3.9.) Turvakytkimen ja kaapelin toimivuus pitää tarkastaa vähintään vuosittain. (SFS 3355. 10.3.10).

## 3 MAADOITUS

### 3.1 Maadoitus

Maadoituksen avulla suojaudutaan sähköiskulta tai muilta sähköön liittyviltä häiriöiltä. Jännite on potentiaaliero ja se yleensä ilmoitetaan potentiaalierona nollapotentiaaliin eli maaplaneetan potentiaaliin verrattuna. Maahan upotetulla metallirakenteella eli maadoituselektrodilla, joka on esimerkiksi kupari köyttä, päästään lähelle maan potentiaalia. Kun sähkölaitteen runko kytketään maahan, pysyy maan ja laitteen välinen jännite pienenä, jos laitteeseen tulee eristysvika, ja laitteen runko tulee jännitteiseksi. (STEK www-sivut 2021.)

### 3.2 Suojamaadoitus

Suojamaadoitus liittyy sähköiskulta suojaamiseen ja se on suunniteltu liitos johtimen ja maahan asennetun maadoituselektrodin välillä. Suojamaadoitus tehdään, koska

halutaan järjestelmän tai asennuksen pisteen maadoittaminen suojauksen takia. Maadoitusjärjestelmät on luokiteltu suojajohtimen kytkentöjen mukaan ja Suomessa käytetään yleisesti TN-järjestelmää. Siinä on suojamaadoitus yhdistettynä järjestelmän maadoitukseen. (Tiainen, Numen, Koivisto, Ylinen & Kauppila 2019, 16.) Räjähdyksenvaarallisessa tilassa TN-järjestelmää käytettäessä on käytettävä TN-S-järjestelmää. Eristysresistanssi pitää mitata nolla- ja suojajohtimen välillä ennen käyttöönottoa. (ST 51.83, 7.)

### 3.3 Maaperänresistiivisuus

Maadoitusta suunniteltaessa on tärkeää tietää maan ominaisresistanssi  $\rho$ , joka on maadoitusresistanssiin suoraan verrannollinen. (Elovaara & Haarla 2011, 432). Maan resistiivisyyden määrittäminen on tärkeää, kun suunnitellaan maadoitusjärjestelmää uuteen kohteeseen, jotta maadoitusvastusvaatimukset täyttyvät. Maaperän resistiivisyyteen vaikuttaa maaperän koostumus, kosteuspitoisuus ja lämpötila. Maaperä resistiivisyys vaihtelee usein eri alueilla ja eri syvyyksissä. Maan kosteuspitoisuus vaihtelee vuodenaikojen, maakerrosten ja pohjaveden korkeuden mukaan. Maaperä- ja vesiominaisuudet ovat yleensä vakaampia syvemmissä kerroksissa, joten on suositeltavaa asentaa maadoitussauvat niin syväälle kuin mahdollista, mieluiten jopa pohjaveden pinnan korkeudelle. Lisäksi sauvat tulisi asentaa routarajan alapuolelle, koska siellä vallitsee vakaa lämpötila. (Fluke 2017, 6.)

Suomessa on erittäin suuri ominaisresistanssi, koska lähellä maan pintaa ulottuu graniittinen kallioperä, jonka ominaisresistanssi on hyvin suuri. Myös ohut irtomaakerros on usein huonosti sähköä johtavaa soraa tai hiekkaa. (Elovaara & Haarla 2011, 432.)

Alla olevaan taulukkoon 1 on kerätty tietoa Suomen yleisimmistä maaperälajeista ja niiden resistiivisyys arvoista.

Taulukko 1. Maaperän resistiivisyys (SFS 6001. NA.J.1).

Aine	Keskimäärin $\Omega\text{m}$	Tavallisimmat vaihteluvälit $\Omega\text{m}$
Savi	40	25 ... 70
Saven sekainen hiekka	100	40 ... 300
Lieju, turve, multa	150	50 ... 250
Hiekka, hieta	2000	1000 ... 3000
Moreenisora	3000	1000 ... 10000
Harjusora	15000	3000 ... 30000
Graniittikallio	20000	10000 ... 50000
Betoni tuoreena tai maassa	100	50 ... 500
Betoni kuivana	10000	2000 ... 100000
Järvi- ja jokivesi	250	100 ... 400
Pohja- kaivo- ja lähdevesi	50	10 ... 150
Merivesi (Suomenlahti)	2,5	1 ... 5

### 3.4 Päämaadoituskisko

Maadoitusjärjestelmään kuuluu päämaadoituskisko tai päämaadoitusliitin, joihin liitetään maadoittamista varten useita johtimia. Päämaadoituskisko toimii maadoitusten ja potentiaalitasauksen koontipisteenä. Jokainen maadoituskiskoon liitettävä johdin pitää voida irroittaa yksitellen sekä johtimet on voitava tunnistaa. Tämän takia käytetään yleensä kiskotyypistä liitinrakenetta. Päämaadoituskiskoon on myös helpompi tehdä mahdollisia lisäyksiä. Päämaadoituskisko asennetaan yleensä rakennuksen suurimman keskuksen läheisyyteen. Päämaadoituskisko merkitään yleensä sähköpiirustuksiin lyhenteellä MEB, joka tulee sanoista main earthing busbar. (Tiainen ym. 2019, 19-20.)

Päämaadoituskiskoon liitetään

- suojaavat potentiaalitasausjohtimet
- maadoitusjohtimet
- suojajohtimet
- mahdolliset toiminnalliset maadoitusjohtimet (SFS 6000-5-54. 542.4.1.)

### 3.5 Toiminnallinen maadoitus

Toiminnallista maadoitusta (FE) käytetään, kun halutaan järjestelmä, asennus tai laitteen piste maadoittaa muun syyn takia kuin sähköiskulta suojaamisen takia.

Yleensä muu syy liittyy sähkölaitteiden häiriösuojaukseen. Sähköiskulta suojaukseen tai häiriösuojaukseen liittyvien maadoitusten vaatimukset voivat olla keskenään ristiriitaisia. Esimerkiksi häiriösuojaukseen liittyvissä maadoituksissa tulee usein käyttää

kohde kohtaista harkintaa, kun taas sähköiskulta suojaamiseen liittyvistä maadoitusvaatimuksista on selvät pelisäännöt. (Tiainen ym. 2019, 17.)

Toiminnallisen maadoitusjohtimen tunnuväriksi suositellaan nykyisin käytettäväksi vaaleanpunaista (pink) väriä, standardin SFS-EN 60445 (2017) mukaan. (Tiainen ym. 2019, 29).

## 4 POTENTIAALINTASAUUS ATEX-ALUEELLA

Potentiaalitasauksen tarkoituksena on, että sähkölaitteiden jännitteelle alttiiden koskeltavien osien ja muiden johtavien osien välille ei syntyisi jännite-eroa, esimerkiksi ukkosen, staattisen sähkön tai harhavirtojen takia. (Tiainen ym. 2019, 163).

Sähköasennukset ja potentiaalintasaukset tulee tehdä räjähdysvaarallisella satama-alueella standardisarjan SFS 6000 ja standardin SFS-EN 60079-14 vaatimusten mukaisesti. (SFS 3355:2020, 28).

### 4.1 Maadoitusjärjestelmä

Maadoitusjärjestelmä ei saa perustua palavaa nestettä tai kaasua sisältävään putkistoon, sekä sen maahan asennettua osuutta ei saa käyttää maadoituselektrodin pituutta määritettäessä. (SFS 6000-5-54. 542.2.6). Myöskään suojajohtimena tai suojaavana potentiaalintasausjohtimena ei saa käyttää

- metallisia vesiputkia
- rakenneosia, joihin kohdistu normaalitilanteessa mekaanisia rasituksia
- taipuisia tai taivuteltavia putkia, ellei niitä ole suunniteltu tähän tarkoitukseen
- taipuisia metalliosia
- kannatinköysiä ja kaapelihyllyjä (SFS 6000-5-54. 543.2.3.)

Tehokas maadoitusjärjestelmä pitää suunnitella kestävämmän pahimpia mahdollisia olosuhteita. (Fluke 2017, 6).

#### 4.2 Jännitteelle alttiit osat sekä muut johtavat osat

Räjähdyksvaarallisessa tilassa, jossa käytetään TN-, TT- tai IT- järjestelmää, pitää kaikki jännitteelle alttiit ja muut johtavat osat, kuten esimerkiksi kiinteät metalliset säiliöt, putkistot (esimerkiksi vesi ja ilmanvaihto), kaapelihyllyt ja koneiden metallirungot tai vastaavat laajat metallirakenteet yhdistävää johtavasti potentiaalintasausjärjestelmään ja toisiinsa. Pienet metallikappaleet, kuten muoviputkissa olevat laipat ja venttiilit pitää myös yhdistää potentiaalintasausjärjestelmään, jos staattinen sähkö aiheuttaa vaaraa. Jännitteelle alttiita osia ei tarvitse erikseen yhdistää potentiaalintasausjärjestelmään, jos ne ovat suoraan yhteydessä tai johtavasti yhdistettynä metallirakenteeseen tai putkistoon, joka on yhdistetty potentiaalintasausjärjestelmään. Muita johtavia osia, jotka eivät ole rakenteiden osia tai kuulu asennukseen, ei tarvitse yhdistää potentiaalintasausjärjestelmään, kuten ovien ja ikkunoiden johtavat puitteet. (Tiainen ym. 2019, 163-164.)

Erityisesti teollisuuskohteissa on suositeltavaa, että kaapelihyllyt kytketään maadoitukseen 40 m välein, mikäli se ei ole kiinnitetty johtavaan rakenteeseen luotettavalla tavalla, esimerkiksi maadoitettuun teräspilariin. MEKAN tikashyllyillä ja tietyillä jatkokappaleilla saadaan aikaan riittävä sähköinen liitos, jolloin hyllyjen jatkoskohdan yli ei tarvitse asentaa erillistä maadoitusjohdinta. (MEKA tuoteluettelo 2020, s. 8.) Tarkemmat tiedot näistä hyllytyypeistä ja jatkokappaleista näkee MEKAN [www-sivuilta](http://www-sivuilta).

#### 4.3 Metallirakenteet ja liitokset

Potentiaalintasausjärjestelmään on yhdistettävä yhtenäiset metallirakenteet, kunten runkorakenteet ja betoniteräkset vähintään yhdestä pisteestä. Suuret rakenteet tarvitsevat useampia yhdistyspisteitä. Hitsatut, niitatut, pultein tai vastaavalla tavalla tehdyt liitokset katsotaan metallirakenteiden johtaviksi liitoksiksi. Jos putkistossa on eristäviä laippaliitoksia, tiivisteitä tai muita eristeaineisia tai muuten huonosti sähköä johtavia putkiston osia, tai jos potentiaalintasausjärjestelmän johtava yhteys katkeaa poistaessa tilapäisesti tai pysyvästi jonkin putkiston osa, on tällaiset kohdat ylitettävä sähköä johtavalla sidoksella tai eri putkiston osat on yhdistettävä erikseen potentiaalintasaukseen. (Tiainen ym. 2019, 164.)

#### 4.4 Sähkölaitteiden metallikotelot ja rungot

Sähkölaitteiden metallikotelot ja rungot, esimerkiksi moottorit, on yhdistettävä erillisellä johtimella potentiaalintasausjärjestelmään, vaikka jännitteelle alttiit osat on suojamaadoitettu. Tämä ei kuitenkaan koske sähkölaitteita, jotka on asennettu niin, että ne ovat luotettavasti johtavassa yhteydessä maadoitettuihin rakenneosiin. (Tiainen ym. 2019, 164.)

#### 4.5 Johtimien liitokset

Suojamaadoitus- ja potentiaalintasausjohtimien haaroituksilla ja jatkoksilla on oltava riittävä johtokyky, huomioiden harhavirrat ja ukkosvirrat. Liitoksien pitää olla mekaanisesti luotettavia sekä varmistettu löystymistä vastaan. Ruuviliittimien asentaminen maahan tai betonivaluun ei ole suositeltavaa. (Tiainen ym. 2019, 164.) Betoniterästen liittämiseen käytetään mahdollisuuksien mukaan soveltuvaa hitsausmenetelmää, jolloin betoniteräkset voivat toimia myös perusmaadoituselektrodina. Jos betoniteräkset on liitetty yhteen pelkästään sitomalla, ne kannattaa häiriösuojauksen vuoksi liittää pääpotentiaalintasaukseen. (Tiainen ym. 2019, 39.)

Putkien ja kanavien liittämiseen käytetään sopivaa liitintä tai pantarakenteita. (Tiainen ym. 2019, 39.)

#### 4.6 Pääpotentiaalintasaus

Pääpotentiaalintasaus tehdään jokaisessa rakennuksessa ja liitännät tehdään yleensä rakennusta syöttävän keskuksen (pääkeskuksen) lähelle sijoitettavassa päämaadoituskiskossa. Pääpotentiaalintasaukseen liitetään kaikkien rakennuksen keskusten suojakiskot. Mikäli rakennusta syötetään useasta keskukselta, joista mikään ei ole pääkeskus, tehdään potentiaalintasaus jonkin keskuksen luona. Yleensä tällaisessa tapauksessa kaikkien rakennusta syöttävien johtojen pitää olla TN-S-järjestelmän mukaisia. (Tiainen ym. 2019, 39.) Potentiaalintasausjärjestelmä on yhdistettävä sähköverkon suojamaadoitusjärjestelmään. (Tiainen ym. 2019, 164.)

#### 4.7 Lisäpotentiaalintasaus

Lisäpotentiaalintasaus tehdään, jos halutaan erityisesti välttää haitallisia potentiaalieroja, tai kun syötön nopealla poiskytkennällä ei pystytä totetuttamaan kosketusjännitesuojausta. Lisäpotentiaalintasausta käytetään lähinnä lääkintätiloissa standardin SFS 6000-7-710 mukaan, eläinsuojissa standardin SFS 6000-7-705 mukaan ja ahtaissa johtavissa tiloissa standardin SFS 6000-7-706 mukaan. Sitä käytetään usein myös peseytymistiloissa ja uima-allastiloissa. Sen merkitys on kuitenkin nykyään vähäinen, koska nykyään käytetään paljon muovisia putkia ja rakennuksissa on tehty pääpotentiaalintasaus. Tämän takia Suomessa ei vaadita peseytymistiloissa lisäpotentiaalintasauksen käyttöä. (Tiainen ym. 2019, 40.)

#### 4.8 Käyttöönotto

Ennen laitteen käyttöönottoa potentiaalintasaus ja maadoitus tulee tarkastaa mittauksin. Mittauksista pitää laatia pöytäkirja ja mittauspisteet pitää merkitä. Potentiaalintasauksen ja maadoituksen toimivuus tulee tarkastaa mittauksin määrääjain ennakkohuoltosuunnitelman mukaisesti. (SFS 3355. 10.2.3.)

### 5 MAADOITUSELEKTRODI

Maadoituselektrodilla saadaan aikaan johtava yhteys maahan sekä sillä on myös merkitystä potentiaalintasauksen kannalta. Maadoituselektrodilla voi olla monta eri käyttötarkoitusta, se voi esimerkiksi olla osana salamasuojajärjestelmää. Maadoituselektrodi rakennetaan kuitenkin useimmiten sähkölaitteiston suojusvaatimusten takia. (Tiainen ym. 2019, 128.)

#### 5.1 Vaatimukset maadoituslektrodille

Maadoituselektrodin käyttötarkoitus on huomioitava, koska sillä on merkitystä käytettävään elektrodirakenteeseen sekä vaadittavaan maadoitusresistanssin arvoon.



Maadoituselektrodin tulee olla korroosiolle vastuskykyinen, vastustus luotettava sekä mitoitukseltaan riittävä. Sen tehokkuus riippuu maaperän paikallisista ominaisuuksista. (Tiainen ym. 2019, 128.)

## 5.2 Perusmaadoituselektrodi

Standardi SFS 6000 edellyttää, että maadoituselektrodina käytettäisiin ensisijaisesti perusmaadoituselektrodia. Sillä yleensä tarkoitetaan suljetun renkaan muotoista johtavaa osaa, joka on upotettu maahan rakennuksen perustusten alle tai perustuksen betoniin. Minimipoikkipinta maadoituselektrodille on  $16 \text{ mm}^2$  Cu tai  $90 \text{ mm}^2$  ruostumaton tai kuumasinkittyä terästä, jonka sinkityksen vahvuus on vähintään  $45 \mu\text{m}$ . Jos perusmaadoituselektrodina käytetään perustuksiin upotettua terästä, tulee teräkset liittää toisiinsa hitsaamalla tai muulla luotettavalla liitoksella. (Tiainen ym. 2019, 128.)

Suositellaan, että perusmaadoituselektrodi tehtäisiin liittymän jokaiseen rakennukseen, koska perusmaadoituselektrodin potentiaalintasausvaikutus ulottuu ainoastaan siihen rakennukseen, jonka yhteyteen se on rakennettu. (Tiainen ym. 2019, 128.)

## 5.3 Betoniin asennettu elektrodi

Perusmaadoituselektrodi voidaan asentaa myös suoraan betonin sisälle, jolloin voidaan käyttää joko sinkittyä lattaterästä tai normaalia betoniterästä. Betoniteräkset pitää hitsata yhteen tai on käytettävä erityisiä jatkoksia, koska elektrodin pitää olla luotettavasti jatkuva. Normaali sitominen ei tällaisessä tapauksessa riitä. Betonin sisään asennettu teräs on suojattu korroosiolta, mutta tarvittaessa teräsosat, jotka nousevat betonista ulos voidaan korroosiosuojata. Kun elektrodi sijoitetaan betoniin pitää riittävän johtavuuden takaamiseksi betonissa olla vähintään  $240 \text{ kg}$  sementtiä/  $\text{m}^3$  betonia. (Tiainen ym. 2019, 130.)

## 5.4 Perusmaadoituselektrodin huonot puolet

Perusmaadoituselektrodin potentiaalintasausvaikutus ei ulotu rakennuksen ulkopuolelle, eikä sillä välttämättä saada aikaan pientä maadoitusresistanssia, jos perustus on

erotettu maasta kivikerroksella. Tällaisissa tapauksissa pientä maadoitusresistanssin arvoa maadoitusta voidaan täydentää hyvin johtavaan maahan asennetulla lisäelektrodilla. (Tiainen ym. 2019, 130.)

### 5.5 Perusmaadoituselektrodi TN-järjestelmässä

Normaalisti TN-järjestelmässä ei maadoitusresistanssilla ole merkitystä, jolloin perusmaadoitus voidaan tehdä myös sellaiseen perustukseen, joka sijaitsee huonosti johtavalla alustalla, esimerkiksi kallion päällä tai perustuksen ja maan välissä on lämpöeristyskerros tai muu huonosti johtava kerros. Jos tarvitaan hyvä yhteys maahan esimerkiksi ukkossuojauksen takia, tällaisissa tilanteissa maadoituselektrodi voidaan myös täydentää rakentamalla maadoitusjärjestelmään liittyviä säteittäisiä elektrodeja, jotka upotetaan hyvin johtavaan maaperään. (Tiainen ym. 2019, 130.)

### 5.6 Muut elektrodirakenteet

Perusmaadoituselektrodi voi myös sijaita välittömästi perustusten ulkopuolella, tällöinkin materiaalin pitää olla vähintään 16 mm<sup>2</sup> kuparijohdinta tai -köyttä. (Tiainen ym. 2019, 132).

Jos perusmaadoituselektrodin rakentaminen ei jostain syystä ole mahdollista, esimerkiksi maadoituslektrodi tehdään olemassa olevaan rakennukseen, voidaan maadoituslektrodin minimirakenteena käyttää muita rakenteita. Esimerkiksi elektrodina voidaan käyttää vähintään 20 m pitkää vaakaelektrodiä, joka asennetaan syöttävän kaapelin kanssa samaan ojaan tai lähelle perustuksia, jotta se ei vahingoitu esimerkiksi kaivutöiden takia. Jos maadoituselektrodiä ei voida asentaa suojaan vahingoittumiselta, tulee käyttää kahta eri suuntiin sijoitettua vähintään 20 m pitkää vaakaelektrodiä tai yhtä vähintään 40 m pitkää renkaan muotoista elektrodia. (Tiainen ym. 2019, 132.)

Maadoituselektrodina voidaan myös käyttää suoraan maahan pysty- tai vaakasuoraan asennettuja metallielektrodeja esimerkiksi sauvoja, lankoja, köysiä, nauhoja, putkia tai levyjä. (SFS 6000-5-54. 542.2.3).

Yksinkertaisimmillaan maadoitusjärjestelmä voi koostua yhdestä maahan asennetusta maadoitussauvasta, jota käytetään esimerkiksi kotien ja liikekiinteistöjen maadoittamiseen. Kun taas monimutkaiset maadoitusjärjestelmät saattavat koostua useista maadoitussauvoista, toisiinsa liitetyistä silmukka- tai ruudukkoverkoista. Tällaisia järjestelmiä asennetaan yleensä sähköasemille ja matkapuhelinmastoalueille. (Fluke 2017, 5.)

## 6 JOHTIMIEN MITOITUS

### 6.1 Maadoituselektrodin mitoitus

Maadoituselektrodin on kestävä siihen kohdistuvat sähkövirran vaikutukset sekä oltava mekaanisesti riittävän vahva ja kestävä korroosiota riittävän hyvin. Pienjänniteasennuksen maadoituselektrodissa kulkee käytännössä vain pieni virta, jolloin se mitoitetaan mekaanisen ja korroosiokestävyyden mukaan. (Tiainen ym. 2019, 35.) Suomessa on vuosikymmenien ajalta hyvät kokemukset 16 mm<sup>2</sup> kupariköyden käytöstä maadoituselektrodina ja sitä voi edelleen käyttää. Pitää kuitenkin huomioida, jos maadoituselektrodiin liitetään myös salamasuojaus, pitää käyttää poikkipinnaltaan suurempia elektrodeja. (Tiainen ym. 2019, 35-36.)

Maadoituselektrodin tyypit, materiaalit ja mitoitus on valittava siten, että ne kestävät korroosiota sekä niillä on aiottuun käyttöikänsä nähden sopiva mekaaninen lujuus. (SFS 6000-5-54. 542.2.1).

Taulukossa 2 on esitetty maadoituselektrodin minimimitat kuparille, kuumasinkitylle teräkselle, ruostumattomalle teräkselle, betoniin upotetulle teräkselle, kuparivaipalla varustetulle teräkselle sekä sähköisesti kuparilla päällystetylle teräkselle.

Taulukko 2. Maadoituselektrodien minimimitat (SFS 6000-5-54. 54.1).

Materiaali	Poikkipinta-ala mm <sup>2</sup>	Halkaisija Ø mm	Minimipaksuus mm <sup>a</sup>	Korroosiosuojauskerroksen paksuus µm
Kupari	16		1,6	–
Kuumasinkitty teräs	90	10	3	45
Ruostumaton teräs	90	10	3	–
Betoniin upotettu teräs	90	10	3	– <sup>b</sup>
Kuparivaipalla varustettu teräs		15		2000
Sähköisesti kuparilla päällystetty teräs		14 (vaaka- tasossa 10)		250 (vaakaelektrodilla 70)
<sup>a</sup> Nauhan tai levyn paksuus tai köyden yksittäisen langan halkaisija Ø				
<sup>b</sup> Betoniin upotetulla perustusmaadoituselektrodilla ei tarvita korroosiosuojausta				

Maadoituselektrodien tehokkuus riippuu sen rakenteesta ja maaperän paikallisista olosuhteista. On käytettävä yhtä tai tarvittaessa useampaa maaperän ominaisuuksiin ja vaadittavaan maadoitusresistanssiin soveltuvaa maadoituselektrodia. (SFS 6000-5-54. 542.2.2.)

## 6.2 Suojajohtimen mitoitus

Suojajohtimen on kestävä suojalaitteen toiminta-aikana esiintyvät prospektiivisen vikavirran aiheuttamat mekaaniset ja termiset rasitukset. Suojajohtimen poikkipinta on joko valittava taulukon 3 avulla tai laskettava kaavan 1 mukaan. (SFS 6000-5-54. 543.1.1.)

Taulukko 3. Suojajohtimen minimipoikkipinnat (SFS 6000-5-54. 54.2).

Äärijohtimen poikkipinta $S$ mm <sup>2</sup> kuparia	Vastaavan suojajohtimen minimipoikkipinta mm <sup>2</sup> kuparia	
	Suojajohdin on samaa materiaalia kuin äärijohtin	Suojajohdin on eri materiaalia kuin äärijohtin
$S \leq 16$	$S$	$\frac{k_1}{k_2} \times S$
$16 < S \leq 35$	$16^a$	$\frac{k_1}{k_2} \times 16$
$S > 35$	$\frac{S}{2}^a$	$\frac{k_1}{k_2} \times \frac{S}{2}$
jossa		
$k_1$ on äärijohtimen materiaalista ja eristyksestä riippuva kertoimen $k$ arvo, joka on esitetty taulukossa <a href="#">A.54.1</a> tai SFS 6000-4-43 taulukoissa		
$k_2$ on kertoimen $k$ arvo, joka on esitetty taulukoissa <a href="#">A.54.2</a> – <a href="#">A.54.6</a> .		
<sup>a</sup> PEN-johtimen poikkipinnan pienentäminen on sallittu vain noudattamalla nollajohtimen mitoituksen sääntöjä (ks. SFS 6000-5-52).		

Kaava 1. Suojajohtimen poikkipinnan laskeminen, poislyöntiajan ollessa enintään 5 s (SFS 6000-5-54. 543.1.2).

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

Merkkien tarkoitus

S	Suojajohtimen poikkipinta (mm <sup>2</sup> )
I	Suojalaitteen kautta kulkeva prospektiivisen vikavirran tehollisarvo (A), kun tapahtuu hyvin pieni-impedanssinen vika
t	Suojalaitteen toiminta-aika (s)
k	Kerroin, jonka arvo riippuu suojajohtimen materiaalista, erityksestä ja muusta rakenteesta sekä johtimelle sallituista alku- ja loppulämpötiloista

Jos kaavasta saadaan poikkipinnan arvo, jota ei ole käytettävän johtimen tyyppikohtaisessa standardissa, on valittava poikkipinnaltaan seuraava suurempi standardijohdin. (SFS 6000-5-54. 543.1.2.)

### 6.3 Potentiaalintasausjohtimen mitoitus

Pääpotentiaalintasausjohtimen poikkipinnan on oltava vähintään puolet asennuksen suurimman suoja- tai PEN-johtimen poikkipinnasta, kuitenkin vähintään 6 mm<sup>2</sup> kuparia tai johtokyvyltään vastaavaa metallia, kuten 16 mm<sup>2</sup> alumiinia tai 50 mm<sup>2</sup> terästä. Pääpotentiaalintasausjohtimen poikkipinnan ei tarvitse olla suurempi kuin 25 mm<sup>2</sup> kuparia tai vastaava poikkipinta muuta materiaalia (SFS 6000-5-54. 544.1.1.)

## 7 LIITOKSET

Liittimet ovat maadoituksen oleellinen osa, sillä niillä johtimet liitetään elektrodeihin ja toisiinsa sekä laitteisiin. Liittimien ja niillä tehtyjen liitosten on toimittava luotettavasti kaikissa käyttöolosuhteissa. (Tiainen ym. 2019, 140.)

### 7.1 Maassa olevat liitokset

Maan alla sijaitseviin liitoksiin käytetään yleensä puristus- tai hitsausliitoksia. Kupariköysiin saadaan luotettavat liitokset esimerkiksi C-puristusliittimillä. Ruuviliittimiä ei tule käyttää maan alla, koska esimerkiksi niiden korroosioalttius on suurempi kuin muilla liitostavoilla. Mikäli ruuviliitintä kuitenkin käytetään, sen on oltava ruuvi ja mutteri mukaan luettuna, samaa ainetta liitettävien osien kanssa tai liitoskohta on suojattava hermeettisesti tiiviisti esimerkiksi valamalla se valuhartsin sisään. Sinkittyä teräsköyttä (maadoituselektrodia) ei tämän vuoksi yleensä jatketa tai haaroiteta maassa, vaan liitos tehdään esimerkiksi pylväässä. (Tiainen ym. 2019, 140.)

### 7.2 Eri materiaalien liitokset

Mikäli joudutaan liittämään toisiinsa eri materiaaleja, tehdään liitokset suojatussa ja luokse päästävässä paikassa. Esimerkiksi kun betoniteräkset liitetään maadoitusjohtimeen pitää käyttää sopivaa liitintä ja käsitellä liitos liitinvalmistajan ohjeiden mukaan. Lisäksi betoniteräkset suositellaan tuotavaksi ylös lähellä päämaadoituskiskoa, jotta sen liitos voidaan tarkastaa samalla kuin päämaadoituskiskon liitokset. Kupari- ja alumiinijohtimia ei saa liittää suoraan yhteen kuivassakaan tilassa.

Päämaadoitus- tai potentiaalitasauskiskojen pitää olla tinattua kuparia, jos niihin halutaan liittää kuparijohtimien ohella myös alumiinijohtimia. (Tiainen ym. 2019, 141.)

### 7.3 Alumiinijohtimien liitokset

Alumiinijohtimien liitokset tulee liittää vain sellaisiin liittimiin ja kaapelikenkiin, joissa johdinmetallin merkintä on Al tai Alu. Tällaisissa Al-liittimissä on oikean

liitinmateriaalin lisäksi huomattavasti pienempi pintapaine kuin Cu-liittimissä ja rakenne, joka ottaa huomioon mahdollisen kylmäjuoksun, jota alumiinissa tapahtuu. Al-kaapelikenkien liitäntä kiskoihin tehdään valmistajan ohjeen mukaisella sinkityllä teräsruuvilla. Koska teräsruuvilla ja alumiinilla on erilainen lämpölaajeneminen, pitää riittävän kosketuspaineen saavuttamiseksi käyttää esimerkiksi kooltaan 50 mm<sup>2</sup> Al-kaapelikenkään 10 mm ruuvia, mutta 95 mm<sup>2</sup> Al-kaapelikenkä tarvitsee jo 12 mm ruuvin. Lisäksi Al-kaapelikenkien yhteydessä on tärkeää käyttää myös kartiopuristuslaattaa sekä paineentasauslaattaa. (Tiainen ym. 2019, 141-142.)

#### 7.4 Puristusliitokset

Puristusliitoksilla saadaan aikaan luotettava liitos, jos noudatetaan ohjeita

- liitin tulee valita johdinkoon ja -materiaalin mukaan
- kyseiselle liittimelle tulee käyttää sille tarkoitettua työkalua ja puristusleukaa
- liitin pitää puristaa oikeassa järjestyksessä ja huomioida oikea puristusten määrä
- liitospinnat pitää harjata huolellisesti (käytössä olleesta oksidoituneesta kupariköydestä jokainen lanka harjataan huolellisesti)
- Työkalujen kunto ja puristusjälki tulee tarkistaa ajoittain

Lisäksi on tarpeellista noudattaa valmistajan asennusohjeita ja järjestää asentajille käytännön harjoituksia liitosten tekemiseksi. (Tiainen ym. 2019, 143-144.)

#### 7.5 Calweld-liitokset

Rakennuksen betoniraudoitusta käytettäessä maadoituselektrodina tai sen osana voidaan luotettava liitos tehdä maadoitusjohtimeen (Cu) esimerkiksi hitsaamalla tai Cadweld-liitosmenetelmällä.

Cadweld-liitos menetelmän etuna on se, että sillä pystytään liittämään (hitsaamaan) toisiinsa käytännöllisesti katsoen kaikkia johdinmetalleja. Kuitenkin jokainen johdin koko tarvitsee oman grafiittimuottinsa, jolla voidaan tehdä 50...100 hitsausta. (Tiainen ym. 2019, 144.)

## 7.6 Korroosio Al-liitoksissa

Alumiinijohtimia liitettäessä on erityisesti varmistauduttava siitä, että liittimet ovat tarkoitukseen sopivia. Mikäli alumiiniliitos tulee kosteaan ympäristöön, on korroosion syntyminen estettävä. Liitoksi tehdessä pitää noudattaa liitinvalmistajan ohjeita. (Tiainen ym. 2019, 144-145.)

Kuivissa tiloissa Al-kaapelikenkä ja kisko liitetään suoraan, liitosrasvaa käyttäen ja alumiinipinnat harjaten, alumiiniseen ja paljasta tai pinnoitettua kuparia (kupariseosta) olevaan liitinalustaan tai kiskoon. (Tiainen ym. 2019, 144-145.)

Kosteissa ja märissä tiloissa, kuten ulos ja kosteisiin kellareihin asennetuissa jakokeskuksissa, puistomuuntamoissa ja kaapelijakokaapeissa, alumiini liitetään liitosrasvaa käyttäen alumiiniin tai tinattua kuparia (kupariseosta) olevaan alustaan. Jos alusta on pinnoittamaton, hopeoitu, kromattu tai niklattu, suositellaan käytettäväksi siirtymisliittintä. (Tiainen ym. 2019, 144-145.)

## 8 MAADOITUSRESISTANSSI JA MITTAUKSET

Maadoituksen toimivuuden varmistamiseksi maadoitetut kohteet tulee aika ajoin tarkistaa mahdollisista poikkeavuuksista. Löysät liitokset ja rikkoutuneet maadoitusjohtimet heikentävät potentiaalintasausta ja voivat aiheuttaa staattisen varauksen synnyn räjähdysvaarallisissa kohteissa.

### 8.1 Maadoitusvastusarvo

Ihanteellinen maadoitusvastuksenarvo on nolla ohmia. Laitoksissa, joissa on herkkiä laitteita, arvon pitäisi olla korkeintaan viisi ohmia. Ihanteellinen maadoitusvastuksen paikka on sellainen, jossa on mahdollisimman pieni resistiivisyys. (Fluke 2017, 4.)



## 8.2 Maadoitusresistanssi mittaukset

Maadoitusresistanssi tulee mitata laitteiston käyttöönoton yhteydessä sekä määräajoin tehtävissä tarkastuksissa, jotka ovat osa laitteiston kunnossapitoa ja huoltoa. Maadoitusresistanssien mittausvälit riippuvat maadoitusjärjestelmän rakenteesta ja luotettavuudesta, mutta yleensä mittausväli on enintään 6-12 vuotta. Talviolosuhteissa maadoituksen lopulliseen kuntoon tekeminen ei ole mahdollista, sallitaan laitteiston käyttöönotto maadoitusten keskeneräisyydestä huolimatta, mikäli mittaukset tehdään mahdollisimman pian roudan sulamisen jälkeen. (Tiainen ym. 2019, 147.)

## 8.3 Maadoitusresistanssi mittausmenetelmät

Maadoitusresistanssin mittaamiseen on käytettävissä useita menetelmiä. Yleisesti maadoitusresistanssi mitataan syöttämällä mitattavan maadoituselektrodin kautta virtaa ja mittaamalla tämän jälkeen maadoituselektrodin yli vaikuttava jännite. Kun jännite ja virta on saatu mitattua, voidaan laskea kaavan 2 avulla maadoitusresistanssi. (Tiainen ym. 2019, 147.)

Kaava 2. Maadoitusresistanssin laskeminen (Tiainen ym. 2019, 147).

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

Merkkien tarkoitus

R	maadoitusresistanssi ( $\Omega$ )
U	jännite (V)
I	virta (A)

### 8.3.1 Käännepestemenetelmä

Käännepestemenetelmässä mitataan taas suoraan resistanssiarvoja. Jolloin mitatuista resistanssi arvoista muodostetaan käyrä, jonka käännepestestä saadaan tutkittavan elektrodin tai elektrodijärjestelmän maadoitusresistanssi. Mittaus suoritetaan kompensointioperaatiolla toimivalla maadoitusresistanssi mittalaitteella. Mittauksessa

käytetään mittalaitteen syöttämää vaihtojännitettä, jonka suuruus vaihtelee välillä 100-500 V ja taajuus välillä 70-140 Hz. (Tiainen ym. 2019, 148.)

### 8.3.2 Voltti-ampeerimittarimenetelmä

Mittaus voltti-ampeerimittarimenetelmässä mitataan tutkittavan maadoituselektrodin kautta kulkeva mittausvirta ja maadoituselektrodin yli vaikuttava jännite. Tällä menetelmällä pyritään jäljittelemään todellista maasulkutilannetta johtamalla virransyöttömuuntajan syöttämä mittausvirta ( $I_m$ ) maadoitukseen kaukaa esimerkiksi avojohtoa myöden. Tällöin virta kulkee kauempana sijaitsevan vastamaadoituselektrodin ja mitattavan maadoituselektrodin kautta. Jännite mitataan apuelektrodin ja maadoituksen väliltä, koska mitään virtaa ei viedä jänniteapuelektrodin kautta. Jänniteapuelektrodi on molempien muiden maadoituselektrodien kentän ulkopuolella, jolloin mitattu jännite on suoraan maadoitusjännite ( $U_m$ ).

Mittauksessa käytettävät apuelektrodit ovat etäällä mitattavasta maadoituselektrodista, ja ne on sijoitettava eri puolille mitattavaa maadoitusta. Työssä on noudatettava sille asetettuja erityisvaatimuksia, koska virransyöttömuuntajalla voi syöttää suuria jännitteitä mittauspiiriin. (Tiainen ym. 2019, 150.)

Kaavalla 3 saadaan laskettua mitatuilla mittausvirta ja maadoitusjännite arvoilla maadoitusresistanssin arvo.

Kaava 3. Maadoitusresistanssi saadaan jännitteen ja virran osamäärästä (Tiainen ym. 2019, 150).

$$R = \frac{U_m}{I_m}$$

Merkkien tarkoitus

$R$	maadoitusresistanssi
$U_m$	maadoitusjännite
$I_m$	mittausvirta

### 8.3.3 Muita mittaamenetelmiä

Mittaamenetelmiä on vielä esimerkiksi virta-jännitemenetelmä sekä maasulkumittausmenetelmä. (Tiainen ym. 2019, 151). Mittausmenetelmän valintaan vaikuttaa kolme tekijää; elektrodijärjestelmän laajuus ja muoto, maaperä sekä mittauksen tarkoitus. (Tiainen ym. 2019, 152).

## 9 SALAMASUOJAUS

Rakennus suojataan parhaiten salaman vaikutuksilta yhtenäisellä riittävän paksulla ja hyvin johtavalla tehokkaasti maadoitetulla metallilevyverhouksella, joka kykenee johtamaan salamavirrat maahan. (SFS-KÄSIKIRJA 609 2009, 32). Palavan nesteen säiliöt, putkistot ja laitteistot, joiden osalta salamanvaara on ilmeinen niiden rakenteen tai sijainnin vuoksi, tulee ne maadoittaa salamaniskun varalta. Maadoitusresistanssi voi olla enintään 20  $\Omega$ . (SFS-KÄSIKIRJA 609 2009, 139.)

## 10 RÄJÄHDYSVAARALLISET TILAT

Tässä opinnäytetyössä perehdytään kaasuräjähdyksivaarallisiin tiloihin, joten pölyräjähdysvaarallisia tiloja huomioitaessa kannattaa myös tutustua standardiin SFS-EN 60079-10-2:2015. Standardi käsittelee niiden tilojen tunnistamista ja luokittelua, joissa esiintyy räjähdyskelpoisia pölyilmaseoksia sekä palavia pölykerroksia. (SFS-EN 60079-10-2.1).

### 10.1 Yleistä

Kaikille räjähdysvaarallisille tiloille ja alueille tarvitsee laatia tilaluokituspiirustus ja räjähdys-suojausasiakirja. Tulee myös huomioida räjähdysvaarallisten tilojen

laitevalinnoissa, -asennuksissa ja kunnossapidossa standardisarjan SFS-EN 60079 vaatimukset. (SFS 3355:2020, 28.)

Räjähdyksvaarallisella alueella pitää myös olla räjähdysvaarasta kertovia turvamerkkejä, esimerkiksi kuvan 2 tapaisia.



Kuva 2. Räjähdyksvaarasta kertova turvamerkki. (Työterveyslaitos www-sivut 2021).

## 10.2 ATEX

Räjähdyksvaarallisista tiloista käytetään EU:n laitedirektiivistä ja olosuhdedirektiivistä myös ATEX-nimitystä. Sen vaatimukset on saatettu voimaan Suomessa kansallisilla säädöksillä ja standardeilla. Vaatimusten tarkoituksena on räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamien vaarojen ennaltaehkäisy sekä työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden suojeleminen. (Tukes www-sivut 2021.)

## 10.3 Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen räjähdysvaarallisessa tilassa

Räjähdyksvaaralliseen tilaan sähköasennuksia suunniteltaessa pitää huomioida, että sähköasennukset ja laitteet eivät saa toimia syttymislähteenä sähköenergian, staattisen sähköön, kuumenemisen tai kipinöinnin vuoksi. Tämän takia tällaisissa tiloissa on suojamaadoitusta ja potentiaalintasausta koskevat omat tiukemmat vaatimukset sekä niihin liittyvät valvontavaatimukset. Pääasiassa suojaus perustuu räjähdysvaarallisissa tiloissa runkorakenteisiin ja koteloinnissa esiintyvien vikavirtojen rajoittamiseen sekä jännitteen nousun estämiseen potentiaalintasausjohtimissa. (Tiainen ym. 2019, 163.)

Myös tilaluokituksen avulla voidaan ottaa sähkösuunnitelmissa huomioon erityisvaatimukset asennuksissa ja laitevalinnoissa. Räjähdyksivaaralliseen tilaan kannattaa sijoittaa ainoastaan toiminnan kannalta välttämättömiä sähkölaitteita ja mahdollisuuksien mukaan sähkölaitteet tulisi sijoittaa räjähdysvaarattomaan tilaan. (Tukes www-sivut 2021.) Ex-tilaan valittaessa laitteita ei riitä, että laite on ATEX-hyväksytty, vaan sen tulee sopia kyseiseen Ex-tilaan määriteltyjen suojausluokitusten mukaisesti. Hyvä huomioida, että tilaaja on vastuussa suojausluokitusten määrittelystä Ex-suojattua laitetta tilattaessa. (ATEX-pikaopas Machinetool.) Lisää tietoa sekä tarkempia ohjeistuksia räjähdysvaarallisen tilan sähköasennusten suunnittelusta, laitevalinnoista ja asentamisesta löytyy standardista SFS-EN 60079-14.

#### 10.4 Räjähdyssuojausasiakirja

Räjähdyssuojausasiakirjaan tulee sisällyttää keskeisiä tietoja, kuten luettelo laitteista ja työvälineistä, jotka voivat toimia sytytyslähteinä sekä niistä työvälineistä, jotka on hyväksytty käytettäväksi räjähdysvaarallisissa tiloissa. Selvitys siitä, missä räjähdyskelpoisia ilmanseoksia voi esiintyä sekä mitä laitteita tiloissa on. Asiakirjaan tulee myös kirjata räjähdysvaarallisten tilojen luokittelu ja selvitys toteutetuista räjähdysuojaustoimenpiteistä. (Tukes www-sivut 2021.)

#### 10.5 Tilaluokitus

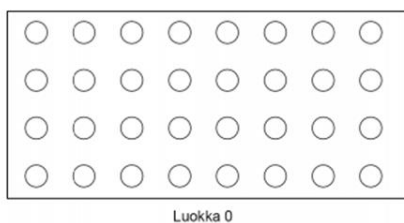
Räjähdyksivaara-alueella tarvitsee tehdä myös tilaluokitus. Tilaluokitus kertoo räjähdyskelpoisia ilmaseoksia sisältävän ympäristön luokittelumenetelmän, jonka perusteella määräytyvät tiloissa olevien, sinne asennettavien laitteiden turvallisuusvaatimukset. Olennaista on, että tilaluokituksen tekee henkilö, joka tuntee kyseisen toiminnan prosessit ja vaaraa aiheuttavat aineet, koska räjähdysvaaran syttymiseen vaikuttavat useat tekijät. (Tukes www-sivut 2021.)

Räjähdyksivaarallisen aineen päästöluokka määrää tilaluokan. Esimerkiksi ulkona oleva laitoksen jatkuva päästö johtaa tilaluokkaan 0, primäärinen päästö tilaluokkaan 1 ja sekundäärinen päästö tilaluokkaan 2. Tätä perussääntöä voidaan muuttaa huomioimalla laimenemistehokkuus ja ilmanvaihdon käytettävyys, jolloin tilaluokitus voi

muuttua tiukempaan tai lievempään luokkaan. (SFS-EN IEC 60079-10-1. 8.2.) Tilaluokan avulla pystytään määrittämään laiteluokka laitteille. Esimerkiksi SFS-EN IEC 60079-10-1:2021 standardista löytyy lisätietoa tilaluokituksista.

### 10.5.1 Tilaluokka 0

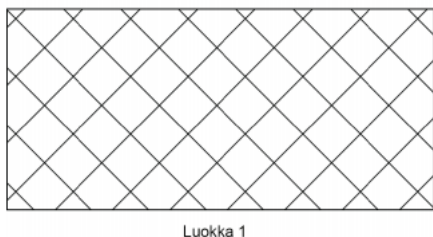
Tarkoitetaan tilaa, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti sekä usein. (ST 51.81, 6). Kuvassa 3 on esitetty yleisesti käytetty tapa ilmaista tilaluokitusluvassa tilaluokan 0 aluetta.



Kuva 3. Tilaluokan 0 merkintätapa. (SFS-EN IEC 60079-10-1. A.1).

### 10.5.2 Tilaluokka 1

Tarkoitetaan tilaa, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti. (ST 51.81, 6). Kuvassa 4 on esitetty yleisesti käytetty tapa ilmaista tilaluokitusluvassa tilaluokan 1 aluetta.

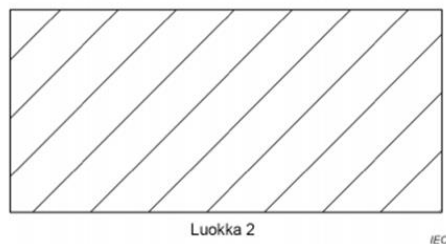


Kuva 4. Tilaluokan 1 merkintätapa. (SFS-EN IEC 60079-10-1. A.1).

### 10.5.3 Tilaluokka 2

Tarkoitetaan tilaa, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen

normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja kestää esiintyessään vain lyhyen ajan. (ST 51.81, 6). Kuvassa 5 on esitetty yleisesti käytetty tapa ilmaista tilaluokituskuvasa tilaluokan 2 aluetta.



Kuva 5. Tilaluokan 2 merkintätapa. (SFS-EN IEC 60079-10-1. A.1).

### 10.6 Laiteluokat ja lämpötilaluokat sekä räjähdysryhmät

ATEX-tuotteen valmistajan pitää määrittää tuotteen ryhmä ja luokka sen käyttötarkoituksen perusteella. ATEX-laitedirektiivi jakaa tuotteet kahteen ryhmään käyttöolosuhteiden perusteella. Ryhmän I tuotteet on tarkoitettu kaivoksiin ja niiden maanpäällisiin osiin, joissa räjähdysvaara perustuu kaivoskaasuun tai pölyyn. Ryhmän II tuotteet on tarkoitettu muissa räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi. Ryhmät I ja II ovat vielä jaettu laiteluokkiin. Ryhmään I kuuluu laiteluokat M1 ja M2 sekä Ryhmään II kuuluu laiteluokat 1, 2, 3. Ryhmän I luokittelu määräytyy sen mukaan, kytkeytyykö tuote energiattomaksi, kun räjähdysvaarallinen tila ilmenee. Ryhmän II luokittelu määräytyy tuotteen käyttötarkoituksen mukaan, eli esiintyykö räjähdysvaarallinen tila aina vai esiintyykö se todennäköisesti pitkiä tai lyhyitä aikoja. (Tukes www-sivut 2021.)

Jos laitetta käytetään kaasujen vaikutuspiirissä, pitää myös tietää millaisissa kaasuissa laitetta voidaan käyttää. (ATEX-pikaopas Machinetool). Kuvassa 6 on esitetty eri kaasujen räjähdysryhmät.

I = metaani tai sen kaltaiset kaasut  
 IIA = propaani tai sen kaltaiset kaasut  
 IIB = etyleeni tai sen kaltaiset kaasut  
 IIC = vaarallisimmat kaasut kuten vety

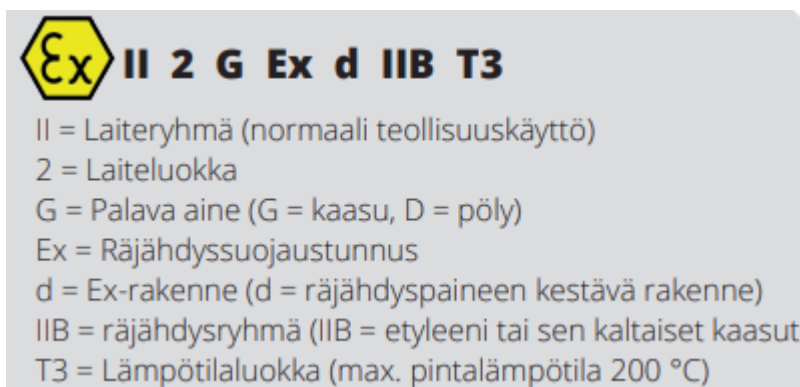
Kuva 6. Kaasujen räjähdysryhmät. (ATEX-pikaopas Machinetool).

Laiteluokan ja räjähdysryhmän lisäksi räjähdysvaarallisissa tiloissa on omat lämpötilaluokat, jotka tarkoittavat laitteen maksimipintalämpötilaa, johon lämpö voi kohota. Laitteen lämpötilaluokat jaetaan kuuteen eri luokkaan. (ATEX-pikaopas Machinetool.) Kuvassa 7 on esitetty eri lämpötilaluokat.

Laitteen lämpötilaluokka	Laitteen suurin sallittu pintalämpötila °C
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

Kuva 7. Laitteen lämpötilaluokat. (ATEX-pikaopas Machinetool).

Kuvassa 8 on esitetty esimerkki laitteen tyyppikilven ATEX-laitemerkinnät ja niiden tarkoitukset.



Kuva 8. ATEX- laitemerkinnät. (ATEX-pikaopas Machinetool).

Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus koostuu useista vaatimuksista ja tietoja joutuukin hakemaan useista eri lähteistä. Esimerkiksi hyvin tietoa saa räjähdysvaarallisten tilojen vaatimuksista ja säädöksistä standardisarjasta SFS-EN 60079. (Tukes www-sivut 2021).

## 10.7 Häätälaukaisu

Räjähdyksvaarallisen alueen ulkopuolella sopivassa kohdissa tai kohdassa on oltava mahdollisuus katkaista sähkönsyöttö räjähdysvaaralliselle alueelle hätätilanteiden



varalta. Hätäseisäskytkentäpiiriin ei kuitenkaan saa liittää sähkölaitteita, joiden toiminnan jatkuminen on välttämätöntä vaaratilanteen pahenemisen estämiseksi. (ST 51.83, 7.)

## 11 NESTEBULK-LAITURIN MAADOITUKSEN SUUNNITTELU

### 11.1 Maadoituksen suunnittelu

Nestebulk-laiturin maadoituksen suunnittelu aloitettiin perehtymällä vanhoihin saatavilla oleviin maadoituspiirustuksiin, eli maadoituksen sijaintipiirustukseen sekä maadoituskaavioon. Kävimme myös paikan päällä Tahkoluodon satamassa tutustumassa vanhan nestebulk-laiturin sähköistyksiin ja maadoitukseen. Vanha nestebulk-laituri ja sen maadoitukset ovat 60 vuotta vanhoja.

Mantereella olemassa olevia vanhoja maadoituksia ei tulla juurikaan muuttamaan, vain laiturin maadoituksia muutetaan. Vanhassa laiturin maadoituksessa oli esimerkiksi käytetty räjähdysvaarallista nestettä sisältävien putkien maadoittamisessa ketjutusta, ja se tullaan korjaamaan uudessa maadoituksessa. Putkien maadoitusten ketjutuksessa on haitta puoleksi se, että jos yksi liitoskohta löystyy, saattaa koko lopputkijärjestelmä olla ilman maadoitusta. Eli teräsrakenteet, kaapelihyllyt sekä putkistolinjastot tullaan liittämään potentiaalitasaukseen lujilla liitoksilla. Liitoksien avulla varmistetaan maadoituksen jatkuvuus koko linjastossa.

Vanhasta nestebulk-laiturista tullaan siirtämään uuteen laituriin mahdollisimman paljon vanhoja komponentteja, jotka ovat hyvässä kunnossa. Esimerkiksi kaksi vanhaa polttoaineen lastausvartta tullaan siirtämään uudelle laiturille.

Vanhoissa polttoaineen lastausvarsissa on käytetty laiturin ja aluksen välillä potentiaalintasaavaa järjestelmää, joka on ollut silloisten standardien mukainen. Uudessa laiturissa lastausvarsissa tullaan käyttämään uusien standardien mukaista potentiaalineristävää järjestelmää. Eli alus ja laituri putkistoinen eristetään toisistaan. Koska jo

olemassa olevia lastausvarsia tullaan myös käyttämään uudessa laiturissa, tulee varmistaa, että vanhoihin lastausvarsiin lisätään eristelaipat.

Päämaadoituskiskona sekä potentiaalintasauskiskoina käytetään erikokoisia kuparikiskoja. Potentiaalintasausjohtimena käytetään eripaksuisia MK kevi -kaapeleita, joka on muutamalankaista kaapelia. Potentiaalintasaus eri laitteille ja putkistoille sekä johtimienmitoitus toteutetaan aiemmin kerrotun teoriaosion pohjalta.

Kaapelihyllyinä käytetään MEKAN tikashyllyjä ja ne tulee liittää potentiaalintasauskiskoon 40 metrin välein. Käytössä olevien tikashyllyjen jatkoskappaleilla saadaan aikaan riittävä sähköinen liitos, jolloin hyllyjen jatkoskohdan yli ei tarvitse asentaa erillistä maadoitusjohdinta. Putkisilta tullaan maadoittamaan 60 metrin välein. Maadoituselektrodeja tullaan asentamaan niihin kohtiin laiturille ja osaan putkisillan jaloista, joihin valetaan uusia betonijalustoja. Maadoituselektrodin ja maadoitusjohtimien välisissä liitoksissa tullaan käyttämään, joko C-liitosta tai Cadweld-liitosta.

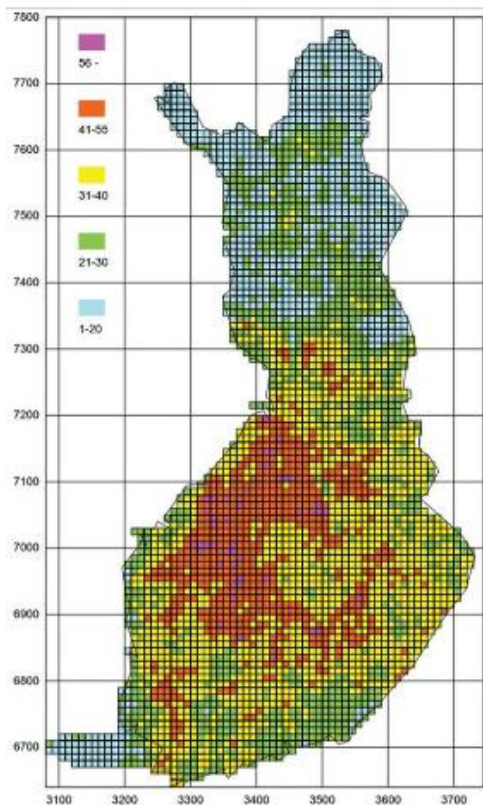
Uuden maadoituskaavion sekä tulevien maadoituselektrodien sijaintipiirustuksen tekemiseen käytettiin Autocad -ohjelmistoa sekä kaapeliluettelon tekemiseen Excel -taulukkoa. Maadoituskaavion lisäksi teimme myös Detailj-piirustukset. Detailj-piirustukset ovat niin sanottuja yksityiskohtaisia piirustuksia jostain tietyistä osasta maadoituskaaviota.

Liitteessä 1 on esitetty esimerkki maadoituskaaviosta ATEX-alueella. Maadoituskaavio on tehty opinnäytetyön teoriaosuuden pohjalta ja siinä on ATEX-tilan määräysten tavoin yhdistetty kaikki jännitteelle alttiit osat sekä muut johtavat osat potentiaalintasauskiskoon.

#### 11.1.1 Salamasuojaus

Ilmatieteen laitoksen kuvassa 9 esitettyä salamatilastoa tutkimalla huomasimme Tahkoluodon sataman sijaitsevan kartalla sinisen neliön sisällä. Tämä tarkoittaa, että Tahkoluodon satamassa salamoit noin 1-20 salamaa vuodessa neliökilometriä kohti. Salamatilaston perusteella päädyimme siihen, että salamasuojausta ei tarvitse tehdä uudelle

nestebulk-laiturille, koska kyseisen paikan salamointi määrä on niin alhainen vuodessa.



Kuva 9. Salamatilasto vuosilta 1998-2013 (Ilmatieteen laitoksen www-sivut).

## 12 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä yhteen eri tietolähteistä kaasu- ja nesteräjähdyks- vaarallisten tilojen maadoitussuunnitteluun vaadittavat ohjeistukset sekä sataman ohjeistukset. Opinnäytetyön tuloksena luotiin maadoituspiirustukset ja kaapeliluettelo Tahkoluodon nestebulk-laiturille sekä opas kaasu- ja nesteräjähdyksvaarallisten alueiden maadoitussuunnitteluun, jossa myös satama-alue huomioidaan.

Tämän työn tuloksena syntyi Tahkoluodon sataman uuden nestebulk-laiturin maadoituspiirustukset, joka tulee käyttöön, kun vuonna 2022 aletaan rakentamaan kyseistä laituria. Itse laiturin käytännön toteutusta ei tulla tämän opinnäytetyö aikana näkemään.

Kun aloin paremmin perehtymään räjähdysvaarallistilojen ja satama-alueiden maadoituksen suunnitteluun, yllätyin kuinka vähän tietoa näistä oli saatavilla. Joten uskon tämän opinnäytetyön auttavan tulevaisuudessa maadoituksen suunnittelussa.

Opinnäytetyön aloitusvaiheessa minulla ei juurikaan ollut tietämystä tai osaamista räjähdysvaarallisista tiloista tai maadoituskavion tekemisestä. Työtä tehdessä tietotaitoni parantuivat merkittävästi niin räjähdysvaarallistiloista, maadoituksesta kuin myös yleisesti sähkösuunnittelusta. Pidän oppimaani tietoa ja taitoa erittäin hyödyllisenä tulevaisuutta ajatellen. Opin myös työn aikana etsimään tietoa paremmin eri standardeista. Lisäksi sain kokemusta sähkösuunnittelijan työstä, josta on hyötyä myös tulevaisuudessa.

En ollut myöskään tätä suunnittelutyötä ennen käyttänyt Autocad -ohjelmistoa, joten opettelun käyttämään sitä tässä samalla. Autocad -ohjelmiston käytössä ja opettelussa oli omat haasteensa ja varsinkin paperinmittakaavan tulostusasetuksien kanssa oli paljon opeteltavaa, joka yllätti minut täysin. Itse maadoituskavion suunnittelussa sain todella hyvin apua kokeneilta sähkösuunnittelijoilta sekä vanhoista maadoituspiirustuksista.

Tämä opinnäytetyö laajensi ja syvensi osaamistani suunnittelusta ja sen toteutuksesta sekä Autocad -ohjelmiston käytöstä. Itse koko satama projekti oli mielestäni mielenkiintoinen. Opin myös sen, että itse työmaalla käynti on hyvin tärkeä osa suunnittelua, jotta pystyy paremmin hahmottamaan suunniteltavia asioita. Sain tämän työn kautta pohjan myös muihin mahdollisiin maadoituksen suunnitteluprojekteihin.

## LÄHTEET

ST 51.83 Sähköasennukset räjähdysvaarallisissa tiloissa. 2020. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo.

ST 51.81 Räjähdysvaarallisten tilojen tunnistaminen ja sähkölaitteiston tarkastukset polttoaineen jakeluasemilla. 2018. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo.

SFS 3355:2020. Palavien nestemäisten kemikaalien käsittely satama-alueella. Handling of combustible liquid chemicals in harbour area. Vahvistettu 2020. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki SFS. Viitattu 5.5.2021. <http://www.sfs.fi/>

SFS 6001:2018. Suurjännitesähköasennukset. High-voltage electrical installations. Vahvistettu 2018. Vahvistettu 2020. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki SFS. Viitattu 21.6.2021. <http://www.sfs.fi/>

SFS-EN IEC 60079-10-1:2020. Räjähdysvaaralliset tilat. Osa 10-1: Tilaluokitus. Kaasuräjähdysvaaralliset tilat. Explosive atmospheres. Part 10-1: Classification of areas. Explosive gas atmospheres. Vahvistettu 2021. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki SFS. Viitattu 10.5.2021. <http://www.sfs.fi/>

SFS-EN 60079-10-2:2015. Räjähdysvaaralliset tilat. Osa 10-2: Tilaluokitus. Pölyräjähdysvaaralliset tilat. Explosive atmospheres. Part 10-2: Classification of areas. Explosive dust atmospheres. Vahvistettu 2015. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki SFS. Viitattu 10.5.2021. <http://www.sfs.fi/>

SFS 6000-5-54:2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-54: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Maadoittaminen ja suojajohtimet. Low-voltage electrical installations. Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment. Earthing arrangements and protective conductors. Vahvistettu 2018. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki SFS. Viitattu 15.6.2021. <http://www.sfs.fi/>

Fluke Maadoitusresistanssi 2017. Ohje 2/2017. Vantaa: Fluke Finland Oy. Viitattu 21.6.2021. [https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/9902801\\_FIN\\_A\\_W.PDF](https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/9902801_FIN_A_W.PDF)

MEKA tuoteluettelo 2020. Oulu: MEKA PRO OY. Viitattu 23.7.2021. [https://me-kaeu.wpcomstaging.com/wp-content/uploads/2020/11/Meka\\_tuoteluettelo\\_1.0.pdf](https://me-kaeu.wpcomstaging.com/wp-content/uploads/2020/11/Meka_tuoteluettelo_1.0.pdf)

SFS-KÄSIKIRJA 609. Rakennusten ja rakenteiden salamasuojaus. Lightning protection for buildings and structures. 2009. Suomen Standardiliitto SFS. Helsinki: SFS

Tiainen, E., Nurme, T., Koivisto, P., Ylinen, T. & Kauppila, J. 2019. Maadoituskirja. 7. uud. p. Helsinki: Painokurki.

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot II. Helsinki: Gaudemus Helsinki University Press / Otatieto.

Port of Pori. 2021. Porin Satama. Viitattu 15.5.2021. <https://portofpori.fi/fi/>

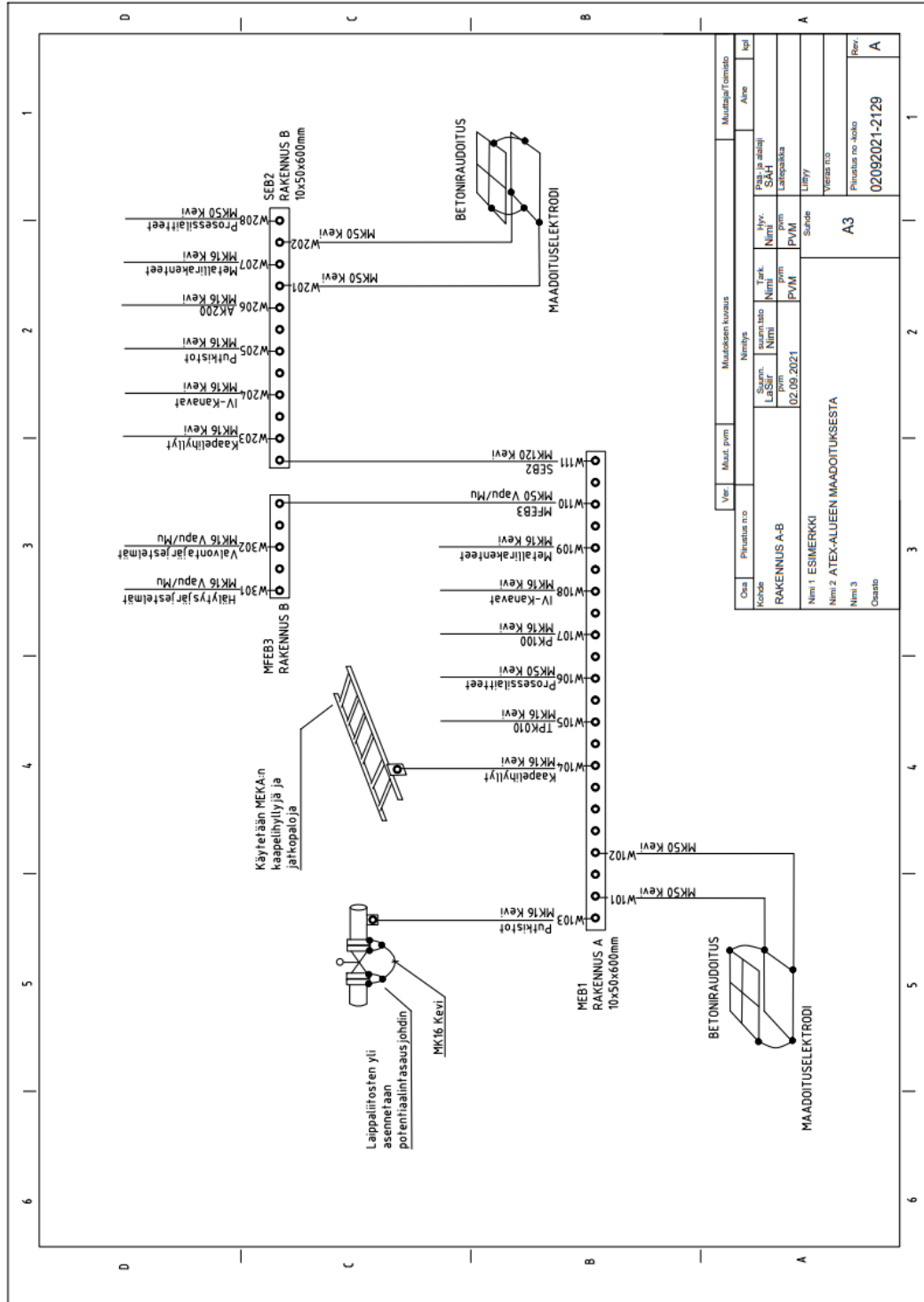
Turvallisuus- ja kemikaaliviraston www-sivut. TUKES. 2021. ATEX-tilat. Viitattu 14.5.2021. <https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat/rajahdysvaarallisten-tilojen-sahkosennukset>

Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskuksen www-sivut. STEK. 2021. Viitattu 19.5.2021. <https://stek.fi/stek-info/>

Työterveyslaitoksen www-sivut. 2021. Räjähdyksivaaralliset tilat. Viitattu 20.5.2021. <https://www.ttl.fi/vesihuoltolaitosten-tyoturvallisuus-opas/riskien-tunnistus-ja-hallintakeinot/tapaturmavaaralliset-tyot/rajahdysvaaralliset-tilat/>

Ilmatieteen laitoksen www-sivut. 2021. Viitattu 16.6.2021. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/>

ATEX-pikaopas Machinetool. 2021. Viitattu 28.8.2021. <https://www.machinetool.fi/hubfs/2017%20Esitteet/ATEX-pikaopas.pdf?hsLang=fi>



Osa		Piletus no		Ver		Maat. pvm		Maa- ja metsätalouden ministeriö	
Kohde		Nimi		Nimi		Nimi		Aloite	
RAKENNUS A-B		RAKENNUS A-B		RAKENNUS A-B		RAKENNUS A-B		RAKENNUS A-B	
Nimi 1		Nimi 2		Nimi 3		Osa		Rev.	
ESIMERKKI		ATEX-ALUEEN MAADOITUKSESTA		A3		02092021-2129		A	