



Eero Ovaska

Pienjännitekiinteistön maadoittaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

4.11.2024

Tiivistelmä

| | |
|-------------------------|--|
| Tekijä(t): | Eero Ovaska |
| Otsikko: | Pienjännitekiinteistön maadoittaminen |
| Sivumäärä: | 36 sivua |
| Aika: | 4.11.2024 |
| Tutkinto: | Insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma: | Sähkö- ja automaatiotekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto: | Kiinteistöjen sähkötekniikka |
| Ohjaaja(t): | Lehtori Ossi Hämäläinen Ryhmäpäällikkö Jarkko Bergqvist |

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää pienjännitekiinteistöjen maadoitusjärjestelmien eri osat ja niiden oikea mitoitus. Maadoitusjärjestelmän tarkoituksena on varmistaa sähköasennusten turvallinen ja luotettava toiminta.

Työssä käsitellään maadoitusjärjestelmän keskeisiä komponentteja, kuten maadoitusjohdin, maadoituselektrodi ja potentiaalintasausjärjestelmä. Työssä käsitellään myös TT-, TN- ja IT-maadoitusjärjestelmiä, jotka eroavat toisistaan maadoituksen ja suojauksen toteutustavoissa. Työn loppupuolella käydään läpi vielä erityistapauksia. Tarkastellaan muun muassa sairaalatiiloja, ATEX-tiloja, toiminnallista maadoitusta, salamasuojausta ja eläintiloja.

Kaikilla on omat erityisvaatimuksensa maadoituksille ja potentiaalintasauksille. Näiden tilojen maadoitusjärjestelmät suunnitellaan huolellisesti, jotta varmistetaan turvallisuus ja laitteiden häiriötön toiminta. Opinnäytetyö tarjoaa kattavan katsauksen pienjännitekiinteistöjen maadoitusjärjestelmien suunnitteluun ja toteutukseen. Työtä voidaan hyödyntää maadoituksen suunnitteluun.

avainsanat: maadoitusjärjestelmät, maadoittaminen, sähkösuunnittelu, potentiaalitasaus, maadoituselektrodi, suojajohdin

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Eero Ovaska
Title: Low Voltage Property Grounding
Number of Pages: 36 pages
Date: 4 November 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Specialisation option: Electrical building services
Instructor(s): Ossi Hämäläinen, Senior Lecturer
Jarkko Bergqvist, Team Leader

The purpose of this thesis is to clarify low-voltage buildings' grounding systems' various parts and their right sizing. The purpose of the grounding system is to keep users and devices safe when electrical devices are in use. This thesis first goes through various parts of the grounding system, like grounding conductors, grounding electrodes, and equipotential bonding bars. Later in thesis TT-, TN and IT-grounding systems are handled. These differ in the implementation methods of grounding and protection. In the end of thesis, special grounding system places like hospital, animal shelter and ATEX-space are discussed. These spaces need to be connected to the earth more carefully for everything to work more stably and safely.

This thesis functions as a guide to low-voltage buildings' grounding system design and building.

Keywords: Grounding systems, grounding, electrical design, equipotential bonding, grounding electrode, protective conductor

Sisällys

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Pienjännitemaadoitusjärjestelmä | 1 |
| 2.1 | Maadoituselektrodi | 1 |
| 2.2 | Perustusmaadoituselektrodi | 7 |
| 2.3 | Potentiaalintasaus | 8 |
| 2.4 | Pääpotentiaalintasaus | 8 |
| 2.5 | Lisäpotentiaalintasaus | 9 |
| 2.6 | Suojamaadoitusjohdin | 12 |
| 3 | TT-, TN- Ja IT-maadoitusjärjestelmät | 13 |
| 3.1 | TT-maadoitusjärjestelmä | 13 |
| 3.2 | TN-maadoitusjärjestelmä | 15 |
| 3.3 | IT-maadoitusjärjestelmä | 16 |
| 4 | Maadoituksen suunnittelu | 17 |
| 4.1 | Maadoituselektrodin mitoitus | 17 |
| 4.2 | Suojamaajohtimien mitoitus | 19 |
| 4.3 | Suojajohtimien materiaali | 20 |
| 5 | Maadoituksen mittaus | 21 |
| 5.1 | Maadoitusresistanssin mittausmittausmenetelmät | 21 |
| 5.2 | Maadoituksen jatkuvuus | 24 |
| 5.3 | Sähkölaitteiston eristysvastusmittaus | 25 |
| 6 | Erikoistapaukset | 27 |
| 6.1 | Erikoisvaatimukset sairaalatilojen maadoittamisessa | 27 |
| 6.2 | Maadoittamisen erikoisvaatimukset ATEX-tiloissa | 28 |
| 6.3 | Toiminnallinen maadoitus | 29 |
| 6.4 | Salamasuojaus | 30 |
| 6.5 | Eläintilojen maadoitus | 32 |
| 7 | Yhteenveto | 34 |
| | Lähteet | 35 |

1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, mistä eri osista pienjännitekiinteistöjen maadoitusjärjestelmät koostuvat ja miten ne saadaan mitoitetuiksi oikein. Ensiksi käydään läpi, mistä eri osista pienjännitekiinteistön maadoitusjärjestelmä rakentuu, jonka jälkeen käsitellään sen mitoitusta. Käsitellään myös, miten ja miksi sähköasennusten valmistuttua on tärkeää muistaa mitata maadoituksen toimivuus ja johtavuus joka osassa. Työn loppupuolella käydään vielä läpi muutamia erikoistapauksia, mitä tulee eri tilojen potentiaalitasaukseen sekä maadoittamiseen. Työ tehtiin Rejlers Rakentaminen Oy:lle, ja sen tarkoitus oli koota yhteen tietoa pienjänniterakennusten maadoittamisesta ja sen mitoituksesta.

2 Pienjännitemaadoitusjärjestelmä

Pienjännitesähköasennuksen maadoitusjärjestelmän tarkoituksena on varmistaa sähköasennuksen turvallinen ja luotettava toiminta. Maadoitusjärjestelmän avulla luodaan yhteys maahan, mikä on keskeinen osa sekä sähköiskujen estämisessä että häiriöiden ehkäisyssä. Suojajohtimien kautta maadoitusjärjestelmä mahdollistaa automaattisen virrankatkaisun, joka suojaa käyttäjiä sähköiskuilta. [1, s. 4.]

Pienjännitejärjestelmien maadoituksen rakentamiseen tarvittavat osat ovat maadoitusjohdin, maadoituselektrodi ja potentiaalintasauskiskot. Pienjänniteasennuksen maadoitusta koskevat perusvaatimukset löytyvät standardista SFS 6000 osissa 4-41 ja 5-54. [1, s. 4.]

2.1 Maadoituselektrodi

Maadoituselektrodi on sähköasennuksen osa, joka varmistaa luotettavan ja pysyvän sähköisen yhteyden maahan. Sen pääasiallisena tehtävänä on johtaa

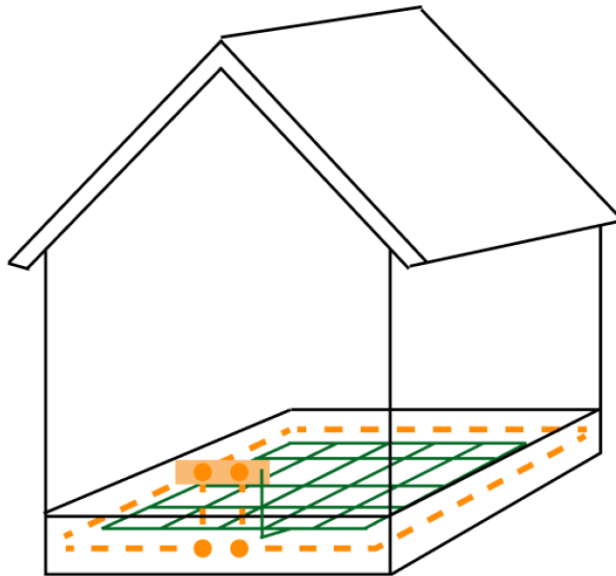
maasulkuvirrat ja suojajohtimien virrat turvallisesti maahan, jotta vältetään vaaralliset sähköiskut ja mahdolliset lämpö- tai sähkömekaaniset rasitukset. Maadoituselektrodeja käytetään erilaisissa sähköasennuksissa, ja niiden muoto, koko ja materiaali vaihtelevat asennuskohteen ja olosuhteiden mukaan. Yleisimpiä maadoituselektrodeja ovat betoniin upotetut perustusmaadoituselektrodit, maahan upotetut metallielektrodit sekä erilaiset johtavat rakenteet, kuten kupari- ja teräsjohtot. [2, s. 9.]

Maadoituselektrodien tehokkuus ja toiminta riippuvat suuresti niiden rakenteesta ja paikallisen maaperän laadusta. Yksi tärkeimmistä tekijöistä on maaperän resistiivisyys, joka vaikuttaa siihen, kuinka hyvin elektrodi pystyy johtamaan sähkövirtaa maahan. Hyvin suunniteltu maadoituselektrodi vähentää merkittävästi maasulkujen ja muiden sähkövikojen aiheuttamia vaaroja. [2, s. 13.]

Maadoituselektrodien materiaalit vaihtelevat yleensä kuparista kuumasinkittyyn teräkseen ja ruostumattomaan teräkseen. Kupari on suosittu valinta sen erinomaisen sähkönjohtavuuden ja korroosionkestävyyden vuoksi. Kuumasinkitty teräs on taloudellisempi vaihtoehto, joka tarjoaa riittävän suojan korroosiolta ja hyvän sähkönjohtavuuden. Ruostumaton teräs on kestävä ja pitkäikäinen valinta, mutta se on yleensä kalliimpi kuin muut materiaalit. [2, s. 10.]

Maadoituselektrodien asennuksessa on tärkeää varmistaa, että ne ovat sähköisesti jatkuvia ja hyvin kiinnitettyjä. Tämä voidaan saavuttaa hitsaamalla, puristusliittimillä tai muilla mekaanisilla liitoksilla. On myös tärkeää huomioida korroosiosuojaus erityisesti silloin, kun elektrodi on asennettu suoraan maahan tai betoniin. Betoniin upotettu perustusmaadoituselektrodi on suositeltava ratkaisu,

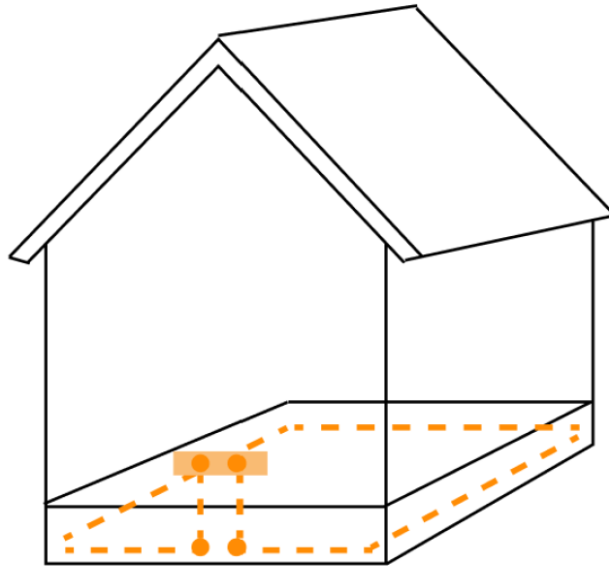
koska betoni tarjoaa luonnollisen suojan korroosiolta. [2, s. 11.] Kuvassa 1 esitetään esimerkki maadoituksesta betonin sisällä.



Kuva 1. Perustusmaadoituselektrodi betonin sisällä [3, s. 129].

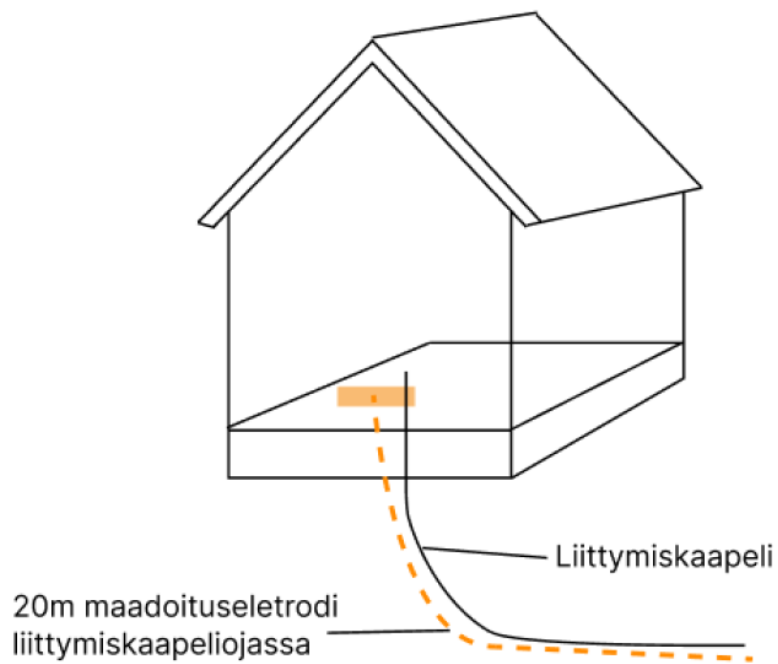
Perustusmaadoituselektrodi on yleisesti suositeltava ratkaisu sen taloudellisuuden ja kestävyuden vuoksi. Perustusmaadoituselektrodi voidaan asentaa rakennuksen perustusten alle tai sisälle, jolloin se on suojassa ilmastonvaihteluilta ja mekaanisilta vaurioilta. Perustusmaadoituselektrodin materiaalina voidaan käyttää terästä, joka voi olla joko normaalisti betoniterästä tai erityisesti elektrodikäyttöön tarkoitettua sinkittyä lattaterästä. Elektrodi on liitettävä jatkuvaksi rakenteeksi hitsaamalla tai käyttämällä erityisiä jatkoksia. Betonin sisään asennettu teräs on sellaisenaan suojattu korroosiolta, mutta betonista ulos nousevat osat on korroosiosuojattava. [1, s. 7.]

Jos perustusmaadoituselektrodia ei voida käyttää, voidaan maadoituselektrodina käyttää kuvassa 2 näkyvää perustusten ympäri kulkevaa elektrodia, joka asennetaan lähelle perustusten reunaan ja riittävän syväälle, jotta se ei vahingoitu helposti. [2, s. 13.]



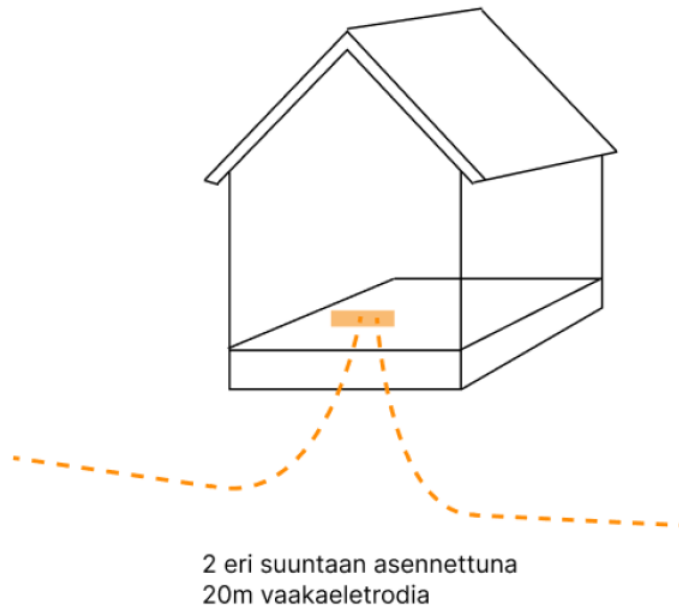
Kuva 2. Perustusmaadoituselektrodi perustusten alla [3, s. 129].

Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää vähintään 20 metriä pitkää vaakasuoraan asennettua elektrodia niin kuin kuvasta 3 nähdään tai pystyelektrodeja, joiden pituuden on oltava vähintään puolet vaakaelektrodille vaaditusta pituudesta. Tällöin vierekkäisten pystyelektrodisauvojen välisen etäisyyden on oltava vähintään sauvan pituuden suuruinen. [2, s. 13.]



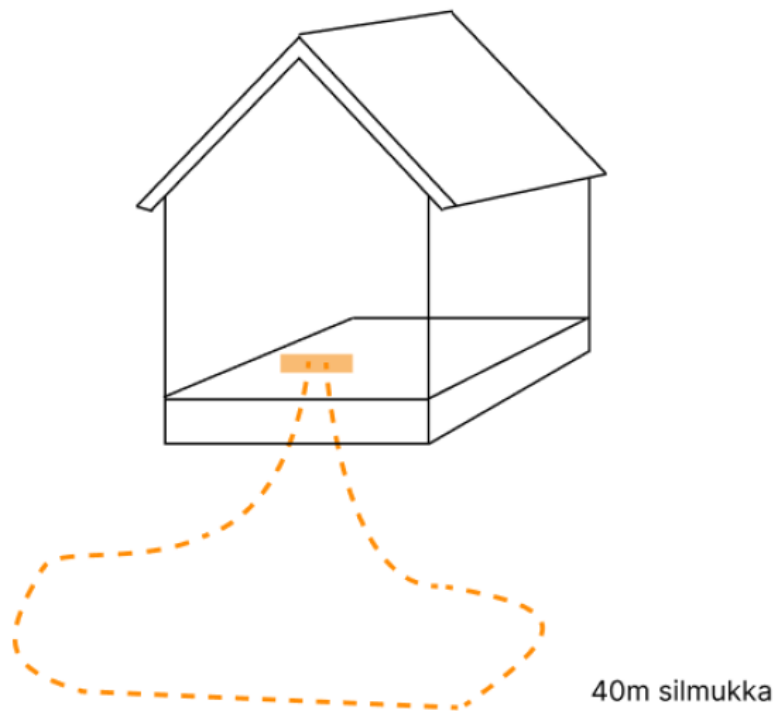
Kuva 3. Liittymiskaapeliöjaan sijoitettu maadoituselektrodi [3, s. 132].

Vaihtoehtoisesti maadoituselektrodi voidaan asentaa perustusten ulkopuolelle tai maahan siten, että se on suojattu mekaaniselta vaurioitumiselta. Tällöin materiaaleina voidaan käyttää esimerkiksi kuparia tai terästä, joiden minimipoikkipinnat on määritelty standardin SFS 6000 mukaisesti [2, s. 9]. Kuvassa 4 on esimerkki rakennuksen ulkopuolelle vedettävästä maadoituselektrodista.



Kuva 4. Kaksi eri suuntiin asennettua vähintään 20 metrin pituista vaakaelektrodiä [3, s. 133].

Joskus tila on rajallista ja halutaan tehdä rakennuksen ulkopuolelle maadoituselektrodi, niin voidaan tehdä 40 m pitkä silmukka. Kuvassa 5 on esimerkki silmukan muotoisesta maadoituselektrodista.



Kuva 5. Silmukan muotoinen maadoituselektrodi [3, s. 133].

Maadoituselektrodir suunnittelussa ja asennuksessa on otettava huomioon paikalliset maaperäolosuhteet, maaperän resistiivisyys ja kemiallinen koostumus, jotka voivat vaikuttaa elektrodin suorituskykyyn ja kestävyyteen. On myös tärkeää varmistaa, että maadoituselektrodi on riittävän pitkä ja syvällä maassa, jotta se saavuttaa tarvittavan kosketusresistanssin ja toimii tehokkaasti sähköasennusten suojaamisessa. [1, s. 6; 2, s. 10.]

2.2 Perustusmaadoituselektrodi

Perustusmaadoituselektrodi on yleisesti suositeltava ratkaisu sen taloudellisuuden ja kestävyyden vuoksi. Perustusmaadoituselektrodi voidaan asentaa rakennuksen perustusten alle tai sisälle, jolloin se on suojassa ilmastonvaihteluilta ja mekaanisilta vaurioilta. Perustusmaadoituselektrodin materiaalina voidaan käyttää terästä, joka voi olla joko normaalisti betoniterästä tai erityisesti elektrodikäyttöön tarkoitettua sinkittyä lattaterästä. Elektrodi on liitettävä jatkuvaksi ra-

kenteeksi hitsaamalla tai käyttämällä erityisiä jatkoksia. Betonin sisään asennettu teräs on sellaisenaan suojattu korroosiolta, mutta betonista ulos nousevat osat on korroosiosuojattava. [1, s. 7.]

Jos perustusmaadoituselektrodia ei voida käyttää, voidaan maadoituselektrodina käyttää perustusten ympäri kulkevaa elektrodia, joka asennetaan lähelle perustusten reunaa ja riittävän syvälle, jotta se ei vahingoitu helposti. Vaihtoehdoisesti voidaan käyttää vähintään 20 metriä pitkää vaakasuoraan asennettua elektrodia tai pystyelektrodeja, joiden pituuden on oltava vähintään puolet vaakaelektrodille vaaditusta pituudesta. Tällöin vierekkäisten pystyelektrodisauvojen välisen etäisyyden on oltava vähintään sauvan pituuden suuruinen. [2, s. 13.]

2.3 Potentiaalintasaus

Potentiaalintasaus tarkoittaa rakennuksen eri metalliosien ja sähköjärjestelmien yhdistämistä siten, että niiden sähköinen potentiaali eli jännite on sama tai todella lähellä toinen toistaan. Jos osat olisivat eri jännitteissä, voisi syntyä vaarallisia sähkövirtoja, jos joku koskee kahteen eri jännitteisessä olevaan metalliosaan yhtä aikaa. [1, s.8.] Potentiaalintasaus on tärkeä turvallisuuden kannalta, sillä se vähentää vaarallisten sähköiskujen riskiä ja suojaa sähköjärjestelmiä ja -laitteita vaurioilta.

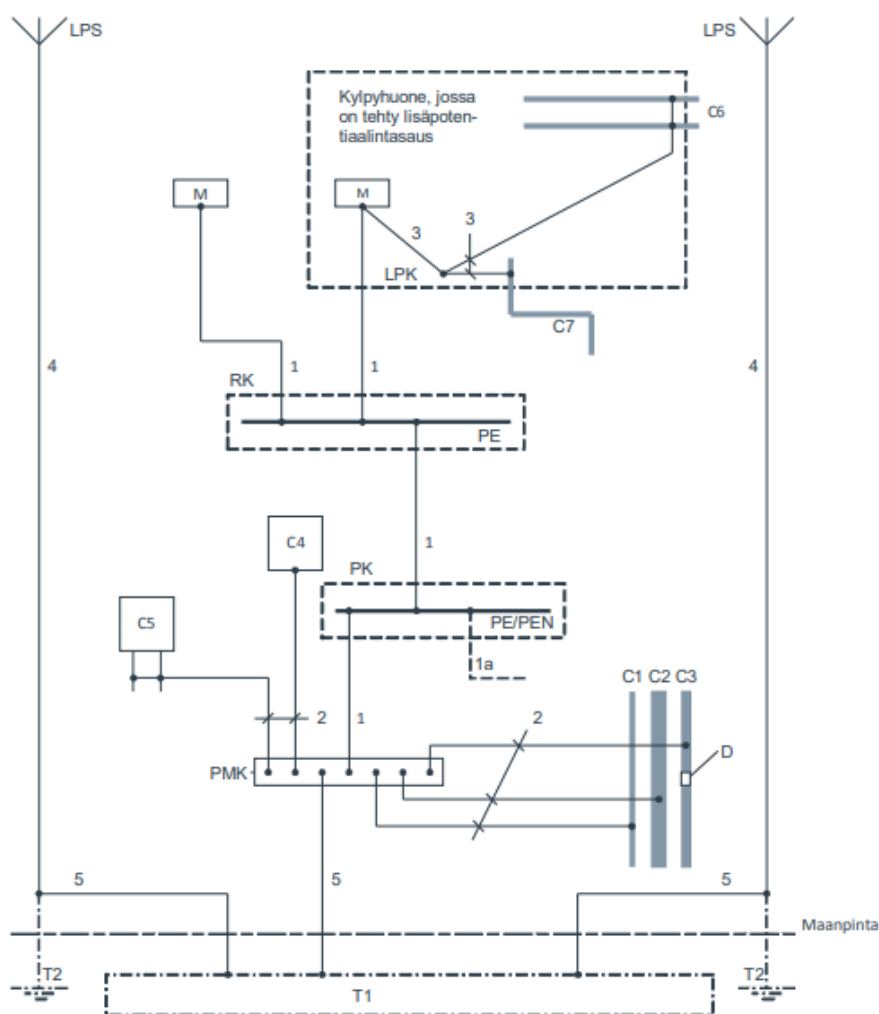
2.4 Pääpotentiaalintasaus

Pääpotentiaalintasaus yhdistää kaikki jännitteelle alttiit osat ja muut johtavat osat, jotta niiden välillä ei esiinny potentiaalieroja. Tämä on tärkeää sähköiskujen ja muiden sähköisten vaarojen ehkäisemiseksi. [1, s. 8.]

Pääpotentiaalintasausjohtimien on oltava poikki pinnaltaan vähintään puolet asennuksen suurimmasta suojamaadoitusjohtimesta, mutta kuitenkin vähintään 6 mm²:n kuparia, 16 mm²:n alumiinia tai 50 mm²:n terästä. Pääpotentiaalintasausjohtimien poikkipinnan ei kuitenkaan tarvitse olla suurempi kuin 25 mm²:n

- lääkintätilat: sairaalat ja muut terveydenhuollon tilat, joissa sähköiskun riski on erityisen suuri
- eläinsuojat: tilat, joissa eläimet voivat olla alltiina sähköiskuille. [1, s. 8.]

Lisäpotentiaalintasauksen tarkoitus on yhdistää kaikki jännitteelle alltiit osat ja muut johtavat osat, jotta niiden välillä ei esiinny potentiaalieroja. Tämä vähentää sähköiskun riskiä ja parantaa turvallisuutta. [1, s. 3.] Kuvassa 7 esitetään perusperiaate lisäpotentiaalitin kytkennästä ja taulukossa 1 on kuvan 7 selitteet.



Kuva 7. Pienjänniteasennuksen maadoitusten ja potentiaalintasausten periaatteellinen kytkentä ja tunnuksat [1, s. 3].

Taulukko 1. Kuvan 7 selitykset [1, s. 2].

| Tunnus | Nimi |
|--------|---|
| C | Muu johtava osa |
| C1 | Ulkopuolelta tuleva metallinen vesijohtoputki tai kaukolämpöputki |
| C2 | Ulkopuolelta tuleva metallinen viemäriputki |
| C3 | Ulkopuolelta tuleva kaasoputki, jossa eristävä välikappale |
| C4 | Ilmanvaihto |
| C5 | Lämmitysjärjestelmä |
| D | Eristävä välikappale |
| PK | Pääkeskus |
| RK | Jakokeskus |
| PMK | Päämaadoituskisko |
| LPK | Lisäpotentiaalitasauskisko tai -liitin |
| T1 | Betoniin tai maahan upotettu perustusmaadoituselektrodi |
| T2 | Salamasuojausjärjestelmän maadoituselektrodi tarvittaessa |
| LPS | Salamasuojausjärjestelmä (jos käytetään) |
| PE | Keskuksen PE-liitin (liittimet) |
| PE/PEN | Pääkeskuksen PE/PEN-liitin (liittimet) |
| M | Jännitteelle altis osa |
| 1 | Suojamaadoitusjohdin (PE) |
| 1a | Syöttävästä verkosta tuleva suojamaadoitusjohdin tai PEN-johdin |
| 2 | Pääpotentiaalitasausjohdin |
| 3 | Lisäpotentiaalitasausjohdin |
| 4 | Salamasuojausjärjestelmän alastulojohdin, jos sellainen on käytössä |
| 5 | Maadoitusjohdin |

Lisäpotentiaalintaus on siis tärkeä osa sähköasennusten turvallisuutta erityisesti tiloissa, joissa sähköiskun riski on suuri. Se varmistaa, että kaikki johtavat osat ovat samassa potentiaalissa, mikä vähentää sähköiskujen riskiä.

2.6 Suojamaadoitusjohdin

Suojamaadoitusjohtimen suunnittelu ja toteutus ovat keskeisiä pienjännitesähköasennusten turvallisuuden varmistamiseksi. Suojamaadoitusjohtimen tarkoituksena on estää sähköiskujen vaara varmistamalla, että jännitteelle altistuvat osat eivät pääse vaarallisesti jännitteisiksi. Suojamaadoitusjärjestelmien tulee täyttää standardin SFS 6000-5-54:2022 asettamat vaatimukset. [2, s. 1.]

Maadoitusjärjestelmien on oltava luotettavia ja niiden tulee sopia asennuksen suojausvaatimuksiin. Ne on suunniteltava kestäväksi ulkoisia olosuhteita, kuten korroosiota, kuivumista ja jäätymistä. Maadoituselektrodit ovat järjestelmän keskeinen osa, ja niiden materiaalit sekä mitoitus on valittava huolellisesti. Yleisesti käytettyjä materiaaleja ovat kupari, kuumasinkitty teräs ja ruostumaton teräs, joista jokaisella on omat minimivaatimuksensa. Esimerkiksi kuparielektrodin minimipoikkipinta-ala on 16 mm². [2, s. 9.]

Maadoituselektrodien tehokkuus riippuu niiden rakenteesta ja paikallisista maaperän olosuhteista. Elektrodit tulee valita maaperän resistiivisyyden ja vaaditun maadoitusresistanssin mukaan. Maadoituselektrodit voivat olla esimerkiksi betoniin upotettuja perustusmaadoituselektrodeja tai maahan upotettuja metallielektrodeja. [2, s. 10.]

Maadoitusjohtimien poikkipinta-ala on oltava vähintään 6 mm² kuparia tai 50 mm² terästä. Maadoitusjohtimien liitokset on tehtävä huolellisesti ja niiden on oltava sähköisesti luotettavia. Liitokset voidaan tehdä hitsaamalla, puristusliittimillä tai muilla mekaanisilla liitoksilla. Pehmeäjuotoksia ei suositella, sillä ne eivät ole riittävän kestäviä. [2, s. 10–11.]

Jokaisessa asennuksessa, jossa käytetään suojaavaa potentiaalintausausta, on oltava päämaadoituskisko tai -liitin. Päämaadoituskiskoon liitetään suojaavat

potentiaalintausjohtimet, maadoitusjohtimet, suojajohtimet ja mahdolliset toiminnalliset maadoitusjohtimet. Jokaisen liitetyn johtimen on oltava myös yksitellen erotettava, ja liitoksen on oltava mekaanisesti sekä sähköisesti luotettava. [2, s. 11.]

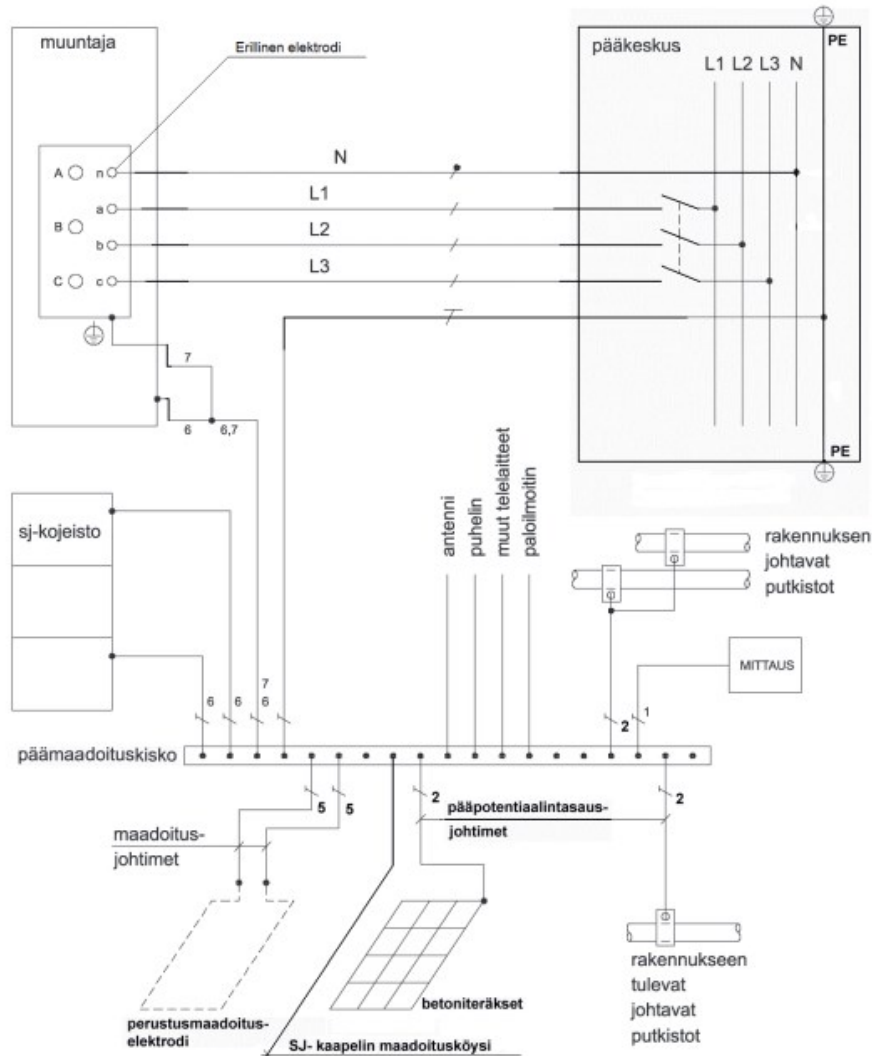
Suojajohdin on suojattava vaurioitumiselta ja sen sähköisen johtavuuden on oltava riittävä kestämaan mahdolliset virrat. Jokaisella liitoksella suojajohtimien välillä on oltava riittävä sähköinen johtavuus ja mekaaninen lujuus. Liitoksia ei saa tehdä pehmeäjuotoksella, ja niiden on oltava helposti tarkastettavissa. [2, s. 13.]

Suojamaadoitusjohtimen suunnittelussa ja toteutuksessa on otettava huomioon useita tekijöitä turvallisuuden varmistamiseksi. Huolellisesti suunniteltu ja toteutettu maadoitusjärjestelmä voi merkittävästi vähentää sähköiskujen riskiä ja parantaa sähköasennusten turvallisuutta.

3 TT-, TN- Ja IT-maadoitusjärjestelmät

3.1 TT-maadoitusjärjestelmä

TT-maadoitusjärjestelmässä (Terra-Terra) sekä jännitteelle alltiit osat että toiminnalliset maadoitusosat on maadoitettu erillisiin maadoituselektrodeihin. Tämä tarkoittaa, että tähtipisteen maadoitus ja suojamaadoitus ovat erillisiä. TT-järjestelmässä kaikki jännitteelle alltiit osat yhdistetään suojamaadoituselektrodiin, joka on yhteydessä maahan. Tähtipiste on maadoitettu vain muuntamossa, eikä jännitteelle alltiiden osien ja tähtipisteen välillä ole suoraa sähköistä yhteyttä. [1, s. 5.] Kuvassa 8 on esimerkki, kun muuntajasta syötetään TT-järjestelmää.



Kuva 8. Maadoitusten ja potentiaalintasausten kytkentäperiaate TT-järjestelmän muuntamossa ja pääkeskuksessa [1, s. 19].

TT-järjestelmässä vikavirtasuojat (RCD) ovat pääasiallinen suojausmenetelmä. Ne mahdollistavat vikavirran havaitsemisen ja katkaisevat virtapiirin vikatilanteessa, mikä estää vaarallisten kosketusjännitteiden muodostumisen. Tämä tekee TT-järjestelmästä erityisen hyödyllisen, kun tarvitaan korkea turvallisuustaso ja erillinen suojamaadoitus. Suomessa TT-järjestelmä ei ole kovin yleinen, mutta sitä käytetään laajalti Etelä-Euroopan jakeluverkoissa. [2, s. 6.]

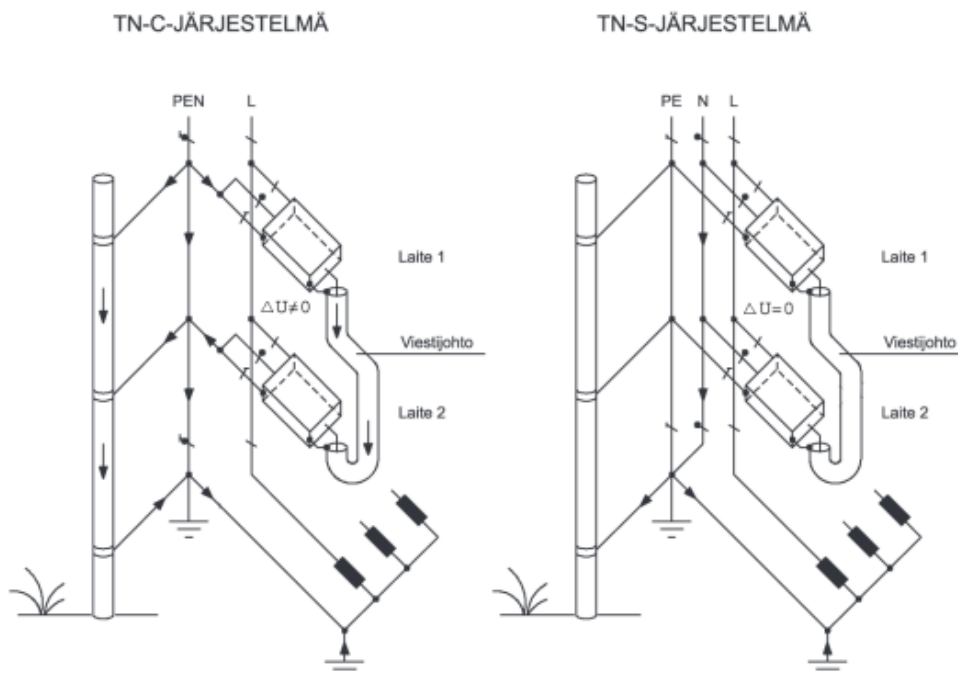
3.2 TN-maadoitusjärjestelmä

TN-maadoitusjärjestelmässä (Terra Neutral) on kolme eri alajärjestelmää: TN-C, TN-S ja TN-C-S. Yhteistä kaikille TN-järjestelmille on, että tehonsyöttöjärjestelmän nollapiste tai keskipiste on maadoitettu ja jännitteelle alttiit osat on yhdistetty suojajohtimilla tähän pisteeseen.

TN-C-järjestelmässä sama johdin toimii sekä nolla- että suojajohtimena (PEN-johto). Tämä on yksinkertainen ja taloudellinen järjestelmä, mutta jos PEN-johto katkeaa, sekä nolla- että suojamaadoitus menetetään, mikä voi aiheuttaa vaaratilanteita. [1, s. 6.]

TN-S-järjestelmässä nolla- ja suojajohtimet ovat erilliset koko järjestelmässä. Tämä lisää turvallisuutta ja vähentää mahdollisia häiriöitä. TN-S-järjestelmä on usein käytössä uusissa rakennuksissa ja asennuksissa. [2, s. 6.]

TN-C-S-järjestelmä yhdistää TN-C- ja TN-S-järjestelmien piirteet. PEN-johto jaetaan erillisiksi PE- ja N-johdoiksi jakelupisteessä, mikä tarjoaa kustannustehokkuutta ja parantaa samalla turvallisuutta. [2, s. 6.] Kuvassa 9 esitetään TN-C- ja TN-S-järjestelmien eroavaisuudet häiriön suojauksessa.



Kuva 9. TN-C- ja TN-S-järjestelmän erot häiriösuojauksen ja häiriövirtojen kannalta [1, s. 5].

TN-järjestelmän etuna on sen tehokkuus ja luotettavuus vikasuojauksessa. Viikapiirin impedanssi on yleensä pieni, mikä mahdollistaa suojalaitteiden nopean toiminnan ja vähentää vaarallisia kosketusjännitteitä. TN-S-järjestelmä on erityisen suositeltava silloin, kun halutaan välttää häiriöitä ja varmistaa korkea turvallisuustaso. [4, s. 10.]

3.3 IT-maadoitusjärjestelmä

IT-maadoitusjärjestelmässä (Isolated Terra) jännitteiset osat on erotettu maasta tai ne on kytketty maahan suuren impedanssin kautta. IT-järjestelmän erityispiirteenä on, että yksittäinen vika maahan ei aiheuta suurta vikavirtaa, mikä mahdollistaa sen, että syöttöä ei tarvitse välittömästi katkaista. Tämä tekee IT-järjestelmästä erittäin luotettavan erityisolosuhteissa, kuten sairaaloissa ja teollisuuslaitoksissa, joissa jatkuvuus on kriittistä. [5, s. 27.]

IT-järjestelmän etuna on sen kyky minimoida vikavirrat ja mahdollistaa sähköjärjestelmän toiminnan jatkuminen ensimmäisen vian sattuessa. Tämä järjestelmä

käyttää eristystilan valvontalaitteita (IMD), jotka valvovat jatkuvasti järjestelmän eristystilaa ja antavat hälytyksen ensimmäisen vian sattuessa. Toisen vian sattuessa syöttö katkaistaan automaattisesti, jos se aiheuttaa vaarallisen tilanteen. [4, s. 19.]

4 Maadoituksen suunnittelu

4.1 Maadoituselektrodin mitoitus

Maadoituselektrodin mitoitus on keskeinen osa sähköasennusten turvallisuutta ja luotettavuutta. Mitoitus varmistaa, että elektrodi kestää siihen kohdistuvat sähköiset, mekaaniset ja kemialliset rasitukset. Yleisimmin käytetyt materiaalit ovat kupari, kuumasinkitty teräs ja ruostumaton teräs, joiden minimipoikkipinnat ja mitat on esitetty taulukossa 2. [2, s. 9.]

Taulukko 2. Maadoituselektrodien minimimitat [2, s.9].

| Materiaali | Poikkipinta-ala mm ² | Halkaisija \varnothing mm | Minimipaksuus mm | Korroosiosuojauksen paksuus μm |
|--|---------------------------------|-----------------------------|------------------|---|
| Kupari | 16 | - | 1,6 | - |
| Kuumasinkitty teräs | 90 | 10 | 3 | 45 |
| Ruostumaton teräs | 90 | 10 | 3 | - |
| Betoniin upotettu teräs | 90 | 10 | 3 | -b |
| Kuparivai-palla varustettu teräs | - | 15 | - | 2000 |
| Sähköisesti kuparilla päällystetty teräs | - | 14 (vaakatasossa 10) | - | 250 (vaakaelektrodilla 70) |

Maadoituselektrodin mitoituksessa huomioidaan paikalliset maaperän olosuhteet, kuten pH-arvo, resistiivisyys ja kosteus. Näiden tekijöiden perusteella valitaan sopivin elektrodi, joka varmistaa pienen maadoitusresistanssin ja hyvän yhteyden maahan. Lisäksi on otettava huomioon mahdolliset vaihtovirta- ja tasavirtaiset hajavirrat sekä kemiallinen huononeminen ja erilaiset materiaalit läheisyydessä. [2, s. 10.]

Maadoituselektrodin minimipoikkipinta on standardin mukaisesti yleensä vähintään 16 mm² kuparia tai 10 mm halkaisijaltaan olevaa ruostesuojattua terästä. Suomessa käytettävä kuparijohtimen minimipoikkipinta on 16 mm², mikä on pienempi kuin kansainvälisten standardien yleensä vaatima 25 mm². Tämä pienempi poikkipinta-ala on todettu riittäväksi Suomen maaperässä, mutta tärkeissä kohteissa on suositeltavaa käyttää isompaa, vähintään 25 mm² poikkipintaa. Salamasuojauksen takia tehtävän elektrodin poikkipinnan tulee standardin EN 62305-3 mukaan olla yleensä 50 mm² ja minimissään 25 mm² kuparia [1, s. 8.]

Maadoituselektrodin liitosten on oltava sähköisesti ja mekaanisesti luotettavia. Liitokset voidaan tehdä hitsaamalla, puristusliittimillä tai muilla mekaanisilla liitoksilla. Metallilangalla sitomalla tehtyjä liitoksia ei pidetä riittävänä luotettavina suojaustarkoituksiin. Maadoitusjohtimien poikkipinta-alan on oltava vähintään 6 mm² kuparia tai 50 mm² terästä, ja maahan upotettujen maadoitusjohtimien poikkipintojen on oltava standardin mukaisia. Jos maadoitusjärjestelmässä käytetään eri materiaaleja, elektrolyyttinen korroosio on otettava huomioon. Betoniin upotetun perustusmaadoituselektrodin ja ulkopuolisten johtimien liitokset on suunniteltava huolellisesti, jotta korroosiolta vältytään. [2, s. 13.]

Maadoituselektrodin mitoitus on monivaiheinen prosessi, jossa otetaan huomioon materiaalin valinta, paikalliset maaperäolosuhteet ja elektrodin sijoituspaikka. Asianmukaisesti mitoitettu ja asennettu maadoituselektrodi varmistaa sähköasennusten turvallisuuden ja luotettavuuden sekä minimoi sähköiskujen ja

muiden vaarojen riskin. Huolellisesti toteutetut liitokset ja riittävä korroosiosuojaus ovat keskeisiä tekijöitä pitkäikäisen ja tehokkaan maadoitusjärjestelmän toiminnassa. [2, s. 14.]

4.2 Suojamaajohtimien mitoitus

Suojajohtimien mitoitus on olennainen osa sähköasennusten turvallisuuden varmistamista. Suojajohtimen tehtävänä on johtaa vikatilanteessa virrat turvallisesti maahan ja estää vaarallisten jännitteiden syntyminen laitteen rungossa tai muissa metallisissa osissa. Suojajohtimien mitoituksessa otetaan huomioon useita tekijöitä, kuten johtimen materiaali, poikkipinta-ala ja ympäristöolosuhteet.

Suojajohtimen poikkipinta-ala määritetään joko laskemalla tai valitsemalla taulukon 3 mukaisesti [2, s. 12]. Taulukosta 3 nähdään suojajohtimien minimipoikkipinnat.

Taulukko 3. Suojajohtimien minimipoikkipinnat [2, s.12].

| Äärijohdinten poikkipinta S mm ² kuparia | Vastaavan suojajohtimen minimipoikkipinta mm ² kuparia | |
|---|---|--|
| | Suojajohdin on samaa materiaalia kuin äärijohdin | Suojajohdin on eri materiaalia kuin äärijohdin |
| $S \leq 16$ | S | $\frac{K_1}{K_2} * S$ |
| $16 < S \leq 35$ | 16^a | $\frac{K_1}{K_2} * 16$ |
| $S > 35$ | $\frac{S}{2}^a$ | $\frac{K_1}{K_2} * \frac{S}{2}$ |

Suojajohtimen poikkipinta-ala voidaan myös laskea käyttäen laskukaavaa. Kaavaa voidaan käyttää vain, jos poiskytkentäaika on enintään 5 sekuntia.

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

S on suojajohtimen poikkipinta (mm²).

I on suojalaitteen kautta kulkeva prospektiivisen vikavirran tehollisarvo (A).

t on suojalaitteen toiminta-aika (s).

k on kerroin, jonka arvo riippuu suojajohtimien materiaalista, eristyksestä ja muusta rakenteesta sekä johtimelle sallituista alku- ja loppulämpötiloista. [2, s. 12.]

4.3 Suojajohtimien materiaali

Suojajohtimen materiaalin valinta vaikuttaa merkittävästi sen johtokykyyn ja kestävyteen. Yleisimmät suojajohtimien materiaalit ovat kupari ja alumiini. Luvun 4.2 taulukosta 3 nähdään, että suojajohtimen poikkipinta on eri riippuen siitä, onko suojajohdin samaa vai eri materiaalia kuin äärijohdin. Jos suojajohdin on samaa materiaalia kuin äärijohdin, poikkipinta on pienempi ja jos suojajohdin on eri materiaalia, poikkipinta on suurempi johtuen materiaalien eri johtokyvyistä. [2, s. 12.]

Suojajohtimen on oltava mekaanisesti ja kemiallisesti suojattu, jotta se kestää käyttöolosuhteiden aiheuttamat rasitukset. Tämä tarkoittaa, että suojajohdin tulee suojata mekaaniselta vaurioitumiselta, kemialliselta huononemiselta sekä sähködynaamisilta ja termodynaamisilta voimilta. Suojajohtimen liitokset on myös tehtävä siten, että ne säilyttävät sähköisen johtavuuden ja mekaanisen lujuuden. Liitoksia ei saa tehdä pehmeäjuotoksella, sillä se ei ole riittävän kestävä menetelmä. [2, s. 13.]

Maadoituksen suojajohdin voi myös olla erillään, eli jos suojajohdin ei ole kaapelin sisällä tai äärijohdin ei ole samassa asennusputkessa, sen minimipoikkipinta-alan on oltava vähintään $2,5 \text{ mm}^2$ kuparia tai 16 mm^2 alumiinia, kun suojajohdin on mekaanisesti suojattu. Jos sillä ei ole mekaanista suojausta, niin minimipoikkipinta-alan on oltava vähintään 4 mm^2 kuparia tai 16 mm^2 alumiinia. [2, s. 12.]

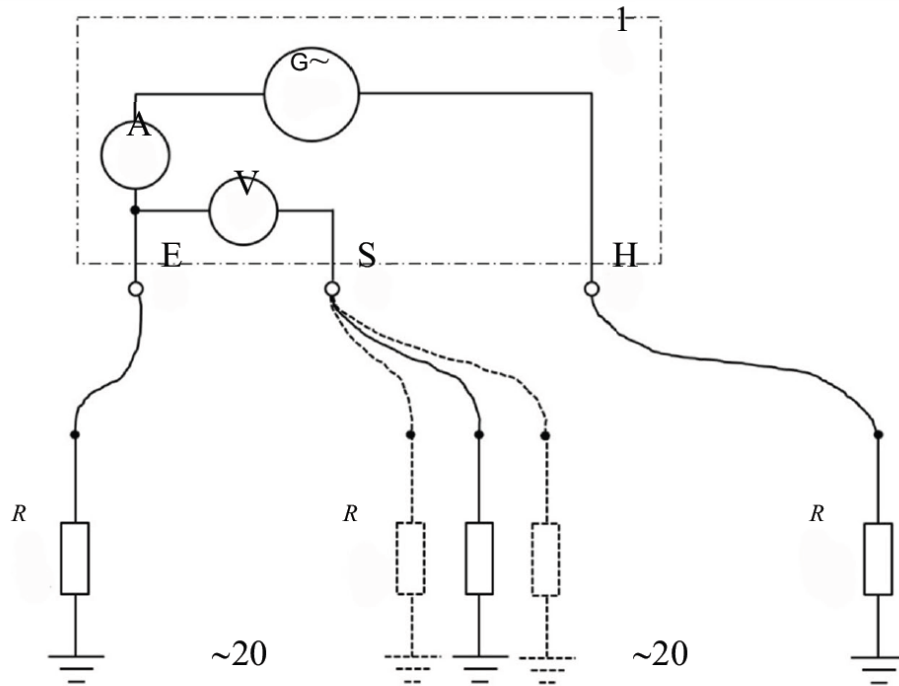
Suojajohtimien mitoituksessa täytyy muistaa ottaa huomioon johtimen asennustapa, poikkipinta-ala ja materiaali sekä mekaaninen- että kemiallinen suojaus.

Kun kaikki nämä muistetaan laittaa kuntoon, niin varmistetaan, että suojajohtimet toimivat luotettavasti ja turvallisesti kaikissa käyttöolosuhteissa estäen vaarallisten jännitteiden syntymisen vikatilanteissa.

5 Maadoituksen mittaus

5.1 Maadoitusresistanssin mittausmittausmenetelmät

Maadoitusresistanssin mittauksessa käytetään kolmea eri menetelmää: C1, C2 ja C3. Menetelmä C1 perustuu siihen, että vakioarvoinen vaihtovirta kulkee maadoituselektrodin (E) ja tilapäisen apuelektrodin (H) välillä. Mittauselektrodi (S) asetetaan E:n ja H:n puoliväliin, ja mitataan jännitteenalenema E:n ja S:n välillä. Maadoituselektrodin resistanssi saadaan jakamalla mitattu jännite E:n ja H:n välillä kulkevalla virralla. Tarkkuuden varmistamiseksi S-elektrodi siirretään ja mittaus toistetaan useita kertoja. [6, s. 22.] Kuvassa 10 on esimerkkipiirros maadoituselektrodin resistanssin mittauksesta.



Kuva 10. Maadoituselektrodin resistanssin mittaaminen [6, s. 23].

Kuvan 10 selitykset

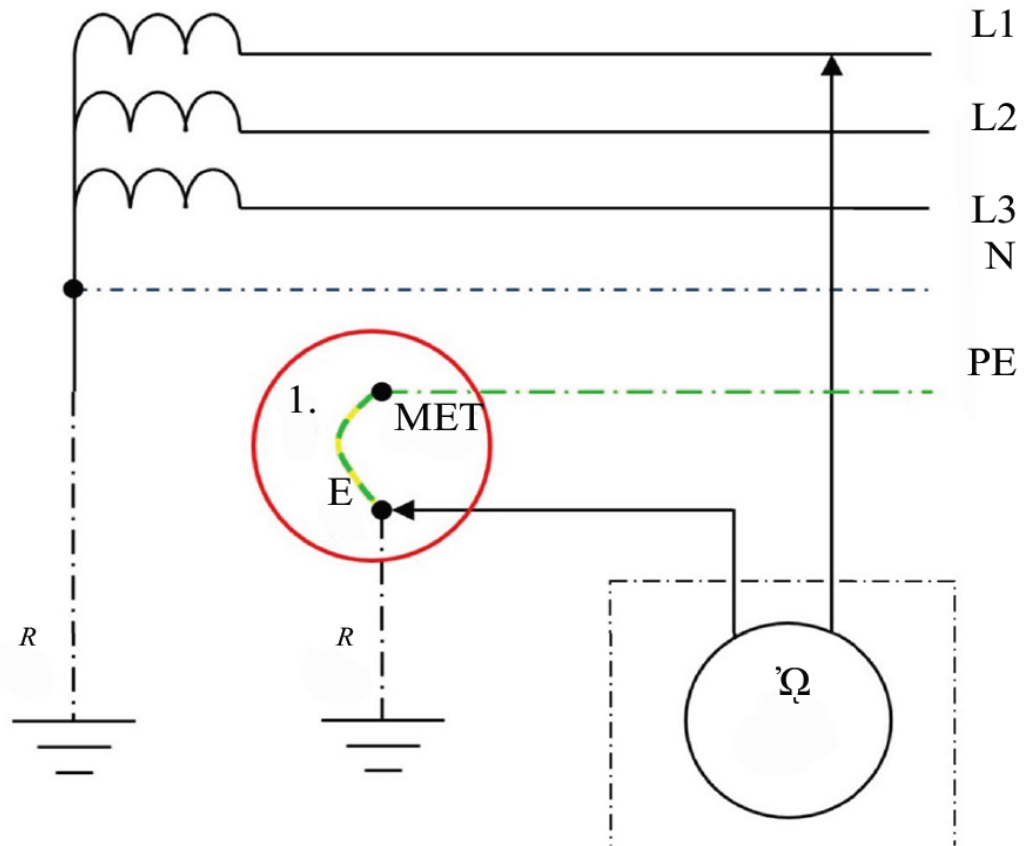
1 = SFS-EN 61557-5 mukainen maadoituselektrodin mittalaite.

R_E = Maadoituselektrodin resistanssi.

R_S = Tilapäisen mittauselektrodin resistanssi (jännite).

R_H = Tilapäisen apumittauselektrodin resistanssi (virta). [6, s. 23.]

C2-menetelmä käyttää vikavirtapiiriin impedanssin mittauslaitetta maadoituselektrodin impedanssin mittaamiseen. Tämä tehdään asennuksen liittymispisteessä, ja testilaite kytketään pääkytkimen jännitteiselle puolelle samalla kun maadoitus on irrotettu päämaadoituskiskosta. Mittauslaitteella saatu arvo antaa hyvän likiarvon maadoituselektrodin resistanssille. [6, s. 23.] Kuva 11 on esimerkki TT-järjestelmän maadoituselektrodin resistanssin mittaamisesta.

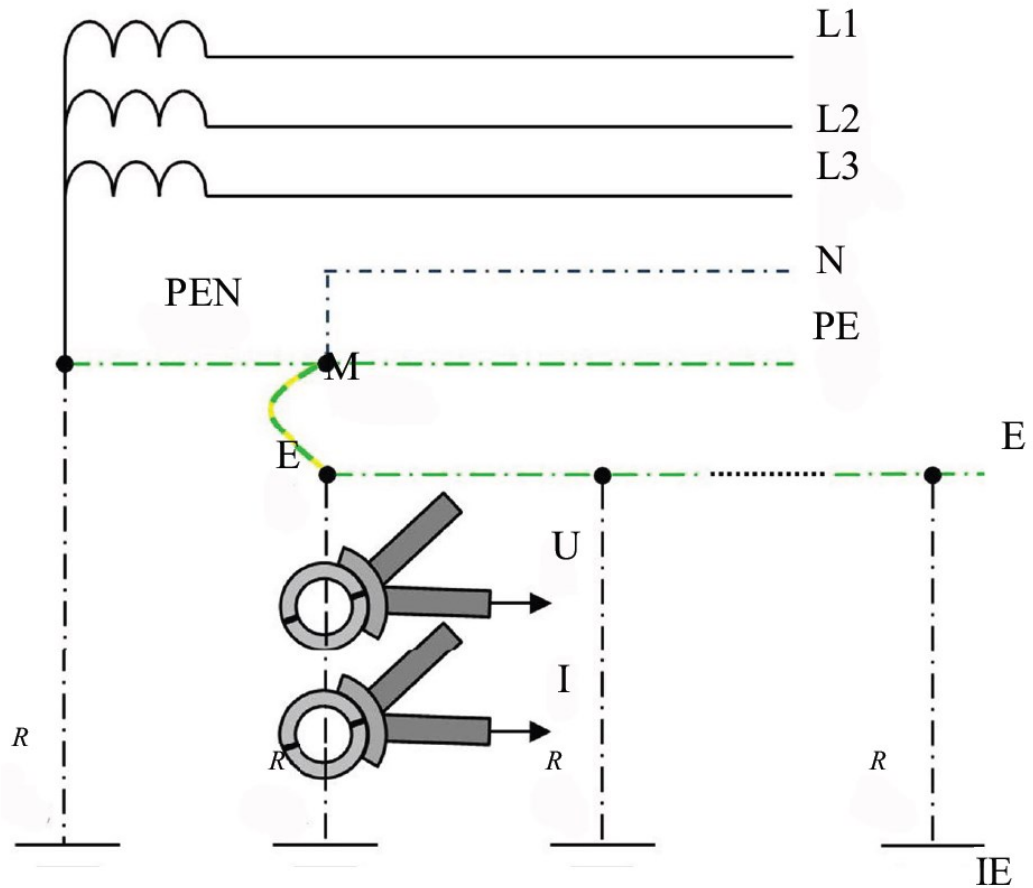


Kuva 11. TT-järjestelmän maadoituselektrodin resistanssin mittaaminen käyttäen vikavirtapiirin impedanssin mittauslaitetta [6, s. 24].

Kuvan 11 selite:

1 = Maadoitusjohdin irrotetaan tilapäisesti päämaadoituskiskosta [6, s. 24].

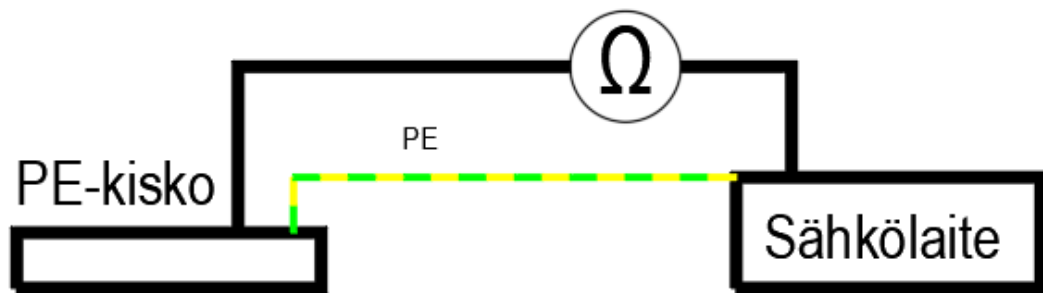
Kolmas menetelmä C3 käyttää virtapihtejä maapiirin resistanssin mittaamiseen erityisesti verkkomaisissa maadoitusjärjestelmissä. Ensimmäinen virtapihti indusoi mittausjännitteen (U) piiriin ja toinen mittaa piirin virran (I). Resistanssi lasketaan jakamalla jännite virralla. Tämä menetelmä soveltuu erityisesti TN- ja TT-järjestelmiin, ja TT-järjestelmissä voidaan tarvittaessa käyttää lyhytaikaista liitintä mittauksen ajaksi. [6, s. 25.] Kuvasta 12 näkyy esimerkki C3-menetelmän mittauksesta.



Kuva 12. Maapiirin resistanssien mittaaminen virtapihdeillä [6, s. 25].

5.2 Maadoituksen jatkuvuus

Jatkuvuuden testaaminen ja mittaaminen ovat tärkeitä sähköasennusten turvallisuuden varmistamiseksi. Testauksessa tarkistetaan erityisesti suojajohtimen jatkuvuus, mikä tarkoittaa sitä, että suojajohdin on sähköisesti yhdistetty koko järjestelmän läpi. Tämä varmistetaan mittaamalla suojajohtimen resistanssi. [7, s. 343.] Kuvassa 13 on esimerkki suojajohtimen jatkuvuuden mittauksesta.



Kuva 13. suojajohtimen jatkuvuuden mittaus [7, s. 343].

Testauksen tavoitteena on varmistaa, että suojajohtimen resistanssi on hyväksyttävällä tasolla, yleensä enintään noin yhden ohmin verran, vaikka pitkissä suojajohtimissa arvo voi olla suurempikin. Jos mitattu resistanssi poikkeaa merkittävästi arvioidusta arvosta, tulee poikkeaman syy selvittää ja korjata. [7, s. 343.]

Testaus suoritetaan yleensä laitteiston pääpotentialintasauskiskosta alkaen ja edetään säteittäin keskuskohtaiseen testaukseen. On tärkeää varmistaa, että mitattava johdin on suojajohdin, mikä voidaan tehdä esimerkiksi irrottamalla nol-lajohdin mittauksen ajaksi. Jatkuvuus varmistetaan laitekohtaisesti käyttäen standardin mukaisia mittausvälineitä ja -menetelmiä. [7, s. 343.]

5.3 Sähkölaitteiston eristysvastusmittaus

Eristysresistanssimittauksella varmistetaan sähköasennusten jännitteiset osat maadoitetuksi. Mittaus suoritetaan eristysresistanssimittarilla ennen laitteiston käyttöönottoa jännitteettömässä asennuksessa. Mittauksen aikana kuormittajien ei tarvitse olla kytkettyinä verkkoon. Mikäli mittaus halutaan suorittaa jännitteisenä, tällöin kuormien tulee olla irrotettuina, sillä se voi vaurioittaa elektronisia laitteita. [7, s. 345–346.]

Mittaus voidaan tehdä pääkeskuksesta siten, että se kattaa koko asennuksen, mutta yleensä se suoritetaan keskuksittain. Tämä on erityisen tarpeellista, jos osa sähkölaitteistosta otetaan käyttöön ennen lopullista valmistumista. Kun alue tai osa on jo mitattu eikä siihen lisätä uusia johtoja, niin ei mittausta tarvitse uusia. [7, s. 345.]

Eristysresistanssin mittauksen kattavuuden varmistamiseksi tulee mekaanisten kytkimien, kuten pääkytkimien ja ryhmäjohtojen johdonsuojakatkaisijoiden, olla I-asennossa ja sulakkeiden paikoillaan. Virtapiirit, joita kontaktorit tai vastaavat laitteet erottavat, mitataan erikseen. [7, s. 345.]

Pienissä sähköasennuksissa koko asennuksen eristysresistanssi voidaan mitata kerralla. Jos arvo on sallittua pienempi, ei tarvitse tehdä lisämittauksia. Jos eristysresistanssiarvo on liian pieni, virtapiirit jaetaan pienempiin ryhmiin ja mitataan erikseen. Jos arvo ei ole hyväksyttävä, vika selvitetään, korjataan ja mitaus tehdään uudelleen. [7, s. 345.]

Eristysresistanssin mittauksen vaiheet:

1. Tee laitteisto jännitteettömäksi.
2. Varmista, ettei nollapirin ole kytketty jännitteisiä laitteistoja.
3. Varmista jännitteettömyys.
4. Varmista, että mitattavalla alueella olevat nousujen kytkimet ovat kiinni ja varokkeet ovat paikallaan.
5. Irrota tarvittaessa N-PE-yhdistys tai nollajohto.
6. Tee mittauskytkennät.
7. Suorita mittaus. Mikäli mittaustulos ei ole hyväksyttävä, selvitä mistä tämä johtuu.
8. Palauta laitteisto toimintakuntoon päinvastaisessa järjestyksessä. [7, s. 346.]

6 Erikoistapaukset

6.1 Erikoisvaatimukset sairaalatiilojen maadoittamisessa

Sairaalatiilojen sähköasennuksissa maadoittamisella ja potentiaalintasauksella on erityisvaatimuksia, jotka ovat huomattavasti tiukemmat kuin tavallisissa pienjännitekiinteistöissä. Tämä johtuu siitä, että sairaalatiiloissa käytetään herkästi häiriintyviä lääkintälaitteita. Terveystieteiden alan rakennuksissa käytetään TN-S-järjestelmää koko sähköasennuksessa mukaan luettuna pääkeskukset, mikä on nykyään tavallista jo muissakin rakennuksissa. Joissakin pienissä saneerauskohteissa, kuten kotihoidon ja hammaslääkäritilojen yhteydessä, saattaa riittää, että hoitolaitteiden syötöt tehdään TN-S-järjestelmää käyttäen ja asennus suojataan enintään 30 mA:n vikavirtasuojalla. Laitevalmistajan ohjeiden mukaan voidaan käyttää myös esimerkiksi laitekohtaisia suojaerotusmuuntajia. [8, s. 6.]

Potentiaalintasausjärjestelmän on varmistettava, että kaikilla metallisilla osilla, joihin potilas voi koskea, on sama potentiaali, jotta vältetään vaaralliset kosketusjännitteet. Ryhmän 1 tiloissa, kuten potilashuoneissa, lisäpotentiaalintasaukseen yhdistettäviä muita johtavia osia ovat yleensä vesi-, lämpö-, ilma-, viemäri, kaasu- ja imujärjestelmien putkistot, jos ne ulottuvat hoitoalueelle. Potentiaalintasauksessa käytetään myös johtokanavien metallisia runkoja ja muita vastaavia osia. Erityistä huomiota kiinnitetään myös pesualtaan ympäristön putkistoihin, joissa potentiaalintasaus voidaan tehdä välikatossa. [8, s. 12.]

Tavallisissa kiinteistöissä suojamaadoituksen ja potentiaalintasauksen tarkoituksena on suojata käyttäjiä sähköiskuilta ja estää sähkölaitteiden vaurioituminen. Potentiaalintasaus varmistaa, että sähkölaitteiden rungot ja muut johtavat osat ovat saman potentiaalintasolla, mikä estää sähköiskut. Sairaalatiiloissa vaatimukset ovat kuitenkin paljon tiukemmat, koska potilaiden hoitoon käytettävät laitteet ovat usein kriittisiä ja herkkiä sähkömagneettisille häiriöille. [8, s. 14.]

Sairaalatiloissa potentiaalintasausjärjestelmä on suunniteltava huolellisesti, jotta varmistetaan kaikkien kriittisten laitteiden toiminta. Erityistä huomiota kiinnitetään myös häiriösuojaukseen ja ylijännitesuojaukseen. Sähkölaitteiden sähkömagneettisten häiriöiden ehkäisemiseksi käytetään erilaisia suojausmenetelmiä, kuten häiriösuojia, ylijännitesuojia ja suodattimia. Lisäksi kaapeleiden metallivai-pat yhdistetään potentiaalintasaukseen ja käytetään konsentrisella johtimella varustettuja kaapeleita. [8, s. 14.]

Sairaalatilojen sähköasennusten maadoittamisessa ja potentiaalintasausjärjestelmissä on erityisvaatimuksia, jotka eroavat huomattavasti tavallisten kiinteistöjen vaatimuksista. Näiden vaatimusten täyttäminen edellyttää huolellista suunnittelua, jatkuvaa valvontaa ja säännöllisiä tarkastuksia, jotta varmistetaan potilaiden turvallisuus ja kriittisten lääkintälaitteiden moitteeton toiminta.

6.2 Maadoittamisen erikoisvaatimukset ATEX-tiloissa

Räjähdyksivaarallisissa tiloissa eli ATEX-tiloissa maadoittaminen ja potentiaalintasaus eroavat merkittävästi tavallisten kiinteistöjen vaatimuksista. Näissä tiloissa on erityisen tärkeää, että sähkölaitteet eivät normaalikäytössä eivätkä edes vioittuessaan aiheuta tilannetta, jossa voisi syntyä vaarallista kipinöintiä. Tämä johtuu siitä, että räjähdysvaaralliset ilmaseokset voivat syttyä erittäin helposti, mikä aiheuttaa vakavan turvallisuusrisikin. [9, s. 5.]

ATEX-tiloissa suojamaadoituksen ja potentiaalintasausjärjestelmän vaatimukset ovat tiukemmat kuin tavallisissa tiloissa. Käytettäessä TN-järjestelmää on käytettävä TN-S-järjestelmää, jossa nolla- ja suojajohtimen välinen eristysresistanssi mitataan ennen käyttöönottoa. Tämä varmistaa, ettei suojajohtimessa ole vaarallisia jännite-eroja, jotka voisivat aiheuttaa kipinöintiä ja siten sytyttää räjähdysvaarallisen ilmaseoksen. [9, s. 6.]

Potentiaalintasaus ATEX-tiloissa tarkoittaa eri sähkölaitteiden jännitteelle alttiiden osien ja muiden johtavien osien yhdistämistä toisiinsa siten, että niiden välille ei voi syntyä jännite-eroa esimerkiksi ukkoson, staattisen sähkön tai harha-

virtojen takia. Potentiaalintasausjärjestelmä voi koostua suojajohtimista, metallisista suojaputkista, metallisista kaapelivaipoista sekä metallirakenteiden osista. Kaikkien liitosten tulee olla varmistettuja, eivätkä ne saa löystyä. Jos kaapelin suojavaippa on maadoitettu vain räjähdysvaarallisen tilan ulkopuolella, tämä maadoituspaikka on yhdistettävä räjähdysvaarallisen tilan potentiaalintasausjärjestelmään. [9, s. 6.]

Tavallisissa kiinteistöissä suojamaadoituksen ja potentiaalintasauksen vaatimukset eivät ole yhtä tiukat kuin ATEX-tiloissa. Tavallisessa kiinteistössä suojamaadoituksen tarkoituksena on suojata käyttäjiä sähköiskuilta ja estää sähkölaitteiden vaurioituminen. Potentiaalintasaus varmistaa, että sähkölaitteiden rungot ja muut johtavat osat ovat saman potentiaalilin tasolla, mikä estää sähköiskut.

ATEX-tiloissa suojamaadoituksen ja potentiaalintasausjärjestelmän on kuitenkin kestettävä huomattavasti kovempia vaatimuksia johtuen räjähdysvaarallisista olosuhteista. Sähkölaitteiden on oltava sellaisia, että ne eivät aiheuta kipinöintiä normaalikäytössä eivätkä vikatilanteissa. Tämä vaatii tiukempia materiaali- ja rakenteellisia vaatimuksia sekä kattavia testauksia ja tarkastuksia ennen laitteiden käyttöönottoa. [9, s. 6, 17.]

Maadoittaminen ja potentiaalintasaus ATEX-tiloissa vaativat erityishuomiota ja tiukkojen standardien noudattamista, jotta räjähdysvaarallisten ilmaseosten syntyminen voidaan estää. Näiden vaatimusten täyttäminen eroaa merkittävästi tavallisten kiinteistöjen vaatimuksista, ja ne edellyttävät erityistä tarkkuutta sekä jatkuvaa valvontaa ja huoltoa.

6.3 Toiminnallinen maadoitus

Jotkin elektroniset laitteet tarvitsevat lisämaadoituksen, jotta saadaan häiriötön toiminta. Tämä toiminnallinen maadoitus tehdään laitteen toiminnan takaamiseksi, eikä sitä ole tarkoitettu yksinään suojaamaan laitetta. Toiminnallista maadoitusta tehdessä ei saa käyttää johdinväriä keltavihreää, koska se ei

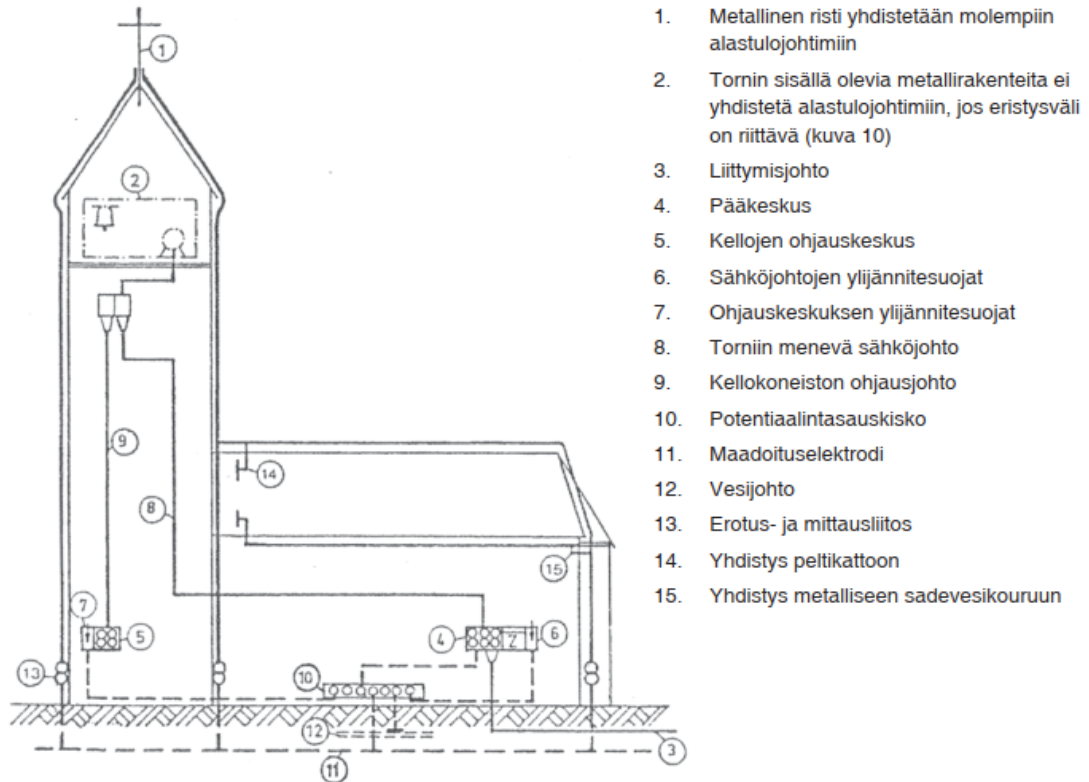
täytä suojamaadoituksen vaatimuksia. Toiminnallisen maadoituksen tunnusvärinä käytetään vaaleanpunaista. Suojamaadoitus ja toiminnallinen maadoitus on kuitenkin mahdollista yhdistää, kunhan suojamaadoituksen vaatimukset täyttyvät. Toiminnallisesta maadoituksesta käytettiin ennen lyhennettä TE, mutta nykyään käytetään lyhennettä FE. [2, s. 28.]

6.4 Salamasuojaus

Salamasuojausjärjestelmä rakentuu ukkosenjohtimista, ukkosjohdoista ja maadoitusjärjestelmästä. Seuraavassa on esitetty salamasuojausjärjestelmän pääkomponentit ja niiden toiminnallisuus:

- Ukkosenjohtimet, jotka keräävät mahdollisen suoran salamaniskun. Suojaustapoja ovat suojauskulmamenetelmä, verkkomenetelmä ja suoja-alue menetelmä. [10, s. 3–4.]
- Ukkosjohdot, jotka johtavat salamavirran ukkosenjohtimista maadoitusjärjestelmään. Ukkosjohtimia on oltava vähintään kaksi, ja niiden poikkipinta-alan on oltava vähintään 35 mm² kuparia tai vastaava. [10, s. 4.]
- Maadoitusjärjestelmä, joka sisältää johdot, kiskot, elektrodit ja erilaiset mekaaniset suojat ja kiinnitystarvikkeet. Maadoitusjärjestelmän impedanssin tulee olla mahdollisimman pieni, alle 20 Ω. [10, s. 45.]

Salaman vangitsijana voivat toimia tangot, ripustetut johtimet, verkkorakenteet tai näiden yhdistelmät. Sieppaustangon tai kattojohtimen etäisyys katosta vaihtelee 50–400 mm riippuen katemateriaalin syttyvyydestä. [10, s. 10.] Kuvassa 14 on esimerkki kirkon salamasuojauksesta.



Kuva 14. Kirkon salamasuojauksen periaatteet [11, s. 17].

Alastulojohtimien tulee olla mahdollisimman lyhyitä ja suorita ja salamavirroilla tulee olla vähintään kaksi reittiä maahan. Niiden minimipoikkipinta-alat (mm^2) on määritelty taulukossa 4. Muita ukkossuojaurakenteita ovat esimerkiksi katot, vedenohjausjärjestelmät ja tikas- ja putkirakenteet. [10, s. 11.]

Taulukko 4. Katto- ja alastulojohtimien pienimmät poikkipinta-alat [10, s. 11].

| Materiaali | Tavalliset rakennukset (mm^2) | Arvorakennukset (mm^2) |
|---------------|--|-----------------------------------|
| Kupari (Cu) | 16 | 35 |
| Rauta (Fe) | 35 | 50 |
| Alumiini (Al) | 50 | 50 |

6.5 Eläintilojen maadoitus

Eläimet ovat erityisen herkkiä sähköiskujen vaikutuksille, minkä vuoksi eläinsuojille on asetettu tiukemmat suojausvaatimukset. Suojaavan potentiaalintasauksen tarkoituksena on vähentää eläimen kehoon vaikuttavaa jännitettä, joka voi syntyä eläimen koskettaessa samanaikaisesti kahta eri jännitteistä osaa. Tässä yhteydessä maadoitus ja potentiaalintasaus ovat keskeisiä eläintilojen turvallisuuden ja eläinten hyvinvoinnin kannalta. [12, s. 1.]

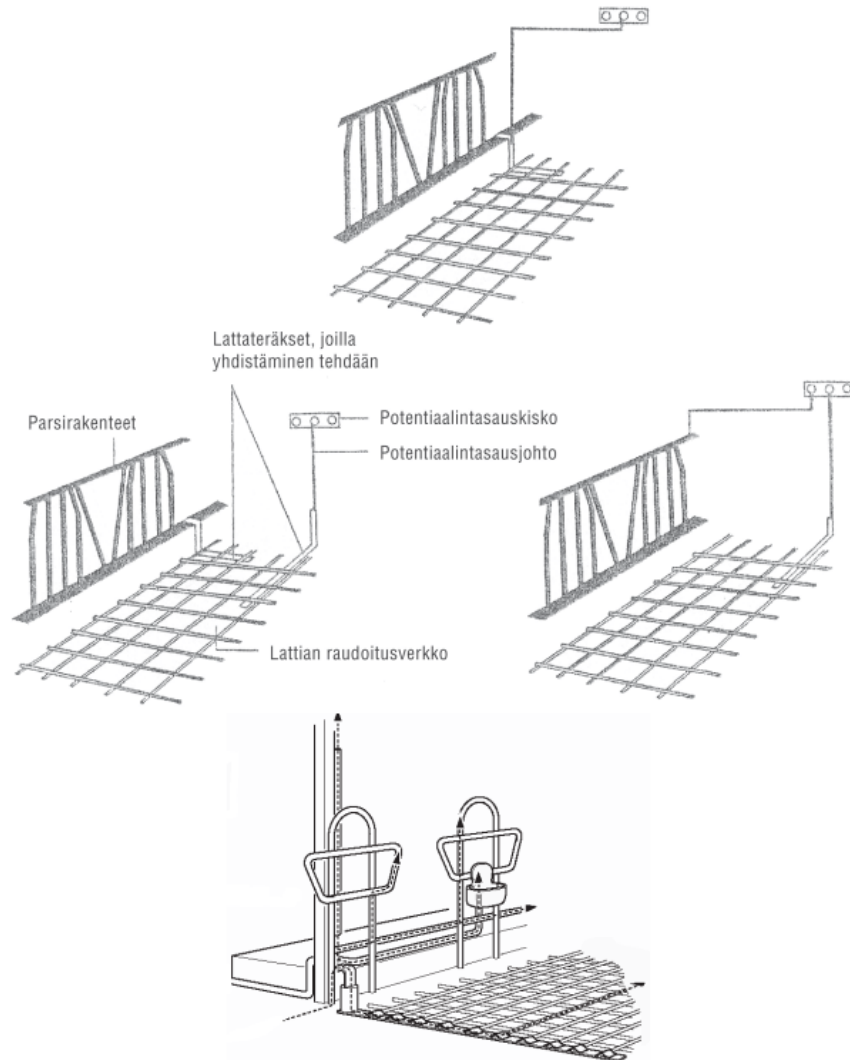
Eläintiloissa voi olla vaikeaa estää eläimiä koskettelemasta johtavia rakenteita, kuten metallisia rakennusmateriaaleja, parsia ja erilaisia järjestelmiä. Näiden osien tulee olla osa suojajärjestelmää, joka estää vaarallisten kosketusjännitteiden syntymisen. Kosketusjännitteen ylärajaksi suositellaan 25 voltia, mutta jopa pienemmät jännitteet voivat aiheuttaa ongelmia eläimille, kuten juomahaltomuutta ja tuotannon heikkenemistä. [12, s. 2.]

Potentiaalintasausjärjestelmässä kaikki eläinten kosketeltavissa olevat johtavat osat yhdistetään luotettavasti toisiinsa. Näitä ovat muun muassa lattia-, parsi- ja karsinarakenteet, juomakupit putkistoiheen sekä lypsykoneen ja lannanpoistojärjestelmän putkistot. Näin muodostettu yhtenäinen järjestelmä liitetään maadoitusjohtimilla eläinsuojan potentiaalintasauskiskoon, joka yhdistetään ryhmäkeskukseen. Tällä tavoin varmistetaan, etteivät vuotovirrat ja vikatapaukset aiheuta eläimille vaarallisia jännite-eroja. [12, s. 3.]

Lattian potentiaalintasaus on tärkeä osa kokonaisjärjestelmää. Betoniraudoitusverkot tulee yhdistää toisiinsa koko alueella, jolla eläimet liikkuvat. Yhdistämiseen suositellaan hitsausta, koska sitominen ei ole yhtä luotettava menetelmä. Verkkojen silmäkooksi sopii esimerkiksi 150 mm x 150 mm ja langan paksuudeksi 5 mm. Kaikki raudoitusverkot tulee yhdistää myös lantakourujen kohdalla. [12, s. 4.]

Parsien ja karsinoiden rakenteet pyritään yhdistämään suoraan lattian raudoitukseen jo rakentamisvaiheessa. Tämä on huomattavasti helpompaa kuin jälkikäteen tehtävä potentiaalintasausjohtimilla yhdistäminen. Tehdasvalmisteiset

parsi-, ruokintapöytä- ja lietekouruelementit tulee liittää potentiaalintasaukseen liitântäterästen avulla. [12, s. 4.] Kuvassa 15 on esimerkkejä niiden liittämistä potentiaalintasaukseen.



Kuva 15. Esimerkkejä lattian potentiaalintasausraudoituksen ja parsirakenteiden yhdistämisestä [12, s. 4].

Eläinten kulkuovien kohdalla ulkona voidaan askeljännitteen pienentämiseksi käyttää huonosti sähköä johtavaa päällystettä, kuten karkeaa soraa tai puusiltaa. Tällä tavoin pyritään estämään vaarallisten askeljännitteiden syntyminen. [12, s. 4.]

Eläintilojen maadoituksen ja potentiaalintasauksen suunnittelussa ja toteutuksessa on otettava huomioon useita tekijöitä eläinten turvallisuuden ja hyvinvoinnin varmistamiseksi. Huolellisesti suunniteltu ja toteutettu järjestelmä voi merkittävästi vähentää sähköiskujen riskiä ja parantaa eläinten elinolosuhteita sekä tuottavuutta.

7 Yhteenveto

Pienjännitekiinteistön maadoituksen suunnittelu on keskeinen osa sähköasennusten turvallisuutta ja toimivuutta. Maadoituksen avulla yhdistetään sähköasennuksen osat ja muut metallirakenteet samaan potentiaaliin maadoituksen kanssa, mikä parantaa sähköturvallisuutta ja vähentää ylimääräisiä häiriöitä.

Yleisimmät maadoitusjärjestelmät ovat TN-S-, TN-C-, TN-C-S- ja IT-järjestelmät. Suojamaadoitus varmistaa, että vikatilanteessa jännitteiset osat eivät aiheuta vaaraa, ja potentiaalintasaus tasaa eri metalliosien väliset potentiaalierot, mikä vähentää sähköiskun riskiä.

Maadoituselektrodit, kuten perustusmaadoituselektrodit, varmistavat hyvän maadoitusresistanssin, ja maadoitusjohtimet sekä suojamaadoitusjohtimet yhdistävät maadoituselektrodit ja suojattavat osat toisiinsa.

Eryistilat, kuten eläintilat, lääkintätilat tai ATEX-tilat, asettavat erityisvaatimuksia maadoitukselle. Maadoituksen suunnittelussa on tärkeää noudattaa voimassa olevia standardeja ja ohjeita, jotta varmistetaan asennusten turvallisuus ja toimivuus.

Maadoitussuunnitelmat on tärkeää tehdä jo projektin alussa ennen maanrakennusurakkaa, erityisesti jos maadoituselektrodi upotetaan betoniin. On myös hyvä selvittää etukäteen, tuleeko kohteeseen lisämaadoituksia vaativia suojaus- ja suojauksia, kuten salamasuojausta.

Lähteet

- 1 Rakennusten sähköasennusten maadoitukset ja potentiaalintasaukset. 2022. ST 53.21. Sähköinfo Oy.
- 2 SFS 6000-5-54:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5–54: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Maadoittaminen ja suojajohtimet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 3 Tiainen, Esa; Nurmi, Tapani; Koivisto, Pekka; Ylinen, Timo & Kauppila, Jenna. 2019. Maadoituskirja. 7., uudistettu painos. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 4 SFS 6000-4-41:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-41: Suojausmenetelmät. Suojaus sähköiskulta. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 5 SFS 6000-4-44:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-44: Suojausmenetelmät. Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 6 SFS 6000-6:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 6: Tarkastukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 7 Tiainen, Esa. 2022. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. D1-2022 käsikirja. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 8 Ohje lääkintätilojen sähköasennuksiin. 2023. ST 51.79. Sähköinfo Oy.
- 9 Sähköasennukset räjähdysvaarallisissa tiloissa. 2022. ST 51.83. Sähköinfo Oy.
- 10 Sähkötekniisten järjestelmien kuntotutkimus. Ylijännite- ja salama-suojausjärjestelmä. 2018. ST 97.25. Sähköinfo Oy.

11 Rakennusten salamasuojaus. 2020. ST 53.16.01. Sähköinfo Oy.

12 Potentialintasaus eläintiloissa. 2019. ST 51.77. Sähköinfo Oy.