



Hanna Erola

Maadoitus ja potentiaalintaus pienjännitejärjestelmissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

25.5.2023

Tiivistelmä

Tekijä: Hanna Erola
Otsikko: Maadoitus ja potentiaalintasaus pienjännitejärjestelmissä
Sivumäärä: 33 sivua + 1 liite
Aika: 25.5.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat: Liiketoimintayksikön johtaja Topi Volama
Lehtori Eero Kupila

Tämän insinööriyön tavoitteena oli koota helposti ymmärrettävä kokonaisuus pienjänniteasennusten maadoituksesta ja potentiaalintasauksesta. Insinööriyössä tarkastellaan eri pienjännitejärjestelmien maadoitusperiaatteita ja pääkohtia sekä potentiaalintasauksista yleisesti. Tavoitteena oli myös luoda yrityksen suunnittelijoille koottu selvitys ja ohje maadoitusten ja potentiaalintasauksien suunnittelusta.

Työhön yhdisteltiin eri julkaisuissa, kuten standardeissa, määräyksissä ja oppaissa, esitettyjä vaatimuksia ja suosituksia maadoituksesta ja potentiaalintasauksesta. Työssä tarkastellaan myös käytännön maadoitus- ja potentiaalintasausjärjestelmän suunnittelua ja haasteita, joita suunnittelussa tulee vastaan.

Insinööriyön tuloksena syntyi yleistason selvitys pienjännitejärjestelmien maadoituksesta ja potentiaalintasauksista. Eri lähteistä kootut tiedot on yhdistetty, joten työn avulla on helppo aloittelijankin perehtyä eri järjestelmissä huomioon otaviin asioihin ja käytännön suunnittelutyö on näin helpompaa ja toivottavasti myös kustannustehokkaampaa.

Avainsanat: maadoitus, potentiaalintasaus, TN-järjestelmä, TT-järjestelmä, IT-järjestelmä

Abstract

Author: Hanna Erola
Title: Grounding and Equipotential Bonding in Low Voltage Systems
Number of Pages: 33 pages + 1 appendix
Date: 25 May 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Power Engineering
Supervisors: Topi Volama, Business Unit Director
Eero Kupila, Senior Lecturer

The purpose of this Bachelor's Thesis was to create low voltage system grounding and equipotential bonding guideline that is easy to understand. Thesis studied different design principles for low voltage system grounding and equipotential bonding. The goal was also to create study and guideline for designing grounding and equipotential bonding for the company's electrical engineers.

Thesis introduces the requirements and the recommendations for grounding and equipotential bonding. This information is collected from different sources, for example, from standards, requirements, and different guidelines. Thesis also addresses practical issues related to design, as well as challenges that one might face in practical work.

As a result, this Thesis presents general study about low voltage system grounding and equipotential bonding. This Thesis introduces the topic so that even the beginner can consider these issues in the design work. Utilizing the results of this study will make the work easier and more efficient, and hopefully more cost effective.

Keywords: Grounding, Earthing, Equipotential Bonding, TN-system, TT-system, IT-system

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Maadoitusjärjestelmät | 2 |
| 2.1 | Maadoitusjärjestelmän rakenne | 5 |
| 2.2 | TT-järjestelmä | 6 |
| 2.3 | TN-järjestelmä | 7 |
| 2.4 | IT-järjestelmä | 12 |
| 3 | Maadoitusjärjestelmän osat ja niihin liittyvät järjestelmät | 13 |
| 3.1 | Pienjänniteasennuksen maadoituselektrodi | 13 |
| 3.2 | Maadoitus- ja suojajohtimet | 19 |
| 3.3 | Liitokset | 22 |
| 3.4 | Salamasuojauksen huomioiminen | 23 |
| 4 | Potentiaalin tasaus | 24 |
| 4.1 | Pääpotentiaalintasaus | 24 |
| 4.2 | Muut potentiaalintasaukset | 25 |
| 5 | Toiminnalliset maadoitukset | 26 |
| 6 | Käytännön maadoitussuunnittelu | 27 |
| 6.1 | Suunnittelun aloitus | 28 |
| 6.2 | Suunnittelun haasteet | 29 |
| 6.3 | Hyvä maadoituselektrodi | 29 |
| 6.4 | Merkinnät ja dokumentointi | 30 |
| 6.5 | Yhteistyö urakoitsijan kanssa | 31 |
| 7 | Yhteenveto | 32 |
| | Lähteet | 33 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1: Kysely suunnittelijoille | |

Lyhenteet

- IT: *Isolated Terra*. Maasta erotettu järjestelmä.
- JK: Jakokeskus.
- N: *Neutral*. Nollajohdin.
- PE: *Protective Earth*. Suojamaadoitusjohdin.
- PEN: *Protective Earth and Neutral*. Yhdistetty suojajohdin ja nolla.
- PK: Pääkeskus. Rakennuksen sähköpääkeskus, jonka kautta rakennuksen sähköverkko ja sen kesukset liitetään verkkoon.
- PMK: Päämaadoituskisko.
- TN-C: *Terra Neutral Combined*. TN-C-järjestelmä, yhdistetty nolla- ja suojamaadoitusjohdin.
- TN-C-S: *Terra Neutral-Combined-Separated*. Erillinen nolla- ja suojamaadoitusjohto.
- TN-S: *Terra Neutral Separated*. TN-S-järjestelmä, nollajohtimessa erillinen suojamaadoitusjohdin.
- TT: *Terra Terra*. Yksi piste on maadoitettu suoraan, sähkölaitteiston jännitteelle alttiit osat on yhdistetty yhteen tai useampaan erilliseen maadoituselektrodiin.

1 Johdanto

Sähkölaitteistoon kuuluu olennaisena osana maadoitukset ja potentiaalintasaus. Näitä käytetään täyttämään sähköasennuksia koskevat turvallisuutta ja toimintaa koskevat vaatimukset. Sähkölaite tai asennus ei saa vikatilanteessakaan aiheuttaa sähköiskun vaaraa. Turvallisuus on asennuksissa aina ensisijainen vaatimus. Tähän päästään rajoittamalla vikatapauksissa esiintyviä kosketusjännitteitä ja askeljännitteitä. Vika voi olla rakennuksen sähköasennuksissa tai sitä syöttävässä järjestelmässä. Mikäli asennusta syötetään suurjännitteellä, on huomioitava suurjännitejärjestelmien vaatimusten ohella myös pienjännitejärjestelmien vaatimukset. Ukkosen aiheuttamat ylijännitteet voidaan myös rinnastaa vikaan. [1, s. 285.]

Maadoituksen tarkoituksena on myös estää vaarallisten ylijännitteiden siirtymisen järjestelmästä toiseen, estää vaarallisten vuotovirtojen, kipinöiden ja valokaarien syntyminen sekä luoda toimintaedellytykset maasulku- ja vikasuojaukselle [1, s. 285].

Insinööriyö on tehty Granlund Oy:lle. Granlund Oy on 1960 perustetun Granlund-konsernin emoyhtiö. Kiinteistö- ja rakennusalan asiantuntijakonsernissa työskentelee yli 1400 asiantuntijaa. Konsernin toimialat ovat talotekninen suunnittelu, kiinteistöjohtamisen palvelut ja ohjelmistot, energia-, ympäristö- ja kiinteistöalan konsultointi, rakennuttaminen ja valvonta sekä isännöinti. [2.]

Insinööriyössä käsitellään eri maadoitusjärjestelmiä pienjännitejakelussa. Työssä kerrotaan ensin yleisesti maadoitusjärjestelmistä ja potentiaalintasauksesta. Lisäksi työssä tarkastellaan käytännön maadoitus- ja potentiaalintasausjärjestelmän suunnittelua ja haasteita, joita suunnittelussa tulee vastaan.

2 Maadoitusjärjestelmät

Maadoitusta käytetään pienjänniteverkoissa ja kuormissa suojaamaan ihmisiä sähköltä. Maadoituksen toisena tarkoituksena on varmistaa sähkölaitteiden häiriötön toiminta. Maadoituksessa liitetään järjestelmä, asennuksen laite tai jokin piste paikalliseen maahan. Liitäntä paikalliseen maahan voi olla tahaton tai tahallinen ja lisäksi pysyvä tai tilapäinen. Maadoitusjärjestelmä käsittää kaikki kytkennät ja laitteet, jotka muodostavat järjestelmän, laitteiston ja laitteen maadoituksen. Rakennuksen sähkölaitteistoin maadoituksen tärkein tehtävä on nopea potentiaalintasaus. [3, s. 14–15.]

Sähköliittymällä on standardin SFS-6000-4-41 [4, s. 10] mukaan oltava maadoituselektrodi. Maadoituselektrodit on liitettävä maadoitusjohtimella maadoituskiskoon. Maadoituskiskoon voi liittää useita johtimia maadoittamista varten. Rakenteellisesti ja materiaaliltaan maadoituselektrodin on oltava sähköisesti ja mekaanisesti riittävästi mitoitettu ja riittävän korroosionkestävä. Eristämättömät osat maadoitusjohtimesta ovat osa maadoituselektrodia, joten myös maadoitusjohtimelle on määritetty vaatimukset mekaaniseen lujuuteen ja korroosionkestävyyteen [3, s. 18].

Maadoitusresistanssiin voidaan vaikuttaa maadoituselektrodin muodolla ja laajuudella. Yleisin perustusmaadoituselektrodi on suljetun renkaan muotoinen johdava osa. Se on joko upotettu maahan rakennuksen perustusten alle tai perustuksen betoniin. Perustuksen betoni ei saa olla ympäröivästä maasta täysin eristetty. [3, s. 36.]

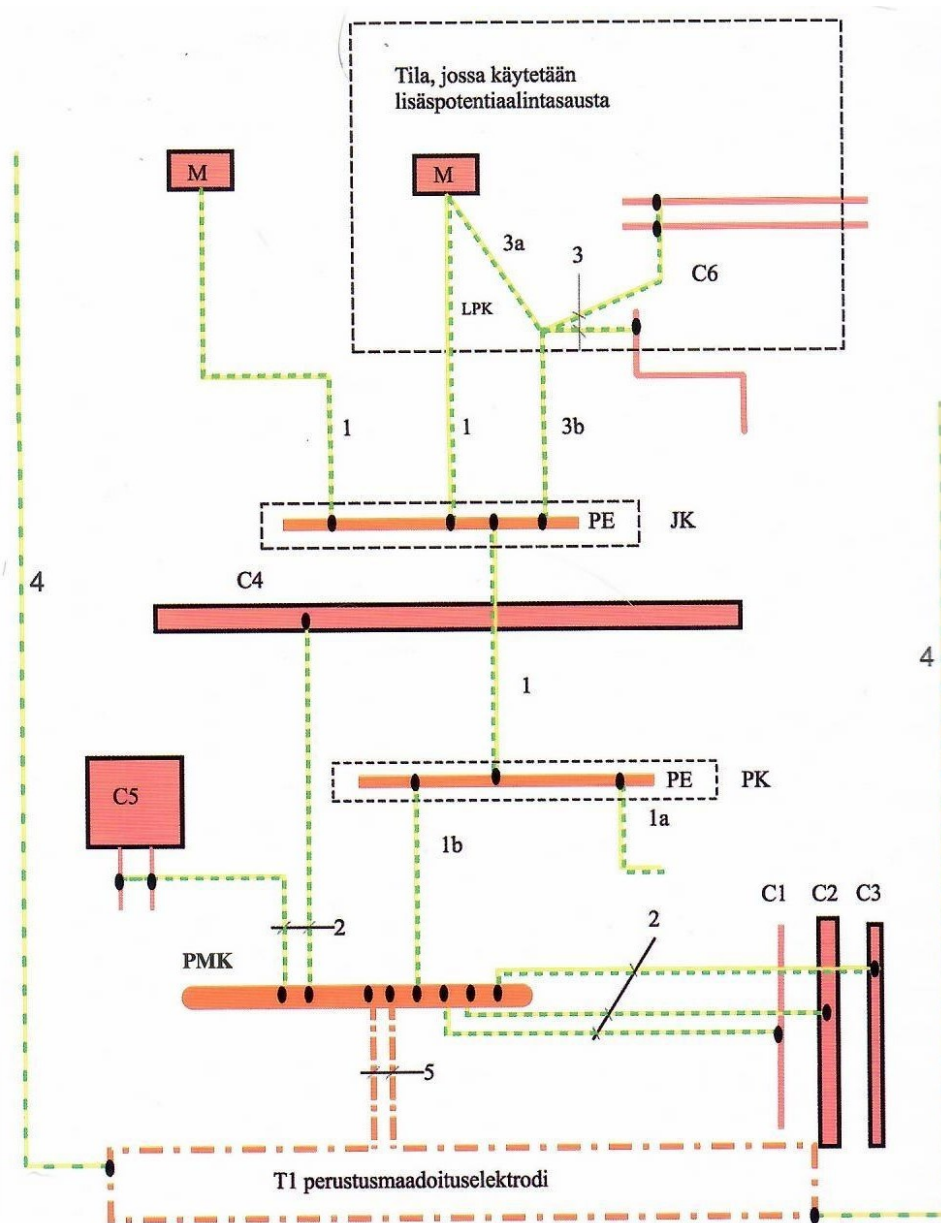
Suojamaadoituksessa nimensä mukaisesti maadoitetaan suojauksen saamiseksi. Suojamaadoitus on joko erillinen tai toiminnalliseen maadoitukseen yhdistetty. Maadoitusjärjestelmät on nimetty suojajohtimien kytkentöjen mukaan.

Toiminnallisessa maadoituksessa maadoittaminen tapahtuu muun kuin sähköiskulta suojauksen vuoksi. Yleensä syy toiminnalliseen maadoitukseen on sähkölaitteen häiriösuojaus.

Kuvassa 1 on esitetty periaatekuva rakennuksen sähkölaitteiston maadoitus- ja potentiaalintasausjärjestelmästä. Kuvassa 1 käytetyt merkinnät on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Kuvan 1 merkinnät [3, s. 26].

| Merkki | Selite |
|---------------|--|
| 1 | Suojamaadoitusjohdin |
| 1a | Tuleva suoja- tai PEN-johdin |
| 1b | Suojamaadoitusjohdin pääkeskuksen PE-kiskon ja päämaadoitus-kiskon välillä |
| 2 | Potentiaalintasausjohdin |
| 3 | Lisäpotentiaalintasausjohdin |
| 4 | Salamasuojauksen alastulojohdin |
| 5 | Maadoitusjohdin |
| M | Jännitteelle altis osa |
| C | Muu johtava osa |
| PK | Pääkeskus |
| JK | Jakokeskus |
| PMK | Päämaadoituskisko |
| T1 | Perustusmaadoituselektrodi |



Kuva 1. Rakennuksen sähkölaitteiston maadoitus- ja potentiaalintasausjärjestelmän periaatteellinen rakenne ja johtimien nimitykset [3, s. 27].

Jakelujärjestelmien mukaisesti on kolme maadoitusjärjestelmää: TT-, TN- ja IT-järjestelmä [5, s. 49–58]. Pienjänniteasennusten maadoitusta koskevat vaatimukset on esitetty standardisarjan SFS-6000 osissa 4–41 Suojaus sähköiskulta [4] ja 5–54 Maadoittaminen ja suojajohtimet [6].

Maadoitusjärjestelmän ensimmäinen kirjain tarkoittaa standardin [5, s. 48] mukaan maan ja syöttölähteen välistä kytkentää:

- T-kirjain tarkoittaa, että syöttölähde on kytketty suoraan maahan.
- I-kirjain tarkoittaa, syöttölähteen ja maan välillä ei ole yhdistystä tai yhdistys on tehty suuren impedanssin välityksellä.

Toinen kirjain maadoitusjärjestelmän nimessä tarkoittaa maan ja sähkölaitteen välistä kytkentää:

- T-kirjain tarkoittaa, että laite on kytketty suoraan maahan.
- N-kirjain tarkoittaa, että laite on kytketty suoraan nolnaan, joka on maadoitettu syöttölähteessä.

Maadoitusjärjestelmät ovat usein käytössä maittain. TN-järjestelmä on käytössä muun muassa Suomessa. Etelä-Euroopassa käytetään yleisesti TT-järjestelmää [5, s. 52]. IT-järjestelmä on käytössä kohteissa, joissa tarvitaan mahdollisimman hyvää luotettavuutta sähkönsaannille, kuten leikkaussaleissa ja teollisuuden kriittisissä verkon osissa [1, s. 68].

2.1 Maadoitusjärjestelmän rakenne

Useat tekijät vaikuttavat maadoitusjärjestelmän rakenteen suunnitteluun ja valintaan.

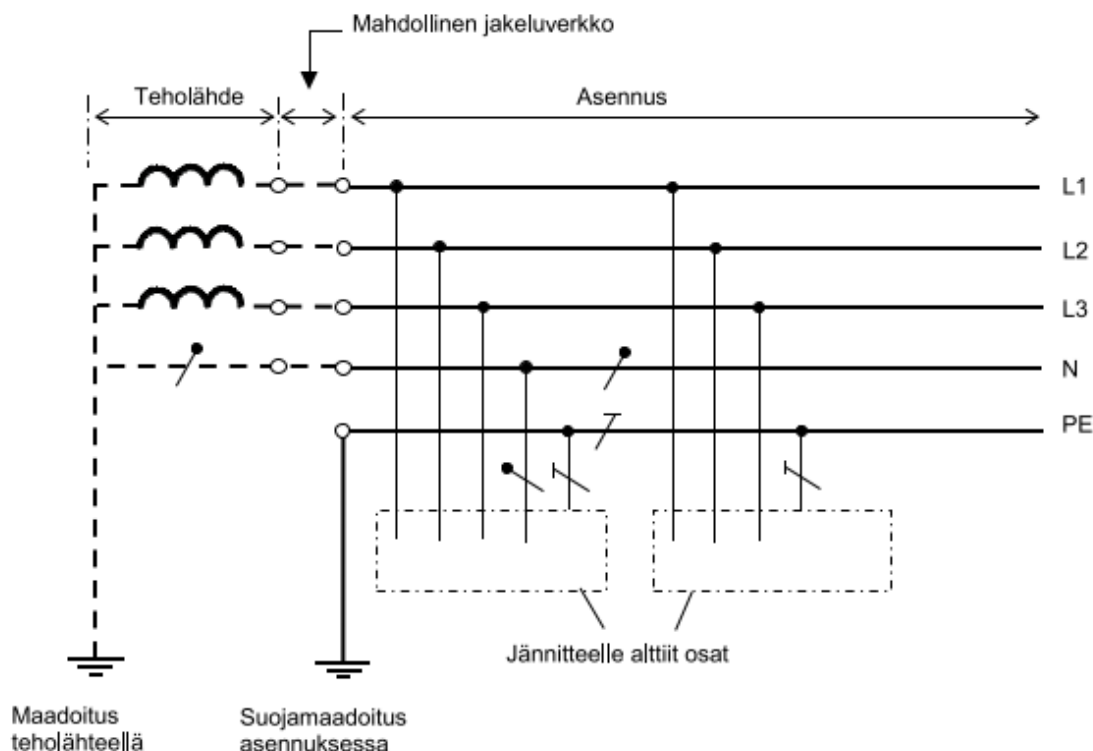
Valintaan vaikuttavat muun muassa seuraavat asiat:

- asennuksen turvallisuusvaatimukset (syötön automaattisen poiskytkennän toiminta ja potentiaalintasaus)
- sähköjärjestelmän maadoitustapa (TN-, TT- tai IT-järjestelmä)
- pienjänniteasennusta syöttävän suurjänniteasennuksen vaikutukset, kun käytetään yhteistä maadoitusta
- rakennuksen käyttötarkoitus ja siinä käytettävien laitteiden asettamat vaatimukset
- rakennuksessa tarvittavat erilaiset maadoitusjärjestelmät, esimerkiksi ylijännitesuojauksen, salamasuojauksen, suurjännitejärjestelmien ja erilaisten tietoliikennejärjestelmien maadoitukset
- rakennusten mekaaninen rakenne, kuten johtavat runkorakenteet
- maadoituksista aiheutuvat välittömät ja välilliset kustannukset rakentamisvaiheessa ja rakennuksen käytön aikana. [3, s. 31.]

Perustietoja ja tapauskohtaista harkintaa tarvitaan siten aina rakenteiden valintaan, eikä ole olemassa aina sopivaa vakioratkaisua, etenkin jos halutaan toimiva ja kustannustehokas järjestelmä. Maadoituksen minimitason asettavat sähköasennusten turvallisuusvaatimukset. Rakennuksen eliniän aikana myös sen käyttö voi muuttua, joten tulisi huomioida mahdollinen muutostarve ja rakennuksen muunneltavuus. Koska eräisiin asennuksiin, kuten betonin sisään jääviin maadoituselektrodeihin, kytkentöihin ja teräsrakenteisiin, on vaikea tehdä jälkeinpäin muutoksia, tulisi näihin kiinnittää huomiota jo rakennusvaiheessa. On tärkeä varata maadoitusjärjestelmille ja muillekin johtojärjestelmille riittävät ja muunneltavat johtoreitit. [3, s. 32.]

2.2 TT-järjestelmä

TT-järjestelmässä tähtipiste maadoitetaan omaan elektrodiinsa ja jännitteelle alttiit omaansa, eivätkä elektrodit saa olla yhteydessä toisiinsa. Vikavirta kulkee suojamaadoittamiseen käytettyyn elektrodiin jännitteisen ja suojajohtimen välisen oikosulun seurauksena, ja sen suuruus riippuu elektrodin maadoitusimpedanssista. Vikavirta on kuitenkin käytännössä niin pieni, että suojana käytetään vikavirtasuojia. TT-järjestelmä on esitetty kuvassa 2.



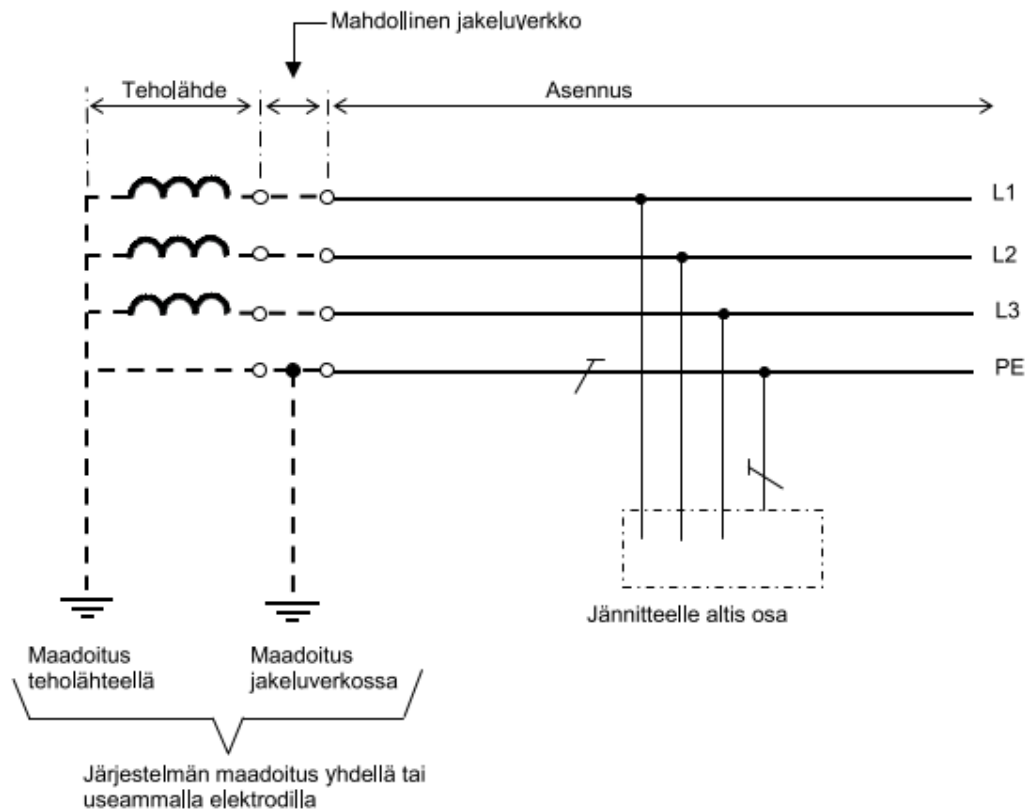
Kuva 2. TT-järjestelmä [5, s. 53].

Kuvan 2 TT-järjestelmässä on erilliset nolla- ja suojamaadoitusjohtimet koko asennuksessa. Asennuksessa voi olla myös PE:n lisämaadoituksia.

2.3 TN-järjestelmä

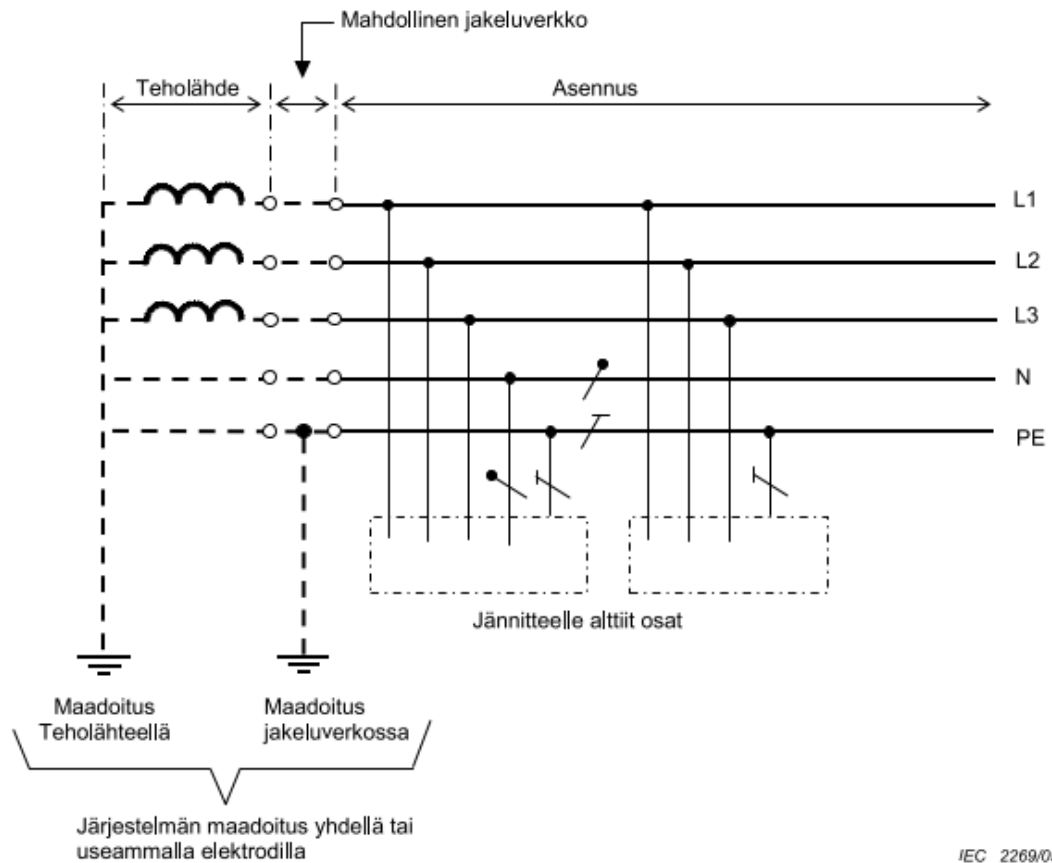
TN-järjestelmässä sähkölaitteiden jännitteelle alttiit osat kytketään järjestelmän tähtipisteeseen ja maahan suojamaadoitusjohtimilla. Tämän ansiosta vian sattuessa jännitteelliseen osaan viallisessa virtapiirissä syntyvä virta on niin suuri, että ylivirtasuoja toimii nopeasti. Vian aikana esiintyviä kosketusjännitteitä pienennetään lisäksi tekemällä potentiaalintasauksia kytkemällä jännitteelle alttiit osat ja muut johtavat osat samaan potentiaaliin. [3, s. 33.] Standardin SFS-6000-4-41 [4, s. 10] mukaan TN-järjestelmässä tähtipiste maadoitetaan jokaisen muuntajan tai generaattorin luona tai niiden läheisyydessä. Maadoitus voidaan yhdistää suoraan muuntajan tai generaattorin tähtipisteeseen [3, s.33].

TN-järjestelmä jaetaan suoja- ja nollajohtimien mukaan kolmeen eri tyyppiin, jotka ovat TN-C, TN-S sekä näiden yhdistelmä TN-C-S. TN-S-järjestelmässä on erilliset suojamaadoitusjohtimet koko järjestelmässä. TN-S-järjestelmä ilman nollajohdinta on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. TN-S-järjestelmä, jossa on erilliset suojamaadoitusjohtimet koko järjestelmässä, mutta ei nollajohdinta [5, s. 62].

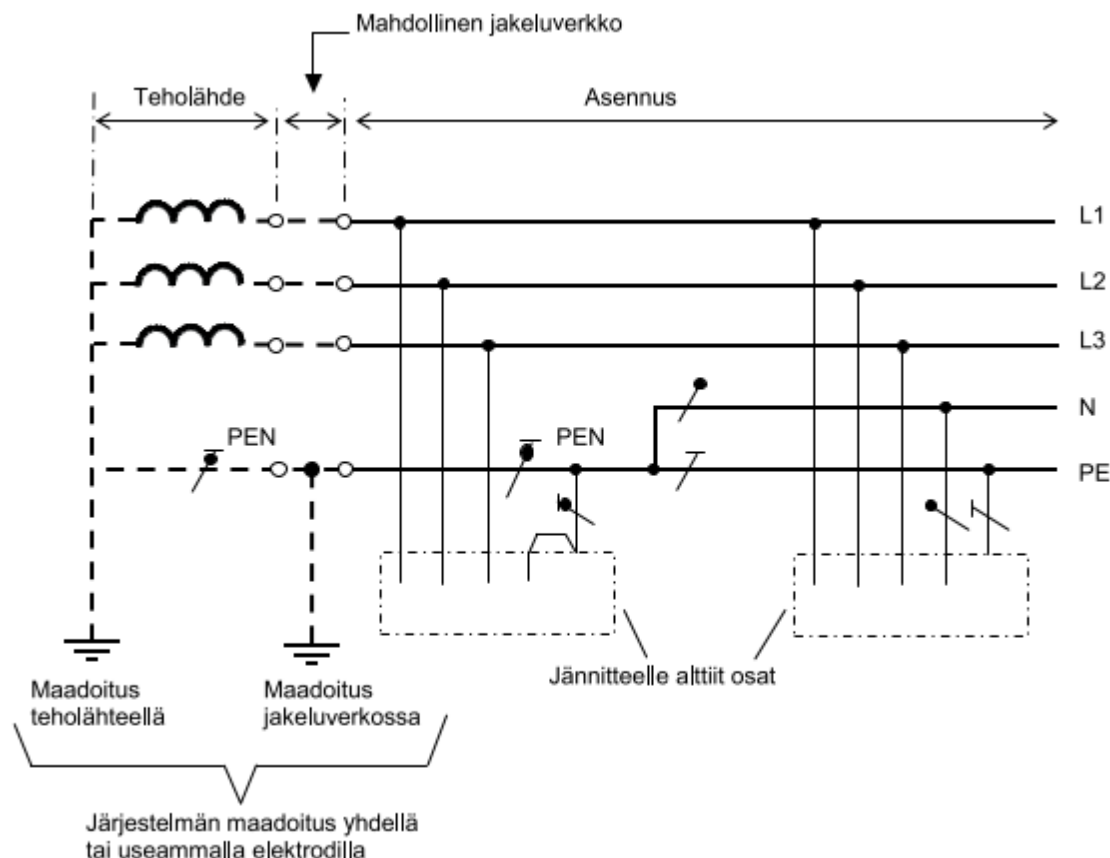
Kuvan 3 asennuksessa voidaan tehdä PE-johtimen lisämaadoituksia. TN-S-järjestelmässä voi olla myös erilliset nolla- ja suojamaadoitusjohtimet. Tällainen tilanne on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. TN-S-järjestelmä, jossa on erilliset nolla- ja suojamaadoitusjohtimet koko järjestelmässä [5, s. 49].

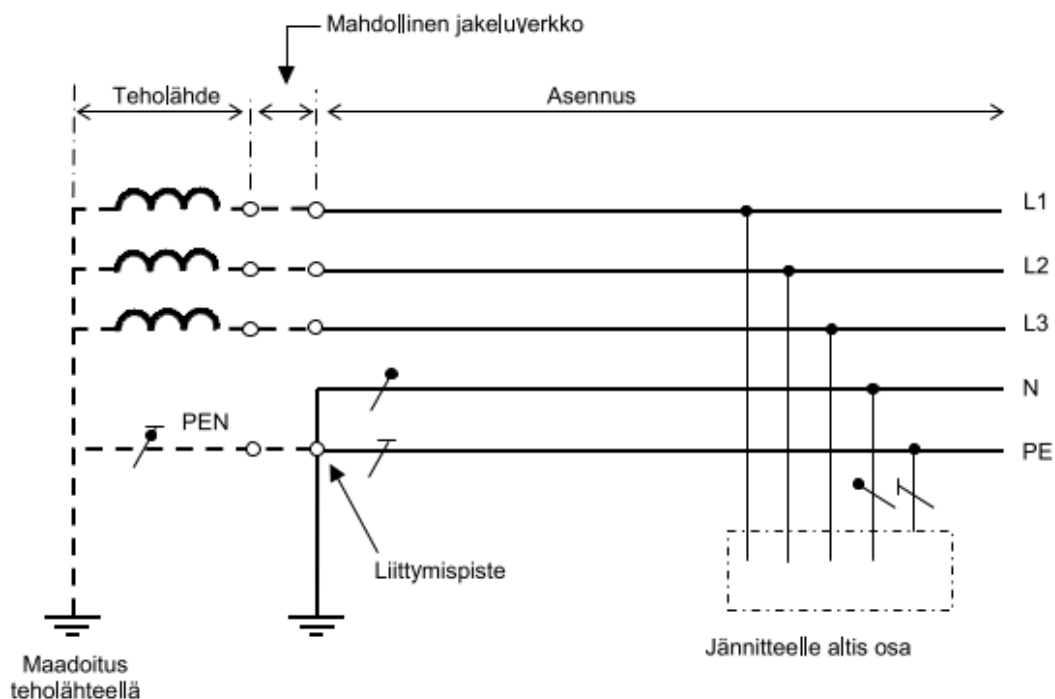
Kuvan 4 asennuksessa voidaan tehdä PE-johtimen lisämaadoituksia.

TN-C-S-järjestelmässä nolla- ja suojajohdintoiminnot on yhdistetty yhteen johtimeen (PEN-johtimeen) osassa järjestelmää, kuten kuvassa 5 esitetään.



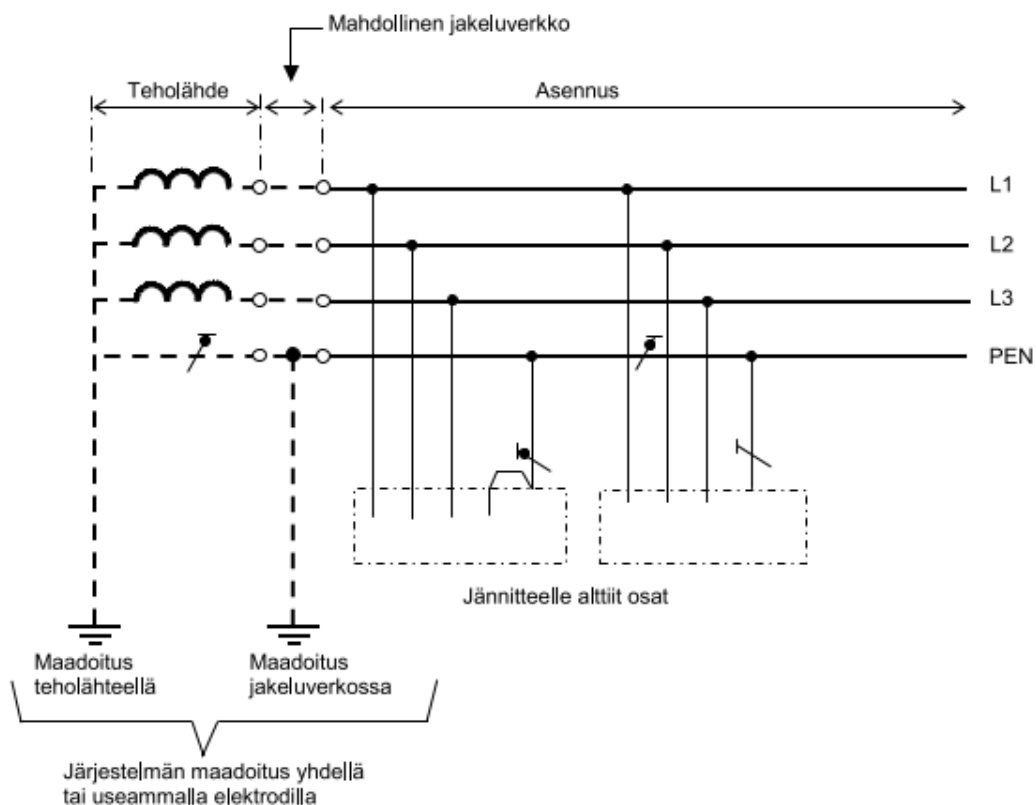
Kuva 5. Kolmivaiheinen TN-C-S -järjestelmä, jossa PEN on erotettu PE:ksi ja N:ksi muualla asennuksissa [5, s. 50].

Kuvan 5 asennuksessa voidaan tehdä PE:n ja PEN:n lisämaadoituksia. TN-C-S-järjestelmässä PEN-johdin voi olla erotettu PE:ksi ja N:ksi myös asennuksen liittymispisteessä, kuten kuva 6 esittää. PEN-johtimen nolla- ja suojajohtimeksi erottamisen jälkeen niitä ei saa enää yhdistää takaisin PEN-johtimeksi.



Kuva 6. Kolmivaiheinen neljän jännitteisen johtimen TN-C-S-järjestelmä, jossa PEN on erotettu PE:ksi ja N:ksi asennuksen liittymispisteessä [5, s. 50].

TN-C-järjestelmässä on nollajohdin ja suojamaadoitusjohdin yhdistetty PEN-johdtimeksi, kuten kuva 7 esittää. Kuvan 7 järjestelmässä voidaan tehdä PE:n ja PEN:n lisämaadoituksia.



Kuva 7. TN-C-järjestelmä, jossa nolla- ja suojamaadoitusjohtimen toiminnot on yhdistetty yhteen johtimeen koko järjestelmässä [5, s. 51].

TN-C-järjestelmän käyttö ei ole mahdollista uusissa asennuksissa. PEN-johtimen katketessa suojamaadoitetut jännitteelle alttiit osat tulevat jännitteiseksi, joten johtimen poikkipinta-alalle on asetettu vaatimuksia riittävän mekaanisen kestävyuden takaamiseksi. PEN-johtimen poikkipinnan on oltava vähintään 10 mm²:n kuparia tai 16 mm²:n alumiinia [6, s. 14]. TN-C-järjestelmässä ei saa käyttää vikavirtasuojia [4, s. 11].

2.4 IT-järjestelmä

IT-järjestelmässä kaikki jännitteiset osat on eristetty maasta. Jännitteelle alttiit osat voidaan maadoittaa yhdessä tai erikseen. Koska tähtipistettä ei ole kytketty maahan, on ensimmäisen vian aiheuttama virta hyvin pieni. Tällöin ensimmäistä vikaa ei tarvitse kytkeä pois, mutta se tulee kuitenkin ilmaista. Toisesta viasta pitää kytkeä syöttö pois. IT-järjestelmän suurin etu on, että ensimmäinen vika ei

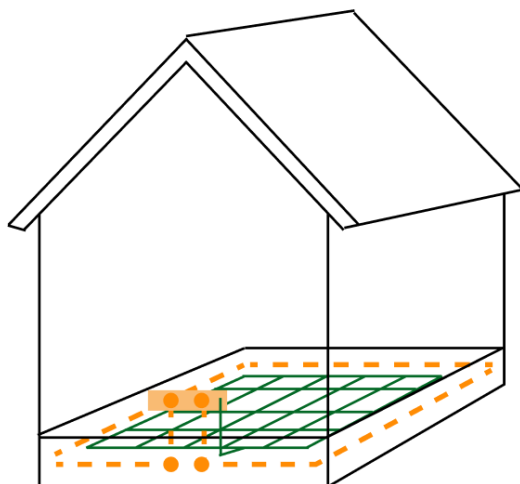
kuparielektrodia. Suomen olosuhteissa maadoituselektrodina suositellaan käytettävän ensisijaisesti kuparilankaa tai köyttä, pystymaadoitustankoja tai perustuksiin upotettua terästä. [6, s. 10.]

Taulukko 2. Maadoituselektrodin minimimitat [6, s.9].

| Materiaali | Poikkipinta-ala mm² | Halkaisija \varnothing mm | Minimipaksuus mm^a | 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 |
| Kuparivaipalla varustettu teräs | | 15 | | 2000 |
| Sähköisesti kuparilla päällystetty teräs | | 14 (vaakata-sossa 10) | | 250 (vaaka- elektrodilla 70) |
| ^a Nauhan tai levyn paksuus tai köyden yksittäisen langan halkaisija \varnothing ^b Betoniin upotetulla perustusmaadoituselektrodilla ei tarvita korroosiosuojauksia | | | | |

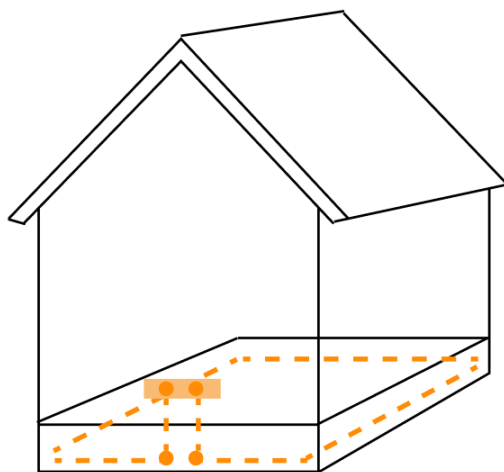
Taulukon 2 maadoituselektrodit on valittu vain sähköiskuilta suojausta koskevien vaatimusten mukaisesti. Pienjänniteliittymän maadoituselektrodille ei ole määritetty suurinta sallittua maadoitusresistanssin arvoa, vaan pyritään hyvään potentiaalintasausvaikutukseen. [6, s. 10.]

Suosittelava maadoituselektrodi on renkaan muotoinen perustusmaadoituselektrodi, joka sijaitsee perustuksissa (kuva 9).



Kuva 9. Perustusmaadoituselektrodi betonin sisällä [3, s.129].

Perustusmaadoituselektrodi voi sijaita myös perustusten alla (kuva 10). Betoniperustusten teräkset liitetään perustuksissa olevaan maadoituselektrodiin korkeintaan kahden metrin välein [6, s. 26].



Kuva 10. Perustusmaadoituselektrodi perustusten alla [3, s. 129].

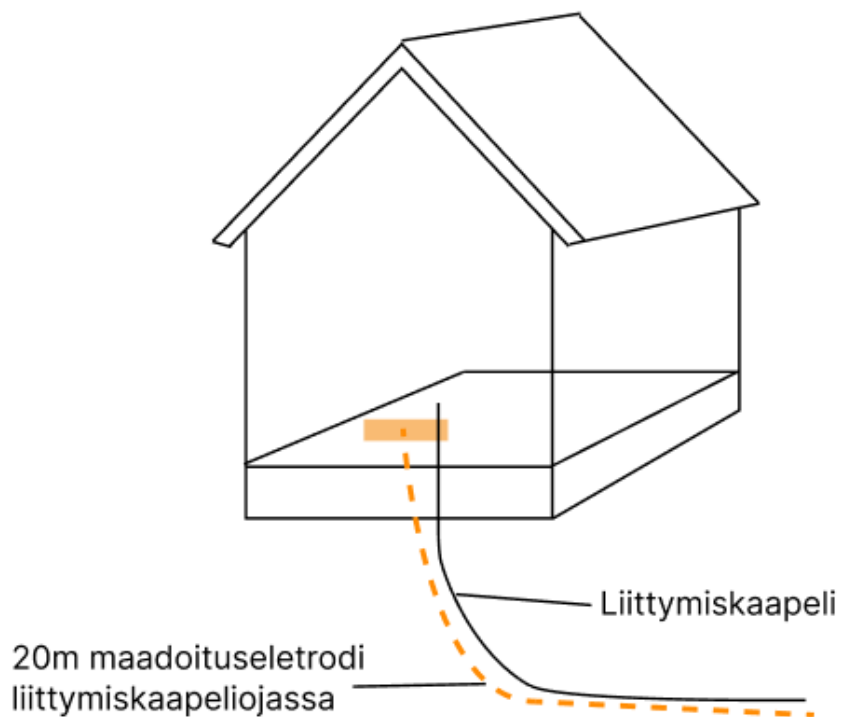
Jos perustus on eristetty sähköisesti maasta, ei perustusten betonia voida käyttää maadoituksen toteuttamiseen. Tällöin betoniperustusten teräksiä hyödynnetään potentiaalintasaukseen ja käytetään muuta maadoitusta, kuten upotetaan

maadoituselektrodi eristyksen alla olevaan maahan tai asennetaan elektrodi rakennuksen ympärille. [7, s. 7.]

Betoniin upotettu perustusmaadoituselektrodi on hyvä myös, mikäli rakennuksessa on salamasuojaus. Sitä voidaan käyttää jo rakentamisen aikana työmaan maadoituselektrodina. Pienissä rakennuksissa riittää yksi rengas. Suurissa rakennuksissa perustusmaadoituselektrodi suositellaan jaettavaksi useampaan suljettuun renkaaseen tai suorakulmioon, joiden halkaisija tai sivun pituus on korkeintaan 20 m ja jotka on liitetty yhteen.

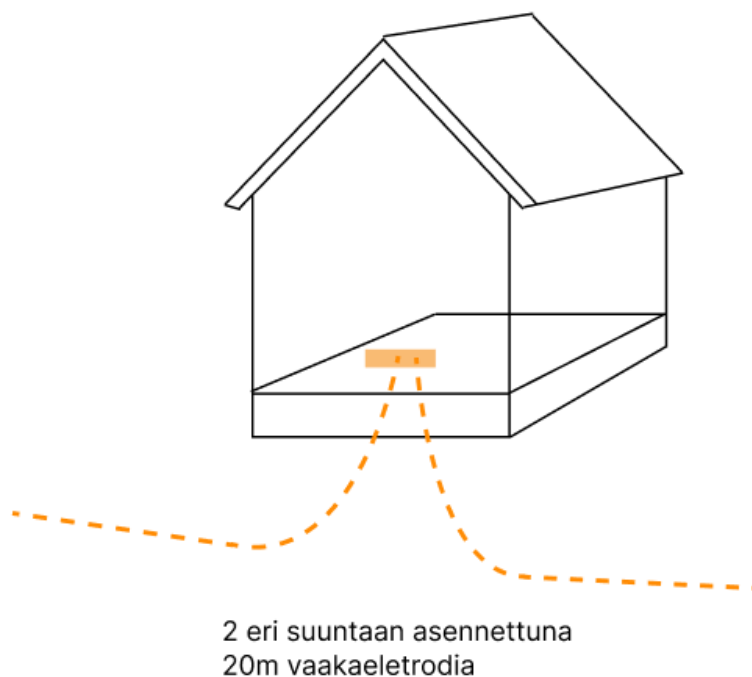
Betoniin upotetun maadoituselektrodin johtimessa on oltava vähintään yksi liitospiste rakennuksen maadoitusjärjestelmälle. Liitospiste voi olla betonin sisällä, tai se voidaan tuoda päämaadoituskiskoon, mutta sen on oltava saavutettavissa kunnossapitoa ja mittauksia varten. Jos perustusmaadoituselektrodia ei voida rakentaa, voidaan käyttää maadoituselektrodina myös perustusten ympäri kulkevaa elektrodiä. Tällöin se on asennettava lähelle perustuksia ja riittävän syväälle, ettei se vaurioidu. [7, s. 7.]

Maadoituselektrodit voivat olla myös suoraan maahan pysty- tai vaakasuoraan asennettuja metallielektrodeja, jos maaperä esimerkiksi on laadultaan sellaista, ettei perustusten ympäri kulkevaa elektrodiä pystytä teknisesti käyttämään. Jos käytössä on vaakasuoraan asennettu metallielektrodi, sen rakenteena on oltava vähintään 20 metriä pitkä kaapeliojaan tai rakennuksen perustusten lähelle vaakasuuntaan asennettu elektrodi. Sen on täytettävä taulukon 1 ilmoittamat vaatimukset. Vaakasuora elektrodi on havainnollistettu kuvassa 11.

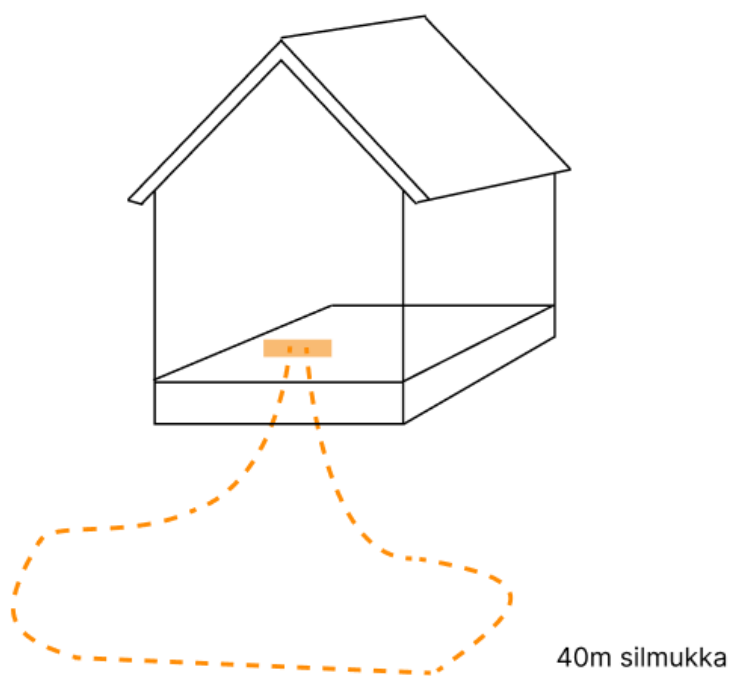


Kuva 11. Liittymiskaapeliojaan sijoitettu maadoituselektrodi [3, s. 132].

Jos elektrodia ei saada suojattua vahingoittumiselta, on käytettävä kahta eri suuntiin sijoitettua vähintään 20 metrin pituista vaakaelektrodia (kuva 12) tai yhtä vähintään 40 metrin pituista renkaan muotoista elektrodia (kuva 13).



Kuva 12. Kaksi eri suuntiin asennettua vähintään 20 metrin pituista vaakaelektrodi [3, s. 133].



Kuva 13. Silmukan muotoinen maadoituselektrodi [3, s. 133].

Pystysuoraan asennetun maadoituselektrodin pituuden on oltava vähintään puolet vaakaelektrodille vaadittavasta pituudesta ja vierekkäisten pystyelektrodien on oltava vähintään sauvan pituuden etäisyydellä toisistaan.

Muodoltaan maadoituselektrodit voivat olla esimerkiksi sauvoja, lankoja köysiä, nauhoja, putkia tai levyjä. Maadoituselektrodeina voidaan hyödyntää myös kaapelien metallivaippoja ja muita kaapelien metallipäällyksiä sekä muita maanalaisia metallisia rakenteita. Vesijohtoja tai muita putkiverkkoja ei kuitenkaan saa käyttää maadoituselektrodeina, mutta ne on liitettävä potentiaalintasaukseen. Maadoituselektrodia ei myöskään saa upottaa suoraan virran, joen, lammen, järven tai vastaavan veteen, mikäli on olemassa vaara, että maadoituselektrodi jää esille veden kuivumisen vuoksi. Jos maadoituselektrodi rakentuu yhteen liitettävistä osista, liitäntä on tehtävä hitsaamalla, puristamalla tai muulla luotettavalla tavalla. [6, s. 10.]

Maadoituselektrodi sijoitetaan yleensä pääkeskuksen yhteyteen. Jos pääkeskus on rakennuksessa, sijoitetaan keskuksen yhteyteen päämaadoituskisko. Päämaadoituskiskoon yhdistetään maadoituselektrodin lisäksi myös potentiaalintasausjohtimet. [6, s. 11.]

3.2 Maadoitus- ja suojajohtimet

Maadoituselektrodin ja potentiaalintasausjärjestelmän välistä johdinta kutsutaan maadoitusjohtimeksi. Käytännössä se on siis johdin maadoitusjärjestelmän ja päämaadoituskiskon välillä. Se on poikkipinta-alaltaan vähintään 6 mm^2 :n kuparia tai 50 mm^2 :n terästä. Maahan upotettuna maadoitusjohtimen on täytettävä maadoituselektrodin poikkipinnalle asetetut vaatimukset (taulukko 2, luku 3, s.14). Maadoituselektrodina oleva kupariköysi ja kuparilanka jatkuvat ilman liitoksia maadoitusjohtimena. Maadoitusjohtimina ei saa käyttää alumiinijohtimia. [6, s. 10.]

Suojajohtimet ovat suojauksen vuoksi käytettäviä johtimia, kuten suojamaadoitusjohtimet, suojaavat potentiaalintasausjohtimet ja suojaamiseen käytettävät

maadoitusjohtimet. Suojajohtimien on kestävä vikavirran aiheuttamat termiset ja mekaaniset rasitukset, jotka esiintyvät suojalaitteen toiminta-aikana. Suojajohtimen poikkipinta-ala lasketaan joko kaavan 1 avulla tai käytetään taulukon 3 arvoja.

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \times t}}{k} \quad (1)$$

Kaavassa 1 esiintyvät suureet:

- S on suojajohtimen poikkipinta-ala (mm²).
- I on suojalaitteen kautta kulkeva prospektiivisen virran tehollisarvo (A), kun tapahtuu hyvin pieni-impedanssinen vika.
- t on suojalaitteen toiminta-aika (s).
- Kerroin k on suojajohtimen materiaalista ja eristyksestä riippuva kerroin, joka lasketaan standardin SFS 6000-5-54 liitteen 54A [6, s. 20–22] mukaan. [6, s. 13.]

Taulukko 3. Suojajohtimien minimipoikkipinnat [6, s. 12].

| Äärijohtimen poikkipinta S mm^2 kuparia | Vastaavan suojajohtimen minimipoikkipinta mm^2 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 54A.1 tai standardin SFS 6000-4-43 taulukoissa.
 k_2 on kertoimen k arvo, joka on esitetty taulukoissa A-54.2-A.54.6.
^a PEN-johtimen poikkipinnan pienentäminen on sallittu vain noudattamalla nollajohtimen mitoituksen sääntöjä (ks. SFS 6000-5-52).

Kahdelle tai useammalle virtapiirille yhteisen suojajohtimen poikkipinta-ala määritellään seuraavasti:

- laskemalla kaavan 1 mukaan huomioiden kaikkien piirien eniten rasituksia aiheuttava prospektiivinen vikavirta ja toiminta-aika
- valitsemalla taulukon 54A.3 [6, s. 21] mukaan vastaamaan piirien suurinta äärijohtinta. [6, s. 12.]

Erillisen mekaanisesti suojatun suojajohtimen on oltava poikkipinnaltaan vähintään $2,5 \text{ mm}^2$:n kuparia tai 16 mm^2 :n alumiinia. Mekaanisesti suojaamattoman erillisen suojajohtimen poikkipinnan on oltava vähintään 4 mm^2 :n kuparia tai 16 mm^2 :n alumiinia. Suojajohdin katsotaan mekaanisesti suojatuksi, jos se on putkitettu, johtokanavassa tai suojattu vastaavalla tavalla. Suojajohdin pääkeskukseen ja päämaadoituskiskon välillä mitoitetaan vikatilanteessa kulkevan (yhden vian tilanne) suurimman virran mukaan. Tällöin poikkipinnan on oltava vähintään 16 mm^2 :n kuparia. Käytäntö on osoittanut, että johtimen poikkipinnan ei

tarvitse olla 50 mm²:ä suurempi, sillä pääkeskuksen ja päämaadoituskiskon yhdistävässä suojajohtimessa ei kulje virta yleensä edes vikatilanteessa. Vikavirta kulkee muuntajan tai generaattorin tähtipisteeseen yhteydessä olevassa PEN- tai suojamaadoitusjohtimessa. [6, s. 13.]

3.3 Liitokset

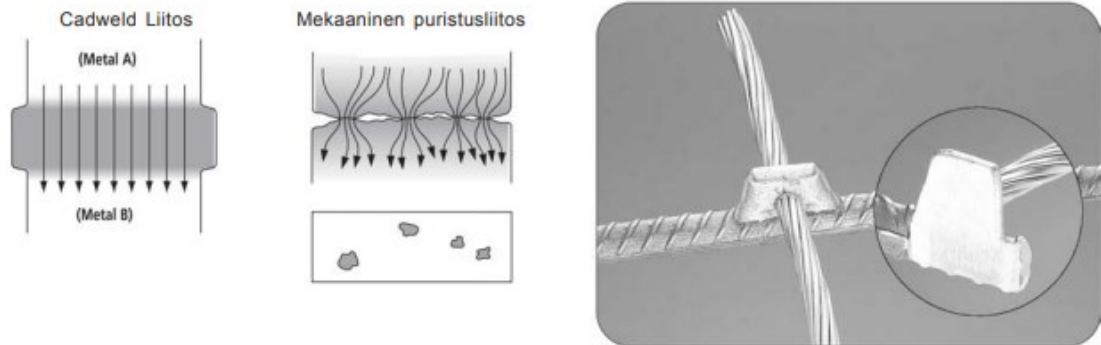
Maadoitusjärjestelmässä johtimet liitetään elektrodeihin, laitteisiin ja toisiinsa. Liittimien sekä liitosten on oltava luotettavia ja toimittava kaikissa käyttöolosuhteissa. Liitoksissa käytetään yleensä hitsaus- ja puristusliitoksia. Maassa oleviin liitoksiin ei suositella ruuviliittimiä niiden suuremman korroosioalttiuden vuoksi. Jos ruuviliittintä käytetään, on sen kokonaisuudessaan oltava samaa materiaalia kuin liitettävät osat, jotta ei synny sähkökemiallista korroosiota. Liitos on myös suojattava tiiviisti valamalla se esimerkiksi valuhartsin sisään. [3, s. 140.]

Jos on liitettävä toisiinsa eri materiaaleja, on liitokset tehtävä suojatussa ja säävutettavassa paikassa. Kupari- ja alumiinijohtimia ei liitetä yhteen edes kuivassa paikassa. Jos päämaadoituskiskoon tai potentiaalintauskiskoon on liitettävä alumiinisia johtimia, on kiskojen oltava tinattua kuparia. [3, s. 141.]

Hyvin tehty puristusliitos on luotettava. Onnistuminen kuitenkin edellyttää, että liitin valitaan johtimen materiaalin ja koon mukaan. Jokaiselle liittimelle käytetään juuri kyseiselle liittimelle tarkoitettuja työkaluja, joiden kunto ja puristusjälki tarkistetaan säännöllisesti. Liitettävät pinnat harjataan huolellisesti. Puristusliitosta tehtäessä puristetaan oikea puristusmäärä oikeassa järjestyksessä ja noudatetaan valmistajan asennusohjetta. [3, s. 143.]

Maadoitusjärjestelmän korroosioherkille ja suurta johtavuutta vaativille liitoksille sopii Cadweld-liitosmenetelmä. Cadweld-liitosmenetelmällä voidaan liittää toisiinsa kaikkia johdinmetalleja, kuten teräksinen betonirauditus kupariseen maadoitusjohtimeen. Menetelmä perustuu grafiittimuotin sisällä palavaan jauheeseen, joka palaessaan muuttuu sulaksi metalliksi. Muotti ohjaa sulan metallin yhdistyskohtaan yhdistäen johtimet tai johtimen ja elektrodin toisiinsa

molekyyliliitoksella. Liitoksen etuja on, että se ei vanhene, siihen ei tule korroosiota ja se on johtavuudeltaan parempi kuin itse johdin. Kuvassa 14 on havainnollistettu Cadweld-liitosmenetelmää vertaamalla sitä mekaaniseen puristusliitokseen.



Kuva 14. Cadweld-maadoitusliitos verrattuna puristusliitokseen [8].

Cadweld-liitos on tiivis ja puristusliitokseen jää aukkoja. Oikealla kuvassa 14 on valmis Cadweld-liitos.

3.4 Salamasuojauksen huomioiminen

Salamasuojauksen päämääränä on suojata rakennus salaman vaikutuksilta estämällä salamaniskut tai olemalla suoran salamaniskun kestävä. Se estää lähelle iskeneen salaman kulkeutumisen rakennukseen ja pienentää rakennuksen ja palvelujohtojen, kuten sähkö- ja vesijohtojen, lähelle osuneiden salamaniskujen sähkömagneettiset vaikutukset niin pieniksi, ettei niillä ole merkitystä. Salamasuojausta on rakennuksen ulkoista ja sisäistä. Mikäli ulkoinen salamasuojaus rakennetaan, on tehtävä myös rakennuksen sisäinen salamasuojaus. [9, s. 10.]

Salamasuojausta suunnitellessa on suositeltavaa käyttää salamasuojauksessa samaa maadoituselektrodia kuin sähköjakelu- ja muissa järjestelmissä. Salamasuojauksessa voidaan käyttää myös erillistä maadoituselektrodia, mutta se on yhdistettävä päämaadoituselektrodiin. Jos näitä ei yhdistetä, voi salaman

iskiessä tapahtua elektrodien hallitsematon yhdistyminen eri reittejä pitkin. Erilisten maadoituselektrodien ollessa kyseessä on suur- ja pienjännitejärjestelmien maadoitukset liitettävä toisiinsa, ettei muuntaja tuhoudu suur- ja pienjännitepuolen käämien ja suojamaadoitettujen osien välisen ylilyönnin seurauksena. [9, s. 14.]

Sisäisessä salamasuojauksessa tehdään tarvittavat eristykset ylilyöntien ja kipinöinnin ehkäisemiseksi, potentiaalintasaukset ja ylijännitesuojaukset sekä mahdollisesti magneettinen suojaus herkkien sähkö ja elektroniikkalaitteiden rikkoutumisen vähentämiseksi [9, s. 15]. Ulkoinen salamasuojaus käsittää salaman sieppausrakenteet ja muut kattojohtimet, alastulojohdinjärjestelmän ja maadoitusjärjestelmän [9, s. 10].

Kattojohdinjärjestelmä ja alastulojohtimet on sijoitettava siten, että suojaetäisyydellä ei ole muita maadoitettuja johtavia rakenteita. Katolla olevien johtoteiden ylittämässä voidaan käyttää eristäviä tukitankoja, joiden avulla saadaan korotettua kattojohtimia. Johtavat ja maadoitetut rakenteet voidaan myös ohittaa käyttämällä salamasuojaukseen tarkoitettua eristettyä johdinta, jolloin suojaetäisyyttä saadaan pienennettyä. Alastulojohtimen varrelle voidaan tehdä potentiaalintasauksia, joilla saadaan suojaetäisyyttä pienennettyä. [9, s. 14.]

Jos salamasuojausta ei rakenneta, vähentää tehostettu ylijännitesuojaus sekä salamaniskuista että kytkentätapahtumista aiheutuvien ylijännitteiden aiheuttamia vikoja. Yhä herkempien elektronisten järjestelmien yleistyessä hyvä ylijännitesuojaus on hyödyllinen. [9, s. 16.]

4 Potentiaalintasaus

4.1 Pääpotentiaalintasaus

Pääpotentiaalintasaus ehkäisee vaaralliset jännite-erot samanaikaisesti koskeltavien johtavien osien välillä, ja se on tehtävä jokaisessa rakennuksessa.

Potentiaalintasauksessa sähkölaitteiden jännitteelle alttiit ja muut johtavat osat liitetään samaan potentiaaliin.

Pääpotentiaalintasausjärjestelmän liitokset tehdään useimmiten päämaadoitus-kiskossa. Se sijoitetaan yleensä pääkeskuksen tai muun rakennusta syöttävän keskuksen lähelle. Kaikkien rakennuksessa olevien keskusten suojakiskot liitetään pääpotentiaalintasausjärjestelmään. Pääpotentiaalintasausjärjestelmään liitetään myös kaikkien syöttävien johtojen suojamaadoitusjohdin tai PEN-johdin. Rakennuksen ulkopuolelta tulevat syötöt, esimerkiksi vesi-, kaasu- ja kaukolämpöjohdot sekä telekaapeleiden metallivaipat, liitetään potentiaalintasaukseen mahdollisimman lähellä sisääntulokohtaa. Lisäksi näiden tulisi tulla rakennukseen samasta kohtaa, jotta mahdollisesti tulevat jännitteet eivät pääse leviämään rakennuksen rakenteisiin. [3, s. 38.]

Betoniteräksiset ja laajat metalliset runkorakenteet ovat sellaisia metallisia rakenteita, jotka voidaan ja kannattaakin yhdistää potentiaalintasaukseen aina kun se on mahdollista. Laajat yhtenäiset koko rakennukseen ulottuvat ilmastointikanavat yhdistetään pääpotentiaalintasaukseen. Kaapelihyllyjen liittäminen pääpotentiaalintasaukseen ei ole pakollista, mutta se on erittäin suositeltavaa. [3, s. 39.]

4.2 Muut potentiaalintasaukset

Lisäpotentiaalintasaukset käytetään, kun syötön automaattisella poiskytkennällä ei pystytä toteuttamaan kosketusjännitesuojausta ja halutaan erityisesti välttää haitallisia potentiaalieroja. Lisäpotentiaalintasaukset käytetään myös räjähdysvaarallisissa tiloissa potentiaalintasaukseen. Lisäpotentiaalintasaukseen on liitettävä kaikki kiinteiden sähkölaitteiden jännitteelle alttiit ja muut johtavat osat, joihin voi samanaikaisesti koskea. Betoniraidoituksen liittäminen lisäpotentiaalintasaukseen on erittäin suositeltavaa. Lisäpotentiaalintasausjärjestelmä liitetään suojajohdinjärjestelmään. Pistorasioiden suojajohdot lisätään lisäpotentiaalintasausjärjestelmään. Keskuksen suojakiskoon kytketään jännitteelle alttiit

osat. Keskuksen suojakisko liitetään lisäpotentiaalintasauskiskoon ja muut johdavat osat liitetään suoraan lisäpotentiaalintasauskiskoon. [3, s. 40.]

Mitoitusvaatimus lisäpotentiaalintasausjohtimelle on annettu standardissa [6, s.17]. Kaksi jännitteelle altista osaa toisiinsa yhdistävän johtimen poikkipinnan on oltava vähintään yhtä suuri kuin jännitteelle alttiiseen osaan kytketyn suoja- maadoitus- tai PEN-johtimen pienimmän pinta-alan. Jännitteelle alttiit osat muihin johtaviin osiin liittävä lisäpotentiaalintasausjohtimen poikkipinta-alan on oltava vähintään puolet vastaavan suojamaadoitusjohtimen pinta-alasta. Johtimen on lisäksi täytettävä suojamaadoitusjohtimen minimipoikkipinnalle annetut vaatimukset. [6, s. 17.]

5 Toiminnalliset maadoitukset

Toiminnallinen maadoitus tehdään nimensä mukaisesti toiminnallisuuden vuoksi, ei sähköiskuilta suojaamiseen. Toiminnallinen maadoitus ei täytä vaatimuksia suojamaadoitukselle. Toiminnallisen maadoituksen tunnusväri on vaaleanpunainen [10, s. 8]. Jos käytetään yhdistettyä toiminnallista maadoitusta ja suojamaadoitusta, eli toiminnallisen maadoituksen liitännät ja poikkipinnat täyttävät suojamaadoitusjohtimien vaatimukset, voidaan johtimilla käyttää keltavihreää tunnusväriä.

Toiminnallista maadoitusta käytetään, kun esimerkiksi elektroniset laitteet tarvitsevat häiriöttömästi toimiakseen maan potentiaalissa olevan vertailupisteen. Yleisiä sovelluksia toiminnalliselle maadoitukselle ovat automaatio- ja tietotekniikan kaapeleiden suojaukseen käytettävien johtimien yhdistäminen maan potentiaaliin.

Yleiskaapeloinnissa kaapelointi voidaan tehdä suojattuna. Tällöin toiminnallinen maadoitus toteutetaan vähintään kaapelin toisessa päässä. Liittämällä kaapelin suoja molemmista päistä potentiaalintasaukseen saadaan suojauskykyä suurtaajuisia sähkömagneettisia kenttiä vastaan. Sisäasennus voidaan tehdä myös

suojaamattomana, mutta kaikissa asennuksissa on varauduttava suojatun kaapeloinnin myöhempään käyttöön. [6, s. 28.]

Jakamot on varustettava toiminnallisilla maadoituskiskoilla. Toimitilakiinteistöjen ja kerrostalojen talojakamoihin on asennettava toiminnallinen potentiaalintasauskisko, joka liitetään päämaadoituskiskoon vähintään 16 mm²:n kuparijohtimella. Myös rakennuksen ulkopuolelta tulevien kaapelien metalliosat liitetään potentiaalintasauskiskoon. [6, s. 28.]

Kerros-, rivi- ja paritalojen huoneistojen kotijakamoihin on asennettava toiminnallinen potentiaalintasauskisko. Se yhdistetään ryhmäkeskuksen suojakiskoon vähintään 6 mm²:n poikki-pintaisella kuparijohtimella. Kotijakamon ja ryhmäkeskuksen ollessa samaa rakennetta yhdistäminen voidaan tehdä keskuksen rungon välityksellä. [6, s. 28.]

Omakotitalojen kotijakamoissa on oltava toiminnallinen potentiaalintasauskisko yhdistettynä rakennuksen päämaadoituskiskoon vähintään 6 mm²:n poikki-pintaisella kuparijohtimella. Potentiaalintasauskiskoon yhdistetään myös rakennuksen ulkopuolelta tulevien kaapelien metalliosat. [6, s. 28.]

6 Käytännön maadoitussuunnittelu

Työssä kartoitettiin kyselylomakkeella, kuinka suunnittelija käytännössä suunnittelee maadoitukset. Linkki lomakkeeseen julkaistiin konsernin sisäisessä sähkösuunnittelijoiden keskustelu- ja tiedotusryhmässä. Kyselyyn vastasi 13 sähkösuunnittelijaa. Lomake on esitetty liitteessä 1. Kysymyksiin 2, 3 ja 4 oli annettu vastausvaihtoehdot, muut kysymykset olivat avoimia. Kyselyyn vastasi kokeneita ja aloittelevia sähkösuunnittelijoita.

Vastaajat olivat suunnitelleet monipuolisesti maadoituksia niin tehdas- kuin asuinrakennuksiin, sairaaloihin, kouluihin, hotelli- ja toimistorakennuksiin, datakeskuksiin, sähköautonlatauksiin, maanalaisiin kohteisiin ja lentoasemalle, niin

uusiin kuin korjauskohteisiin. Osa oli suunnitellut maadoitukset alusta asti itse, osa oli tehnyt päivityksiä ja korjauksia vanhoihin kohteisiin.

Granlundin sähkösuunnittelijoilta kysyttiin, kuinka he suunnittelevat maadoituksia erityyppisiin rakennuksiin. Heiltä selvitettiin, mitä he ensin tarkistavat lähtötiedoissa ja mitkä tekijät vaikuttavat valintoihin. Heiltä selvitettiin myös, mikä on ollut vaikeaa ja millainen olisi heidän mielestään hyvä maadoituselektrodi.

6.1 Suunnittelun aloitus

Aloittaessaan maadoitusjärjestelmän suunnittelun, suunnittelijat tutustuivat ensin projektin suunnitelmiin. Asiakkaan suunnitteluohjeissa saattaa olla tarkat ohjeet vaadittavasta maadoituksesta. Suunnitelmista tarkistettiin rakennuksen pääjakelujärjestelmä ja käyttötarkoitus. Myös rakennuksen koko, rakenne ja rakennusmateriaalit selvitettiin. Rakennuksen käyttötarkoitus vaikuttaa paljon tarvittavaan maadoitukseen. Yksinkertaisimmissa tapauksissa riittää keskuksen syöttökaapelin maadoitusjohdin erillisen maadoitusjohtimen sijaan. Mahdollisesti tarvittava salamasuojaus on myös tärkeä selvittää. Terveystieteiden alan rakennuksissa ja lääkintätiloissa esimerkiksi ei saa käyttää TN-C-järjestelmää pääkeskuksen jälkeen.

Haastavissa kohteissa tarvitaan useita maadoitusjärjestelmiä, kuten lisäpotentiaalintasauksia ja häiriösuojauksia ja mahdollisesti salamasuojausta. Myös rakennuksen ympäristö ja maaperä olivat tarkastuslistalla. Maaperän suhteen erityisesti sen kosteus ja rakenne, esimerkiksi kallioisuus, vaikutti valintoihin. Pii-rustuksista tutkittiin, mihin tiloihin kannattaisi sijoittaa maadoituskiskot. Tällaisia tiloja ovat paljon pisteitä sisältävät lämmönjako-, tele- ja IV-konehuoneet ja sähköpääkeskus. Näin pystytään optimoimaan kaapelointipituudet. Tämän tarkistuksen jälkeen tutkittiin, löytyikö vastaavia vanhoja suunnitelmia hyödynnettäväksi. Liian tarkkaan vanhoja suunnitelmia ei kannata kopioida, sillä liian järeäksi suunniteltu maadoitusjärjestelmä voi tulla turhan kalliiksi hyötyihin nähden.

6.2 Suunnittelun haasteet

Suunnittelun edetessä saattaa tulla eteen vaikeita ja epäselviä kohtia. Kyselylomakkeen vastauksista tuli esille, että vaikeina asioina pidettiin erityisesti eri kohteiden erillisvaatimuksia. Standardeja ja ST-kortteja pidettiin vaikeina ymmärtää, ja niihin onkin kysytty tarkennuksia esimerkiksi Sähköinfoilta.

Maadoituksen ja potentiaalintasauksen erottaminen oli epäselvää, eli milloin käytetään maadoitusta ja missä tarvitaan potentiaalintasausta. Potentiaalintasausta koskien myös eri käytännöt toivat haasteita. Oli myös vaikea hahmottaa, mitä kaikkea tuli maadoittaa ja millä tavalla. Maadoitusten liitokset koettiin vaikeasti tulkittavina, eli miten maadoitukset tuli liittää raudoituksiin ja rakennuksen runkoon.

Tarvittavan kaapelin poikkipinta-alan valinta koettiin myös vaikeaksi, sillä mitoitusperusteet olivat epäselvät. Usein on tapana turvautua aikaisempaan ratkaisuun, jolloin saatetaan helposti ylimitoittaa maadoitusjärjestelmä. Maadoitusjohdavuuslaskelmia ei yleensä tehty, koska oli nopeampaa käyttää tuttua mitoituslaskelmaa, vaikka uhalla, että kustannustehokkuus saattoi kärsiä.

Muutoskohteissa koettiin vaikeaksi piirustusten ajantasaisuus. Ei voi luottaa täysin maadoituskaavioihin, sillä niitä ei välttämättä ole päivitetty aiempien muutosten yhteydessä.

6.3 Hyvä maadoituselektrodi

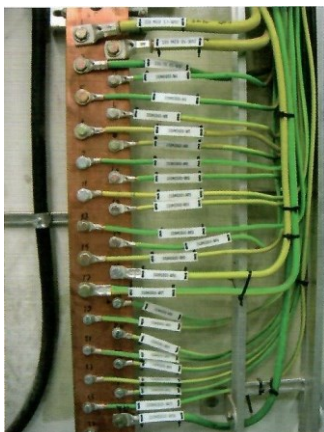
Suunnittelijoilta kysyttiin omaa mieltymystä siihen, mikä on rakennuksissa hyvä maadoituselektrodi. Suunnittelijat suosivat perustusmaadoituselektrodia lähtökohtana. Hyvä maadoituselektrodi kiertää rakennuksen ja kaikkien anturoiden raudoitusteräokset liitetään siihen. Lisäksi isommissa rakennuksissa, ja jos rakennuksessa oli salamasuojaus, on noin 20 metrin silmukakkoon verkko, eli niin sanottu gridi, rakennuksen alla. Tärkeimpänä pidettiin maadoituselektrodin muotoa, ei niinkään poikkipintaa.

Mikäli kohteessa ei ollut salamasuojausta, pidettiin riittävänä Cu25-kaapelia. Mikäli taas kohteessa oli salamasuojaus, käytettiin Cu50-kaapelia. Salamasuojatusta kohteessa suosittiin gridin ohella myös syvämaadoituselektrodeja alastulojohtimien kohdalla. Tärkeimpänä ominaisuutena pidettiin induktanssia. Hyviä liitoksia arvostettiin. Tärkeänä pidettiin myös, että asennuksiin käytettiin oikeanlaisia työkaluja vaurioiden välttämiseksi. Sähköasemien maadoittamisessa vaadittiin suurempaa kaapelimitoitusta ja niissä käytettiin Cu120-kaapelia.

Jos tontilla oli useita rakennuksia, suosittiin jokaiselle omaa maadoituselektrodiä, jotka yhdistettiin samaan maadoitusverkkoon tai yhdistettiin niiden päämaadoituskiskot. Maadoituselektrodien yhdistämiseen vaikuttivat myös rakennusten etäisyydet toisistaan. Jos rakennukset olivat 50 metrin etäisyydellä tai alle toisistaan, pidettiin yhdistämistä hyvänä. Rakennuksilla saattoi olla yhteisiä järjestelmiä, mikä vaati maadoitusjärjestelmien yhdistämistä. Jälkeenpäin lisätyissä rakennuksissa asennettiin uudelle rakennukselle oma maadoituselektrodi, joka yhdistettiin aikaisempaan.

6.4 Merkinnät ja dokumentointi

Maadoituksen merkinnöistä ja dokumentoinnista ei ole standardissa vaatimuksia, joten on hyvä noudattaa yleisiä vaatimuksia. Yleensä on hyvä tehdä maadoitusten kytkennöistä kaavio, jossa esitetään päämaadoituskiskot, maadoitus- ja potentiaalintasausjohtimet, tarpeelliset suojajohtimet ja niiden poikkipinnat. Kaavioissa esitetyt tunnuksot kiinnitetään kiskoihin ja johtimiin tai niiden välittömään läheisyyteen. Kuvassa 15 on esimerkki päämaadoituskiskoon liitetystä johtimista, jotka on merkitty selkein tunnuksin.



Kuva 15. Päämaadoituskisko, johon liitetyt johtimet on merkitty [3, s. 19].

Maadoituskiskon johtimet on tarvittaessa voitava irrottaa yksitellen kiskosta. Kun ne on merkitty hyvin, on helppo irrottaa oikea johdin.

6.5 Yhteistyö urakoitsijan kanssa

Haastattelujen perusteella oli epätietoisuutta maadoitusten toteutuksen vastuudesta suunnitelmien kanssa. Suunnittelijoilta kysyttiin lomakkeella siten myös yhteistyöstä ja sen sujuvuudesta urakoitsijan kanssa. Usein sähköurakoitsijat tilataan työmaille liian myöhään, kun anturat ja salaojat ovat jo paikoillaan. Suunnittelijan kannattaisikin ohjeistaa rakennuttajaa, missä vaiheessa esimerkiksi perustusmaadoitukset saadaan helpoiten asennettua.

Taajuusmuuttajien lisämaadoitusten liittämisissä oli ollut epäselvyyttä, liitetäänkö ne keskuksen lähdon PE-liitäntään vai keskuksen ulkoiselle maadoituskiskolle. Vaikka ne oli esitetty keskukselle niin maadoituskaaviossa, keskuksen pääkaaviossa kuin tasokuvassakin, urakoitsijat helposti liittivät ne eri paikkaan.

Urakoitsijat luonnollisesti etsivät säästöjä kaikin keinoin. On siis perusteltava mitoitus, jos tarvitsee minimivaatimukset ylittävää kaapelimitoitusta. Usein urakoitsijat myös kokemuksen mukaan vaihtavat suunnitellut Cadweld-liitokset esimerkiksi kahteen perättäiseen momentilla kierrettyyn C-liittimeen.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyössä käytiin läpi pienjännitejärjestelmien maadoitusperiaatteet ja pääkohdat sekä potentiaalintasaus yleisesti. Tämän jälkeen tarkasteltiin käytännön maadoitussuunnittelua kokeneiden suunnittelijoiden kokemusten perusteella. Kyselyyn osallistui suhteellisen vähän suunnittelijoita, mikä saattaa kuvata aiheen haastavuutta. Työn lopputuloksena saatiin ohje pienjänniteasennusten maadoituksen ja potentiaalintasauksen periaatteisiin ja käytännön suunnitteluun.

Aihealueita käsiteltiin standardien, kirjallisuuden ja käytännön maadoitussuunnittelun näkökulmasta keskittyen suomalaisiin olosuhteisiin. Aihealueena maadoitus ja potentiaalintasaus on hyvin laaja ja tärkeä. Työssä jouduttiin rajaamaan pois monia maadoituksen ja potentiaalintasauksen sovelluksia, kuten UPS-järjestelmien käsittely ja erikoistilat. Työ antaa kuitenkin hyvän käsityksen aloittelevalle suunnittelijalle, miten ja mistä lähteä liikkeelle maadoitusten ja potentiaalintasauksen suunnittelussa.

Vaikka työ antaa hyvän käsityksen maadoituksen perusteista, ei sitä kuitenkaan tule käyttää yksinään suunnittelun pohjana. Rajoitetun laajuuden vuoksi työssä ei ole kaikkia yksityiskohtaisia vaatimuksia. Työn ohella on hyvä perehtyä tapauskohtaisiin standardeihin ja muihin vaatimuksiin sekä tutustua aikaisempiin vastaaviin suunnitelmiin. Sellaisenaan aikaisempia suunnitelmia ei kannata kopioida, sillä helposti tulee suunniteltua liian järeä ja kallis maadoitusjärjestelmä.

Maadoitusjärjestelmä kannattaa tehdä siten, että siinä on tarvittaessa mahdollisuus muutoksiin ja laajennuksiin. Tilaajaan ja urakoitsijaan kannattaa pitää yhteyttä, jotta rakentamisen aikataulu on koko ajan selvillä ja maadoitukset saadaan ajallaan tehtyä. Näin tilaajan tarpeet täyttyvät ja maadoitusjärjestelmästä tulee suunnitelmien mukainen.

Lähteet

- 1 Tiainen, Esa (toim.). 2017. D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 27. painos. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 2 Kohti kestäväää ja älykästä tulevaisuutta. Verkkoaineisto. Granlund Oy. <<https://www.granlund.fi/>>. Luettu 26.4.2023
- 3 Tiainen, Esa; Nurmi, Tapani; Koivisto, Pekka; Ylinen, Timo & Kauppila, Jenna. 2019. Maadoituskirja. 7. uudistettu painos. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 4 SFS 6000-4-41. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4–41: Suojausmenetelmät. Suojaus sähköiskulta. 2022. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 5 SFS 6000-1. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Peruseriaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät. 2022. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 6 SFS 6000-5-54. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5–54: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Maadoittaminen ja suojajohtimet. 2022. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 7 Rakennusten sähköasennusten maadoitukset ja potentiaalintasaukset. 2018. ST 53.21. Sähköinfo Oy.
- 8 Cadweld-liitos. Verkkoaineisto. Tampereen sähköpalvelu. <<https://www.sahkonumerot.fi/5020004/id/420871/doc/catalogue/>>. Luettu 2.5.2023
- 9 Rakennusten salamasuojaukset. 2020. ST 53.16.01. Sähköinfo Oy.
- 10 SFS 6000-5-51. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5–51: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Yleiset säännöt. 2022. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Maadoituskysely sähkösuunnittelijoille

1. Sähköposti
2. Toimiston paikkakunta
3. Kuinka monta vuotta olet työskennellyt yrityksessä?
4. Kuinka pitkä kokemus sinulla on sähkösuunnittelusta?
5. Millaisiin kohteisiin olet suunnitellut maadoituksia?
6. Kun alat suunnitella rakennukselle maadoitusta, mihin asioihin kiinnität huomiota ja miten huomiot vaikuttavat jatkovalintoihin?
7. Mikä on ollut vaikeaa tai epäselvää?
8. Millainen on mielestäsi hyvä maadoituselektrodi rakennuksissa?
9. Jos projektissa on useita eri rakennuksia, miten maadoitukset tehdään? Yhdistetäänkö samaan maadoituselektrodiin vai onko erilliset?
10. Entä jos tontille rakennetaan jälkeempään uusi rakennus? Voidaanko hyödyntää aikaisemman rakennuksen maadoituselektrodia vai tuleeeko uudelle rakennukselle oma?
11. Herääkö maadoituksen toteutustavasta keskustelua tai mahdollisesti erimielisyyksiä urakoitsijan kanssa? Jos näin käy, millaisissa tilanteissa ja miten niistä on selvitty?
12. Sana on vapaa! Voit antaa esim. hyviä vinkkejä muille maadoituksen suunnittelijoille.