

Antti Heikkilä

Pienjännitejärjestelmien maadoitukset ja potentiaalintasaukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

8.5.2016

Tekijä(t) Otsikko	Antti Heikkilä Pienjännitejärjestelmien maadoitukset ja potentiaalintasaukset
Sivumäärä Aika	39 sivua + 3 liitettä 8.5.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	projektipäällikkö Jorma Mansner lehtori Matti Sundgren
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli luoda selkeä kokonaisuus pienjänniteasennusten maadoitusten ja potentiaalintasausten vaatimuksista, määritelmistä ja mitoituksista. Työssä tarkasteltiin myös erilaisten järjestelmien maadoitusten periaatteita. Lisäksi tavoitteena oli luoda yrityksen suunnittelijoiden käyttöön ohje maadoitusten ja potentiaalintasausten suunnittelusta. Työn taustalla oli tarve määritelmien kokoamisesta ja vaatimusten selvittämisestä yhteen julkaisuun.</p> <p>Työssä koottiin eri julkaisuissa, kuten SFS 6000–standardisarjassa, määräyksissä ja opissa, esitetyt vaatimukset ja suositukset sekä sovellettiin niitä käytännön suunnittelutyöhön sopiviksi. Pienjänniteasennusten lisäksi työssä selvitettiin lääkintätilojen ja räjähdysvaarallisten tilojen maadoitukseen liittyvät erikoisvaatimukset. Ajankohtaisista sovelluksista käsiteltiin taajuusmuuttajakäyttöihin, aurinkosähköjärjestelmiin ja vanhojen asennusten muutostöihin liittyvä määräyksiä.</p> <p>Työn tuloksena syntyi kattava selvitys pienjännitejärjestelmien maadoituksista ja potentiaalintasauksista. Selvityksessä esitetyt tärkeimmät asiat on koottu suunnitteluohjeeseen ja lisäksi järjestelmien maadoituksista on laadittu liitteissä esitetyt periaatekaaviot.</p> <p>Erilaisten järjestelmien maadoituksissa huomioitavien asioiden tiedot on koottu yhteen, joten tiedon hankkiminen ja soveltaminen käytännön suunnittelutyössä on helpompaa. Työn avulla suunnittelijoiden on helppo tutustua eri järjestelmien maadoituksissa huomioitaviin asioihin, ja suunnitteluohjeen avulla tarvittavien tietojen tarkastaminen on nopeaa.</p>	
Avainsanat	maadoitus, potentiaalintasaus, suojajohdin

Author Title	Antti Heikkilä Earthing and equipotential bonding of low voltage systems
Number of Pages Date	40 pages + 6 appendices 2 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	Electric Engineering
Instructors	Jorma Mansner, Project Manager Matti Sundgren, Principal Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to gather information about earthing and equipotential bonding of low voltage systems. The goal was to create an instruction that helps to understand the large amount of requirements and concepts. The other purpose was to create a clear and versatile instruction for the case company.</p> <p>The project was a literature study that was based on standards and other requirements in Finnish literature. The project combined scattered information from these various sources. In addition, examples of different kinds of earthing figures were presented.</p> <p>The project resulted in this Bachelor's thesis a wide report about earthing in different systems, to be used as a basic information source. Furthermore, a useful instruction for electric designers of the case company was created. The study and the instruction together provide a good source of information for designers about earthing and equipotential bonding of low voltage systems.</p>	
Keywords	earthing, equipotential bonding, PE conductor

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Johtimien tunnusvärit ja merkinnät	2
3	Jakelujärjestelmät	4
3.1	TN-S-järjestelmä	5
3.2	TN-C-järjestelmä	6
3.3	TN-C-S-järjestelmä	7
3.4	IT-järjestelmä	8
4	Maadoitukset ja potentiaalintasaukset	9
4.1	Suojamaadoitus	9
4.2	Toiminnallinen maadoitus	10
4.3	Pääpotentiaalintasaus	11
4.4	Lisäpotentiaalintasaus	11
4.5	Toiminnallinen potentiaalintasaus	12
5	Maadoituselektrodit	13
5.1	Yleistä	13
5.2	Rakenne	13
5.3	Perustusmaadoituselektrodi	14
5.4	Muut elektrodirakenteet	15
6	Johtimet	16
6.1	Maadoitusjohdin	17
6.2	Suojamaadoitusjohdin	17
6.3	Vahvistettu suojajohdin	18
6.4	Toiminnallinen maadoitusjohdin	19
6.5	Pääpotentiaalintasausjohdin	19
6.6	Lisäpotentiaalintasausjohdin	19
6.7	Toiminnallinen potentiaalintasausjohdin	20

7	Tietojärjestelmien maadoitukset ja potentiaalintasaukset	20
7.1	Maadoitustavat	21
7.1.1	Tähtimäinen maadoitusjärjestelmä	21
7.1.2	Rengasmaainen maadoitusjärjestelmä	22
7.1.3	Paikallisesti silmukoitu maadoitusjärjestelmä	24
7.1.4	Silmukoitu maadoitusjärjestelmä	24
7.2	Laitteiden ja kaappien potentiaalintasaus	25
7.3	Häiriösuojauksen ongelmakohtia	26
8	Yhteisantennijärjestelmien maadoitukset ja potentiaalintasaukset	26
8.1	Antennimaston suojaus	26
8.2	Potentiaalintasaus	27
9	Lääkintätilat	28
9.1	Yleiset ominaisuudet	28
9.2	Lisäpotentiaalintasaus	29
9.3	Lääkintä IT-järjestelmä	29
10	Räjähdysvaaralliset tilat	30
11	Eri järjestelmien maadoitusperiaatteita	32
11.1	Liittymä, jossa on muuntamo	32
11.2	PEN-johdin	32
11.3	Pienoisjännitejärjestelmät	33
11.4	Aurinkosähköjärjestelmät	34
11.5	Taajuusmuuttajat	35
12	Dokumentaatio ja tarkastukset	35
12.1	Dokumentaatio	35
12.2	Käyttöönottotarkastukset	36
12.2.1	Aistinvarainen tarkastus	36
12.2.2	Maadoitusresistanssin mittaus	36
12.2.3	Eristysresistanssin mittaus	37
12.2.4	Suojajohtimien jatkuvuusmittaus	37
12.3	Kunnossapitotarkastukset	38
13	Yhteenveto	38

Liitteet

Liite 1. Maadoituksiin liittyvät määritelmät.

Liite 2. Esimerkki ryhmän 2 lääkintätilan maadoituksista ja potentiaalintasauksista.

Liite 3. Esimerkki ryhmän 1 lääkintätilan maadoituksista ja potentiaalintasauksista.

Lyhenteet

FELV	Functional Extra Low Voltage. Toiminnallinen pienoisjännite.
IT	Isolated Terra. Maasta erotettu järjestelmä.
PE	Protective Earth. Suojamaadoitus.
PELV	Protective Extra Low Voltage. Suojaava pienoisjännite.
SELV	Safety Extra Low Voltage. Turvallinen pienoisjännite.
TN-C	Terra Neutral Combined. TN-C-järjestelmässä on yhdistetty nolla- ja suojamaadoitusjohdin.
TN-S	Terra Neutral Separated. TN-S-järjestelmässä on nollajohtimesta erillinen suojamaadoitusjohdin

1 Johdanto

Maadoitus- ja potentiaalintasausjärjestelmät muodostavat sähköasennusten turvallisen ja luotettavan toiminnan kannalta tärkeän kokonaisuuden. Maadoitusten ensisijainen tehtävä on henkilösuojaus. Maadoittaminen rajoittaa vikatapauksissa esiintyviä kosketusjännitteitä ja takaa suojalaitteiden oikean toiminnan. Lisäksi maadoituksia tehdään toiminnallisista syistä laitteiden ja järjestelmien häiriöttömän toiminnan varmistamiseksi. Etenkin tietoliikennejärjestelmien jatkuva kasvu vaatii maadoitusten ja potentiaalintasauksen oikeanlaista käyttöä. Sähkön kulutuksen ja energiatehokkuusvaatimusten kasvaessa erilaisten järjestelmien käyttö on kasvussa, ja eri järjestelmillä on maadoitusten osalta erilaisia vaatimuksia.

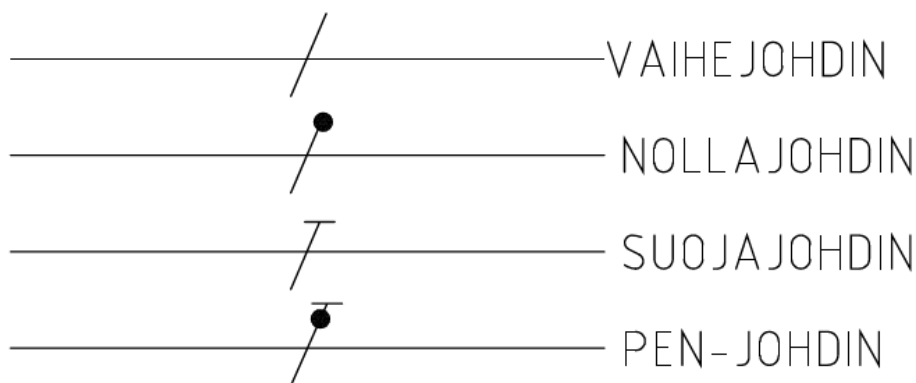
Standardisarja SFS 6000 antaa vaatimukset maadoitusten ja potentiaalintasauksen toteuttamiselle, mutta standarditekstin vaikeaselkoisuus ja tiedon jakautuminen eri osiin tekee tiedon hankkimisesta ja asioiden nopeasta tarkastamisesta hankalaa. Lisäksi maadoituksiin ja potentiaalintasauksiin liittyy suuri määrä toisiaan hyvin lähellä olevia käsitteitä, mikä saattaa aiheuttaa sekaannusta niiden samankaltaisuuden takia. Esimerkiksi eri järjestelmiin kuuluville johtimille on erilaiset vaatimukset, joten johtimien oikea nimeäminen on tärkeää oikean mitoituksen varmistamiseksi.

Tämän työn tavoitteena on luoda selkeä ja ymmärrettävä kokonaisuus pienjänniteasennusten maadoituksista ja potentiaalintasauksista määritelmineen ja mitoitusvaatimuksineen sekä esittää erilaisten järjestelmien peruseräkkeet. Tietoliikenne- ja antennijärjestelmien maadoitusten lisäksi työssä on käsitelty räjähdysvaarallisten tilojen ja lääkin-
tätilojen maadoituksia. Maadoituksiin liittyvät käsitteet on niiden suuren määrän vuoksi koottu liitteeseen 1. Lisäksi liitteissä on esitetty eri järjestelmien maadoitusten periaatekaaviot. Kirjallisuus selvityksen lisäksi työn toinen tavoite oli tuottaa Hepacon Oy:n suunnittelijoiden käyttöön maadoitusten suunnitteluohje.

Työ on laadittu talotekniikan suunnittelu- ja konsultointiyhtiön Hepacon Oy:n toimeksiannosta. Hepacon Oy on vuonna 1978 perustettu kotimainen yritys, joka tarjoaa talotekniikan suunnittelupalveluita sähköalan lisäksi myös LVI- ja rakennusautomaatioaloilla.

2 Johtimien tunnusvärit ja merkinnät

Seuraavassa on esitelty maadoitus- ja potentiaalintasausjärjestelmien johdinten tunnusvärit ja merkinnät. Vaihejohtimia ei tässä ole erikseen käsitelty. Johtimien tunnusmerkinnät on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Johtimien piirrosmerkit [1, s.45].

Suojajohdin

Eristetty suojajohdin (maadoitusjohdin, suojamaadoitusjohdin, PEN-johdin ja potentiaalintasausjohdin) on tunnistettava koko matkaltaan kelta-vihreällä väriyhdistelmällä. Tätä väriyhdistelmää saa käyttää ainoastaan suojamaadoitukseen ja suojaaviin potentiaalintasauksiin. Suojamaadoitusjohtimena voidaan käyttää kaapelin konsentrista johdinta, jolloin tämä on merkittävä molemmissa päissä kelta-vihreällä merkinnällä tai kirjainmerkinnällä PE. Suojamaadoitus- ja nollajohtimena käytettävä johdin on niin ikään merkittävä molemmissa päissä kelta-vihreällä merkinnällä tai kirjainyhdistelmällä PEN. [2, s. 28–29.]

Nollajohdin

Nollajohdin on tunnistettava koko pituudeltaan sinisellä tunnusvärillä. Sinisen johtimen puuttuessa nollajohtimena voidaan käyttää muun väristä johdinta paitsi kelta-vihreää. Tällöin johtimen molemmat päät on merkittävä sinisellä lisämerkinnällä tai kirjainmerkinnällä N. Jos monijohdinkaapelissa ei tarvita nollajohdinta, voidaan sinistä johdinta käyttää vaihejohtimena. Tällöin johdin täytyy merkitä vaihejohtimen tunnusvärillä. Esimerkiksi valaistuksen kytkennöissä käytetään usein sinistä johdinta vaihejohtimena. [2, s. 28–29.]

Toiminnallinen maadoitusjohdin ja potentiaalintasausjohdin

Toiminnallisille maadoitus- ja potentiaalintasausjohtimille ei ole määritetty tunnusväriä, mutta yleisin vakiintunut tunnusväri on musta. Suositellaan, että koko asennuksessa käytetään samaa tunnusväriä ja johtimet merkitään johtimien päissä. Pelkästään toiminnalliseen maadoitukseen käytettävän johtimen tunnusvärinä ei saa käyttää kelta-vihreää. Sekä suojaavaan että toiminnalliseen maadoitukseen käytetyn johtimen värinä käytetään kelta-vihreää. Toiminnallisen maadoituksen tunnus on FE. Aiemmin toiminnallisesta maadoituksesta on käytetty termiä häiriötön maa ja tunnusta TE, joka on edelleen käytössä joissain sovelluksissa. Toiminnallisesta potentiaalintasauksesta käytetään kirjainyhdistelmää FB. [2, s. 22–29.]

Vanhat johdinvärit

Aiemmin käytettyjen johdinvärien tunteminen on sähköalalla tärkeää, koska edelleen vanhoissa rakennuksissa on käytössä vanhojen värijärjestelmien mukaisia asennuksia. Sähköturvallisuusmääräykset A1-74 vuodelta 1974 määrittivät uuden värijärjestelmän, jossa suojaajohtimen väriksi määritettiin kelta-vihreä ja nollajohtimen väriksi vaaleansininen. Tähän asti suojaajohtimen väri oli punainen ja nollajohtimen väri puolestaan harmaa. Vanhoissa asennuksissa saattaa edelleen törmätä tämän aikaisen värijärjestelmän mukaisiin johtimiin. Sähköturvallisuusmääräykset vuodelta 1989 puolestaan toi käsitteistön PEN-johtimen, jonka tunnusväriksi määriteltiin kelta-vihreä. Johdin tuli merkitä vaaleansinisellä lisämerkinnällä ja lisäksi suositeltiin johtimeen merkittäväksi kirjainyhdistelmä PEN. Suoja- ja nollajohtimia koskevat määräykset ovat pysyneet vuodesta 1974 samoina sillä poikkeuksella, että vuodesta 2000 nollajohtimen tunnusväri on ollut sininen eikä vaaleansinistä tunnusteta enää omana värinään. Kiskojen osalta määräykset muuttivat niin ikään vuoden 1974 sähköturvallisuusmääräyksissä. Aiemmin nollakiskon tunnusvärinä oli käytetty harmaata, joka muuttui johtimen tapaan vaaleansiniseksi. PE-kiskon värinä oli ennen kelta-vihreää käytetty mustaa, josta tuli toiminnallisen maadoituksen tunnusväri. [3, s. 3–5.]

3 Jakelujärjestelmät

Jakelujärjestelmällä tarkoitetaan kokonaisuutta, jolla kulutettava teho jaetaan loppukäyttäjälle. Järjestelmät erotetaan toisistaan johtimien tyyppien ja järjestelmän maadoitustavan mukaan. Maadoitustavan mukaan tunnetaan TT-, IT- ja TN-järjestelmät. TT-järjestelmässä yksi piste on maadoitettu suoraan ja sähkölaitteistojen jännitteelle alttiit osat on maadoitettu erikseen maadoituselektrodin avulla. Järjestelmä ei ole käytössä Suomessa, mutta sen käyttö on yleistä Etelä-Euroopassa. IT-järjestelmä on maasta erotettu eli mitään järjestelmän osaa ei ole yhdistetty suoraan maahan tai yksi piste on yhdistetty maahan impedanssin välityksellä, jolloin puhutaan sammutetusta verkosta. IT-järjestelmässä ei suositella nollajohtimen käyttöä. IT-järjestelmää käytetään esimerkiksi sairaaloiden leikkaussaleissa ja teollisuuden verkoissa. [2, s. 44–49.]

TN-järjestelmässä yksi piste on yhdistetty suoraan maahan tehonlähteessä, ja sähkölaitteistojen jännitteelle alttiit osat on yhdistetty tähän pisteeseen. Johtimen tyyppin perusteella tunnetaan kolme eri TN-järjestelmää:

- TN-C-järjestelmässä on yhdistetty nolla- ja suojamaadoitusjohdin koko järjestelmässä.
- TN-S-järjestelmässä on nollajohtimesta erillinen suojamaadoitusjohdin koko järjestelmässä.
- TN-C-S-järjestelmässä on yhdistetty nolla- ja suojamaadoitusjohdin osassa järjestelmää. [2, s. 44–49.]

Kaikki kolme TN-järjestelmää ovat käytössä Suomessa. Taulukossa 1 on esitetty järjestelmien kirjaintunnusten muodostuminen.

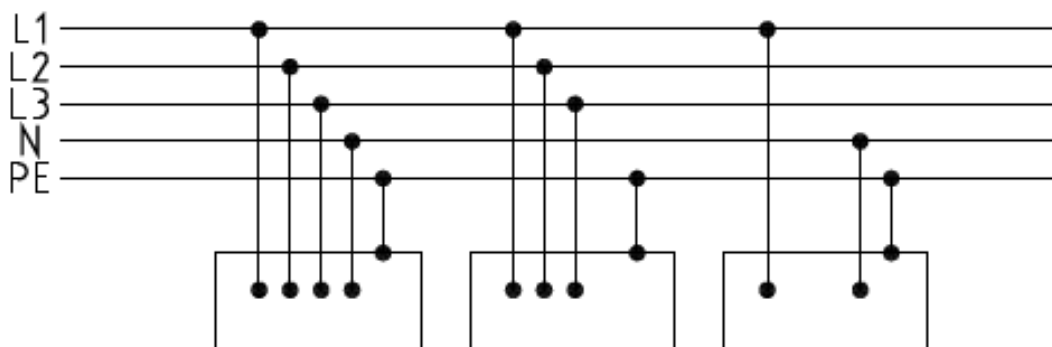
Taulukko 1. Jakelujärjestelmien tunnukset [2, s. 44].

Ensimmäinen kirjain: Jakelujärjestelmän maadoitustapa	T	yksi piste on yhdistetty suoraan maahan
	I	jännitteiset osat on eristetty maasta tai yksi piste on yhdistetty maahan impedanssin kautta
Toinen kirjain: Jännitteelle alttiiden osien maadoitustapa	T	osat on yhdistetty galvaanisesti suoraan maahan riippumatta jakelujärjestelmän maadoitustavasta
	N	osat on yhdistetty jakelujärjestelmän maadoitettuun pisteeseen
Nolla- ja suojamaadoitusjohtimet	S	erilliset nolla- ja suojamaadoitusjohtimet
	C	yhteinen nolla- ja suojamaadoitusjohdin

3.1 TN-S-järjestelmä

TN-S-järjestelmässä on käytössä nollajohtimesta erillinen suojajohdin koko järjestelmässä, joten erillisessä nollajohtimessa kulkeva epäsymmetrisistä kuormituksista ja yliaalloista aiheutuva virta ei pääse suojamaadoitusten kautta aiheuttamaan häiriöitä tietojärjestelmille ja elektroniikkalaitteille. Järjestelmässä tulee huolehtia siitä, että suojamaadoitusjärjestelmä yhdistetään nollapiiriin ainoastaan yhdessä pisteessä, yleensä pääkeskuksessa. Uudiskohteissa TN-S-järjestelmää käytetään pääkeskuksesta eteenpäin, ja peruskorjattavissa rakennuksissa tulee siirtyä käyttämään erillistä suojajohdinta, jos rakennuksessa on tai tulee olemaan paljon tietotekniikan laitteistoja. Standardisarja SFS 6000 ei suoraan velvoita TN-S-järjestelmän käyttöä, mutta ehdottomasti suosittelee sen käyttöä aina. [2, s. 32–33] Myös peruskorjattavissa asuintaloissa TN-S-järjestelmään siirtyminen on perusteltua. Esimerkiksi peruskorjattavassa kerrostaloyhtiössä keskusten uusiminen nykyaikaisiksi, suojamaadoitettuihin pistorasioihin siirtyminen ja valokuidulla toteutettujen tietoliikennejärjestelmien rakentaminen parantavat niin henkilösuojausta, laitteiden häiriötöntä toimintaa kuin asumismukavuuttakin.

TN-S-järjestelmää voidaan käyttää joko yksi- tai kolmivaihejärjestelmässä. Yksivaihejärjestelmässä johtimia on tavallisesti kolme (L+N+PE). Kolmivaihejärjestelmässä puolestaan johtimia on viisi (3L+N+PE) tai symmetristen kuormien tapauksessa neljä (3L+PE), koska nollajohdinta ei esimerkiksi moottorikäyttöissä tarvita. Kuvassa 2 on esitetty erilaiset kytkennät TN-S-järjestelmässä. [4, s. 63.]

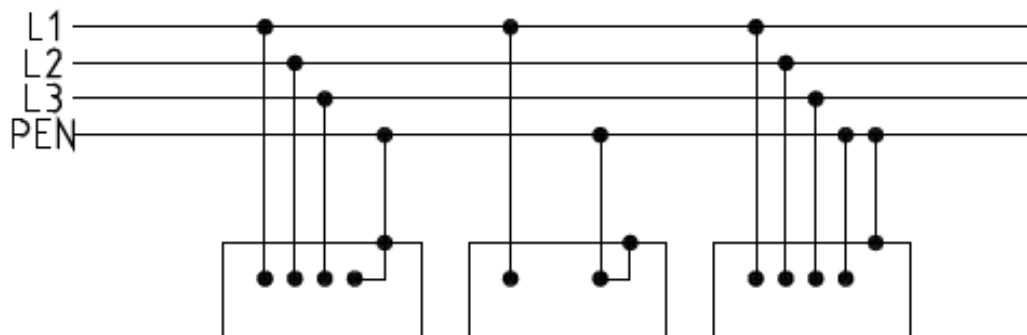


Kuva 2. TN-S-järjestelmän periaate [4, s. 63].

Suojausluokan II laitteiden liitännäjohtoissa ei ole suojajohdinta, koska kaksoiserityksen takia suojamaadoitusta ei tarvita. Pelkästään luokan II syöttävissä ryhmissä suojamaadoitusjohdinta ei siten tarvita, mutta se tulee kuitenkin yleensä asentaa laitteiden myöhempiä vaihtamista ajatellen. Esimerkiksi muovirunkoisissa valaisimissa ei ole koskettavissa olevia jännitteelle alttiita osia, jotka tulisi maadoittaa. Valaisimen myöhempi vaihtaminen metallirunkoiseen vaatii puolestaan suojamaadoituksen, joten ryhmäjohtossa suojamaadoitusjohtimen tuominen kulutuspiisteeseen ja kytkemättä jättäminen on yksinkertainen ratkaisu.

3.2 TN-C-järjestelmä

TN-C-järjestelmässä on yhteinen nolla- ja suojamaadoitusjohdin (PEN-johdin) koko järjestelmässä. TN-C-järjestelmä on käytössä jakeluverkoissa ja aiemmin sitä on käytetty yleisesti myös liittymien sisäisissä verkoissa. Suurin syy erilliseen suojamaadoitusjohtimeen siirtymiseen sisäverkoissa on ollut se, että yhdistetyn suojamaadoitus- ja nollajohdinten katkeamisen seurauksena maadoitetut osat tulevat jännitteiksi. Katkeamisen riskin vähentämiseksi TN-C-järjestelmässä on vaatimus johtimien vähimmäispoikkipinta-alasta, jonka on oltava vähintään 10 mm² kuparilla ja 16 mm² alumiinilla. Siirrettävissä järjestelmissä PEN-johdinta ei saa käyttää ollenkaan, koska siirrettävän kaapelin katkeamisen riskiä pidetään suurempana kuin kiinteästi asennetun. Lisäksi tietojärjestelmien tehokas häiriösuojaus vaatii nollajohdimesta erillisen suojamaadoituksen, koska PEN-johtimessa kulkeva nollavirta aiheuttaisi tietojärjestelmien häiriöitä. [4, s. 63–64.]

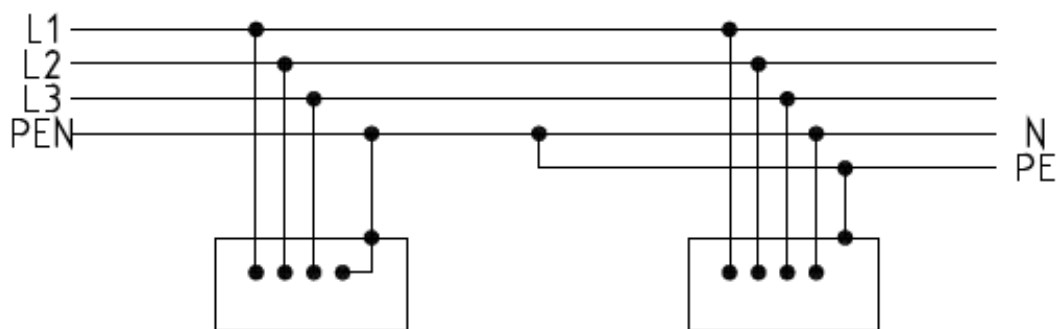


Kuva 3. TN-C-järjestelmän periaate [4, s 64].

Kuvan 3 keskimmaisessä tilanteessa on esitetty kytkentä, jossa jännitteelle altis osa on yhdistetty nollajohtimeen. Tämän niin sanotun nollauksen vaara liittyy nollajohtimen mahdolliseen irtoamiseen tai katkeamiseen, jolloin jännitteelle altis osa, kuten laitteen runko, saattaa tulla jännitteiseksi. Lisäksi tällaisten johdinten poikkipinta-ala ei aina täytä PEN-johtimen vaatimuksia. Nollaus on aiemmin ollut yleisesti käytössä, ja vanhoissa asennuksissa nollauksia on edelleen käytössä. Vanhojen asennusten muutostöissä nollauksia saa edelleen käyttää, mutta nollauksen saa suorittaa vain päättyvässä johdossa. Esimerkiksi ketjutettavissa pistorasioissa on käytettävä erillisiä nolla- ja suojamaadoitusjohtimia. Tämän vaatimuksen seurauksena muutostöissä ratkaisu on yleensä vaihtaa kaksijohdinjärjestelmä kolmijohdinjärjestelmäksi. [5.]

3.3 TN-C-S-järjestelmä

TN-C-S-järjestelmä on edellä mainittujen järjestelmien yhdistelmä, jossa PEN-johdin on aina syöttävän verkon puolella. Kerran erotettua suojajohdinta ei saa uudelleen yhdistää nollajohtimeen. [4, s. 64.] Mikäli TN-C-S-järjestelmässä on kuvan 4 mukaisesti sekä erilliseen nollajohtimeen että PEN-johtimeen yhdistettyjä laitteita, saattaa PEN-johtimessa kulkeva virta aiheuttaa potentiaalieron laitteiden kosketeltavien runkojen välille. Tämä voi aiheuttaa laitteita samanaikaisesti kosketettaessa pieniä sähköiskuja. Mikäli laitteiden välillä kulkee tiedonsiirtokaapeleita, saattaa lisäksi syntyä potentiaalierojen aiheuttamia kiertovirtoja. [6.]

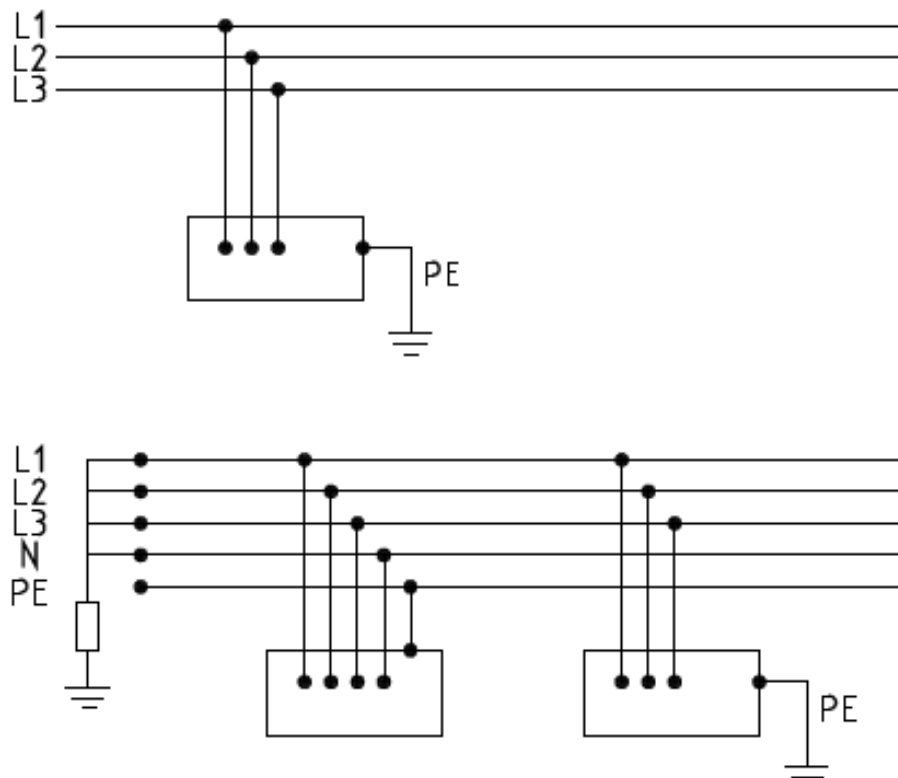


Kuva 4. TN-C-S-järjestelmän periaate [4, s. 64].

TN-C-S-järjestelmä on Suomessa yleisesti käytössä jakeluverkoissa. Kiinteistön pääkeskusta syötetään nelijohdinkaapelilla ja pääkeskuksella järjestelmä muutetaan viisijohdinjärjestelmäksi.

3.4 IT-järjestelmä

IT-järjestelmässä mitään jännitteistä osaa ei ole kytketty suoraan maahan, jolloin puhutaan maasta erotetusta järjestelmästä. Erotuksen toiminnan varmistamiseksi IT-järjestelmässä käytetään eristystilan valvontajärjestelmää. Nollajohdinta voidaan käyttää, mutta suosituksena on jättää se pois. Yksivaiheinen maasulku ei vielä aiheuta sähkönsyötön katkeamista. Tästä syystä IT-järjestelmää käytetään kriittisissä kulutuskohteissa kuten teollisuusprosesseissa ja lääkintätiloissa. Lisäksi joidenkin UPS-laitteiden jälkeinen verkko on toteutettu IT-järjestelmällä. Maasta erotetun järjestelmän heikkous on yksivaiheisen maasulun paikantamisen vaikeus.



Kuva 5. IT-järjestelmä [4, s. 67].

Kuvassa 5 on esitetty IT-järjestelmän kytkentöjä. Ylemmässä tapauksessa nollajohdinta ei ole, ja jännitteelle altis osa on maadoitettu suoraan. Alemmassa kuvassa virtapiiri on

kytketty maahan impedanssin kautta ja nollajohdin on käytössä. Oikean puoleisessa tapauksessa nollajohdin ei ole käytössä.

4 Maadoitukset ja potentiaalintasaukset

Maadoitusjärjestelmän ensisijainen tehtävä on pienentää vikatapauksissa esiintyviä kosketusjännitteitä. Lisäksi maadoituksella luodaan vikavirralle ohjattu ja luotettava reitti maahan. Tällöin vian sattuessa vikapiirissä syntyvä virta on niin suuri, että suojalaitteet toimivat vaatimusten mukaan. Maadoitus estää myös jännitteiden siirtymistä eri järjestelmien välillä ja estää kipinöiden ja valokaarien syntymistä. Lisäksi aiemmin mainittuja kosketusjännitteitä pienennetään liittämällä jännitteelle alttiit osat ja muut johtavat osat potentiaalintasausjärjestelmään tasapotentialin saavuttamiseksi. Henkilösuojauksen lisäksi maadoitusjärjestelmien tarkoituksena on estää häiriöiden syntyminen tele- ja tietoliikennejärjestelmissä sekä ilmastollisten ylijännitteiden aiheuttamia laitevaurioita ja vaaratilanteita. [4, s. 275.]

Suojamaadoitus ja potentiaalintasaus täytyy käsitteinä erottaa toisistaan. Esimerkiksi metallista vesijohtoputkea ei suojamaadoiteta, vaan se liitetään pääpotentiaalintasausjärjestelmään. Tosin pääpotentiaalintasausjärjestelmä liitetään suojamaadoitusjärjestelmään päämaadoituskiskolla, jolloin myös metallinen vesijohtoputki on yhteydessä maahan tätä kautta. Metallinen asennusputki, jonka sisällä on peruseristettyjä johtimia, puolestaan pitää suojamaadoittaa. [4, s. 294.]

Maadoitukset jaetaan suojamaadoituksiin ja toiminnallisiin maadoituksiin. Suojamaadoituksen tunnuksena käytetään kirjainyhdistelmää PE ja toiminnallisen maadoituksen tunnuksena puolestaan kirjaimia FE. Yhtäläisesti potentiaalintasaukset jaetaan suojaaviin ja toiminnallisiin potentiaalintasauksiin. Suojaava potentiaalintasaus jaetaan edelleen pääpotentiaalintasaukseen ja lisäpotentiaalintasaukseen. [7, s. 22–23, 69.]

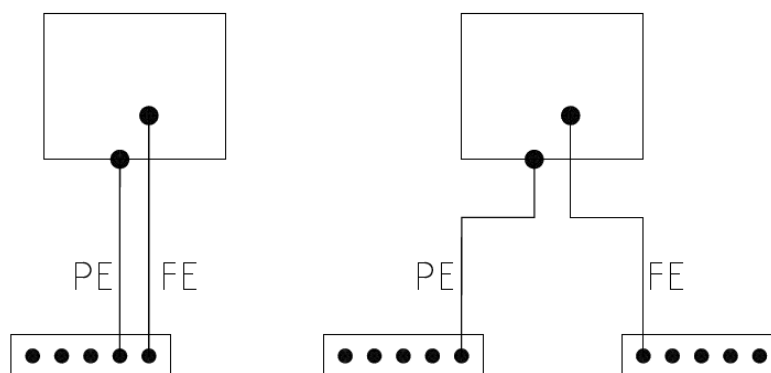
4.1 Suojamaadoitus

Suojamaadoitusjärjestelmän runko muodostuu maadoituselektrodista ja päämaadoituskiskosta sekä näiden välisestä maadoitusjohtimesta. Päämaadoituskisko sijoitetaan

yleensä pääkeskuksen läheisyyteen. Päämaadoituskiskoon liitetään pääkeskuksen suojakisko ja pääpotentiaalintasausjärjestelmän johtimet. Pääkeskuksen suojakisko toimii tärkeänä koontipisteenä, koska siihen liitetään syöttökaapelin suojajohdin tai PEN-johdin ja ryhmäkeskuksia syöttävien pääkaapelien suojajohtimet. Käytännössä kaikkien suojamaadoitettujen laitteiden maadoitus kulkee pääkeskuksen suojakiskon kautta. Esimerkiksi kerrostaloasunnon pistorasia liitetään ryhmäkaapelin suojajohtimella asunnon ryhmäkeskuksen suojakiskoon, joka puolestaan liitetään joko nousukeskuksen kautta tai suoraan pääkeskuksen suojakiskoon. Ryhmäkeskus voidaan lisäksi liittää kerroksen erilliseen potentiaalintasauskiskoon, jolloin yhteys maapotentiaaliin on parempi. [8, s. 17.]

4.2 Toiminnallinen maadoitus

Toiminnallinen maadoitus liittyy nimensä mukaisesti laitteiden toimintaan. Jotkin tietotekniikan laitteet tarvitsevat toimiakseen suunnilleen maan potentiaalissa olevan referenssijännitteen, jolloin laitteessa on erillinen liitin toiminnallista maadoitusta varten [9, s. 31]. Joissakin aurinkosähköjärjestelmissä tarvitaan toiminnallinen maadoitusjohdin, joka ohjaa kennojen vuotovirtoja maahan. Toiminnallisten maadoitusten tapauksessa on tärkeää muistaa käyttää eriväristä johdinta kuin kelta-vihreää. Suositeltava väri on musta. Kuvassa 6 on esitetty toiminnallisen maadoituksen kytkentätapoja. Vasemmanpuoleisessa tilanteessa suojamaadoitusjohdin ja toiminnallinen maadoitusjohdin on yhdistetty ryhmäkeskuksen suojakiskoon. Oikeanpuoleisessa kuvassa on toiminnalliselle maadoitukselle erillinen maadoituskisko, joka yhdistetään ryhmäkeskuksen suojakiskoon.



Kuva 6. Toiminnallisen maadoituksen kytkentätavat [7, s. 26].

4.3 Pääpotentiaalintasaus

Jokaisessa rakennuksessa on tehtävä pääpotentiaalintasaus, jonka tarkoituksena on ehkäistä vaarallisten jännite-erojen esiintyminen samanaikaisesti kosketeltavien johtavien osien välillä. Samalla potentiaalierojen aiheuttama rasitus laitteiden eristyksille vähenee, jolloin laitteiden käyttöikä pitenee ja turvallinen käyttö paranee. Liitännät tehdään yleensä päämaadoituskiskossa, mutta suuressa asennuksessa voidaan käyttää erillistä pääpotentiaalintasauskiskoa tai erillisiä potentiaalintasauskiskoja, jotka liitetään päämaadoituskiskoon. Esimerkiksi iv-konehuoneessa, teletilassa tai lämmönjakuhuoneessa voidaan käyttää potentiaalintasauskiskoa, johon kootaan kaikki tilan potentiaalintasausjohtimet. Tämä potentiaalintasauskisko liitetään edelleen päämaadoituskiskoon. [4, s. 295–298.]

Muita johtavia osia liitettäessä potentiaalintasaukseen voidaan käyttää johtavia rakennesosia kuten putkistoja. Lisäksi potentiaalintasauksessa ei ole kieltoa niin sanotusta sarjamaadoituksesta, vaan osat voidaan ketjuttaa toisiinsa. Rakennukseen tulevat syötöt, kuten metalliset vesi-, kaasu- ja kaukolämpöputket, liitetään pääpotentiaalintasaukseen. Nämä syötöt tulisi tuoda rakennukseen samasta kohtaa, jolloin mahdolliset jännitteet eivät leviä rakenteisiin. Muoviputkia käytettäessä metalliset putkiston osat jäävät lyhyiksi eikä niihin todennäköisesti joudu vierasta potentiaalia, joten ne voi jättää liittämättä pääpotentiaalintasaukseen. Betonin sisään asennettujen betoniterästen liittäminen pääpotentiaalintasaukseen ei ole pakollista, mutta niiden laajuuden ansiosta saavutetaan hyvä potentiaalintasausvaikutus. Muista johtavista osista pääpotentiaalintasaukseen liitetään lisäksi metalliset putkistot, kuten vesijohto- ja keskuslämmitysputkistot. Kaapelihyllyjen liittäminen ei myöskään ole pakollista, mutta häiriösuojauksen takia liittäminen kannattaa tehdä. Lisäksi kaapelihyllyyn saattaa tulla jännite esimerkiksi johtimen eristysvian takia. Joillakin kaapelihyllyvalmistajilla on valikoimissaan potentiaalintasaukseen tarkoitettuja kaapelihyllyjä. [4, s. 295–298.]

4.4 Lisäpotentiaalintasaus

Lisäpotentiaalintasaukseen käytetään, kun halutaan välttää haitallisia potentiaalieroja tai syötön nopealla poiskytkennällä ei voida toteuttaa kosketusjännitesuojaukseen. Lisäpotentiaalintasaukseen käytetään lähinnä lääkintätiloissa, räjähdysvaarallisissa tiloissa, eläinsuo-

jissa ja ahtaissa johtavissa tiloissa. Peseytymistiloissa ja uima-allastiloissa lisäpotentiaaalintasausta käytetään jonkin verran, mutta merkitys on vähäinen, koska nykyään käytettävät putket ovat pääasiallisesti muovia ja rakennuksissa on tehty määräysten mukainen pääpotentiaaalintasaus. Tämän takia lisäpotentiaaalintasausta ei enää vaadita peseytymistiloissa. [2, s. 40–41.]

Lisäpotentiaaalintasausjärjestelmään yhdistetään kaikki samanaikaisesti kosketeltavat jännitteelle alttiit osat ja muut johtavat osat, ja se liitetään osaksi suojamaadoitusjärjestelmää. [2, s. 40–41] Lisäpotentiaaalintasaus tulee käsitteenä erottaa toiminnallisesta potentiaaalintasauksesta. Ero on helppo ymmärtää käytön tarkoituksen kautta, koska lisäpotentiaaalintasaus tehdään suojauksen takia ja toiminnallinen puolestaan nimenomaan toiminnan takia.

4.5 Toiminnallinen potentiaaalintasaus

Toiminnallinen potentiaaalintasaus tarkoittaa jonkun muun syyn kuin suojauksen takia tehtyä potentiaaalintasausta. Yleensä toiminnallinen potentiaaalintasaus liittyy sähkölaitteiden häiriösuojaukseen. Luvussa 7.1 Maadoitustavat on esitetty tietojärjestelmien maadoitusten ja potentiaaalintasausten toteutuksia. Esimerkiksi tietojärjestelmään kuuluva laite saa syötön suojamaadoitetusta pistorasiasta, joten sen metallinen runko on suojamaadoitettu tätä kautta. Jos laite yhdistetään häiriösuojauksen takia lisäksi laittilan potentiaaalintasauskiskoon, on laitteen rungolla kaksi yhteyttä maadoitusjärjestelmään. Tämä osaltaan parantaa myös suojausta, koska vian sattuessa vikavirralla on kaksi maayhteyttä. Vikavirta niin sanotusti etsii lyhyemmän reitin maahan. Joissain tapauksissa potentiaaalintasauskiskolta saattaa olla lyhyempi reitti päämaadoituskiskolle ja siitä edelleen maadoituselektrodille kuin ryhmäkeskuksen suojakiskon kautta.

5 Maadoituselektrodit

5.1 Yleistä

Maadoitusjärjestelmällä tulee olla luotettavan toiminnan takaamiseksi pieni maadoitusresistanssi ja hyvä potentiaalintasausvaikutus. Maadoituselektrodin tarkoitus on luoda johtava yhteys maahan. Standardin SFS 6000-4-41 kohdan 411.4.2 mukaan jokaisessa sähköliitymässä, jota syötetään PEN-johtimella, on oltava maadoituselektrodi. Jos liittymän sisäisessä rakennusten ulkopuolisessa verkossa käytetään PEN-johdinta, lisävaatimuksena on maadoituselektrodin asentaminen jokaisen vähintään 200 metrin pituisen johtohaaran päähän tai enintään 200 metrin päähän siitä. [8, s. 21.]

5.2 Rakenne

Maadoituselektrodin tyyppi, materiaali ja mitoitus on valittava niin, että korroosionkesto ja mekaaninen lujuus ovat riittävät. Korroosion takia huomioon otettavia tekijöitä ovat paikallisen maan pH-arvo, maaperän resistiivisyys, maan kosteus, vuotovirrat, kemiallinen huononeminen ja erilaisten materiaalien läheisyys. [8, s.4.] Lisäksi elektrodin rakennetta ja upotussyvyyttä valittaessa tulee huomioida maan maadoitusresistanssin muutokset esimerkiksi kuivumisen tai routimisen takia. Routiminen saattaa myös vahingoittaa maadoituselektrodia, mikäli esimerkiksi kupariköysi on kiristetty liian tiukalle. Routarajana pidetään yleisesti 0,7 metrin syvyyttä, joten tämän syvemmälle elektrodia ei tarvitse asentaa. [2, s.130–131.] Maahan upotetun maadoituselektrodin minimikoot korroosion ja mekaanisen lujuuden kannalta on esitetty taulukossa 2.

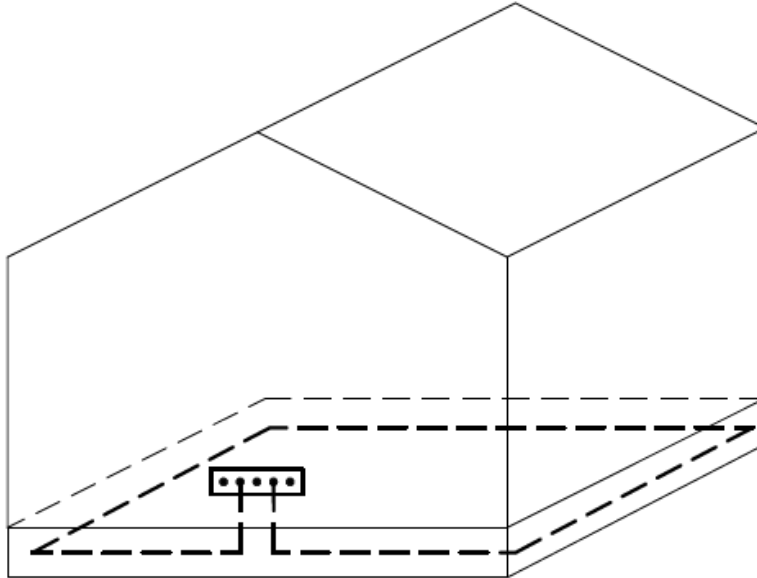
Taulukko 2. Maadoituselektrodien minimimitat [8, s. 5].

Materiaali	Poikkipinta-ala mm ²	Halkaisija mm	Minimipak- suus mm ^b	Korroosiosuojaus- kerroksen paksuus µm
Kupari	16		1,6	-
Kuumasinkitty teräs	90	10	3	45
Ruostumaton teräs	90	10	3	-
Betoniin upotettu te- räs	90	10	3	- ^c
Kuparivaipalla varus- tettu teräs		15		2000
Sähköisesti kuparilla päällystetty teräs		14 ^a		250 ^d
^a Vaakatasossa 10 mm. ^b Nauhan tai levyn paksuus tai köyden yksittäisen langan halkaisija. ^c Betoniin upotetulla perustusmaadoituselektrodilla ei tarvita korroosiosuojausta. ^d Vaakaelektrodilla 70 mm.				

Standardin SFS 6000-5-54 liitteen 54C.2 mukaan elektrodina tulee käyttää lähtökohtaisesti perustusmaadoituselektrodia, joka asennetaan joko perustusten betonin sisään, alle tai ympärille. Jos perustusmaadoituselektrodin rakentaminen ei jostain syystä ole mahdollista, voidaan käyttää vaihtoehtoisia ratkaisuja. Maadoituselektrodi yhdistetään päämaadoituskiskoon kahdella maadoitusjohtimella. Elektrodi on useimmiten muodoltaan rengas, joka sulkeutuu päämaadoituskiskolla. Pienissä rakennuksissa riittää yksi renkaan muotoinen maadoituselektrodi, mutta suuremmissa rakennuksissa suositellaan käytettävän enintään 10 x 20 metrin kokosiin renkasiin jaettua yhtenäistä elektrodia. Renkaiden määrä suhteutetaan rakennuksen kokoon. [10, s. 5.]

5.3 Perustusmaadoituselektrodi

Rakennusten perustuksissa käytettävällä betonilla on tietty johtavuus ja laaja kosketuspinta maahan, joten betonin sisään asennettuja paljaita metallielektrodeja voidaan käyttää maadoittamiseen, ellei betoni ole maasta erotettu lämpöeristeellä tai muulla tavoin. Perustusmaadoituselektrodin maayhteyttä voidaan tarvittaessa parantaa lisäämällä säteittäisiä vaakaelektrodeja esimerkiksi rakennuksen nurkista poispäin. Materiaalina voidaan käyttää kuparia, sinkittyä lattaterästä tai normaalia betoniterästä. Kuparista tai korroosiosuojatusta materiaalista tehty elektrodi voidaan asentaa myös perustusten alle. Betoniteräksiä voidaan käyttää elektrodina edellyttäen, että liitokset tehdään hitsaamalla, puristusliittimellä tai muutoin mekaanisesti. Sitomista ei saa käyttää. [8, s. 23–24.]

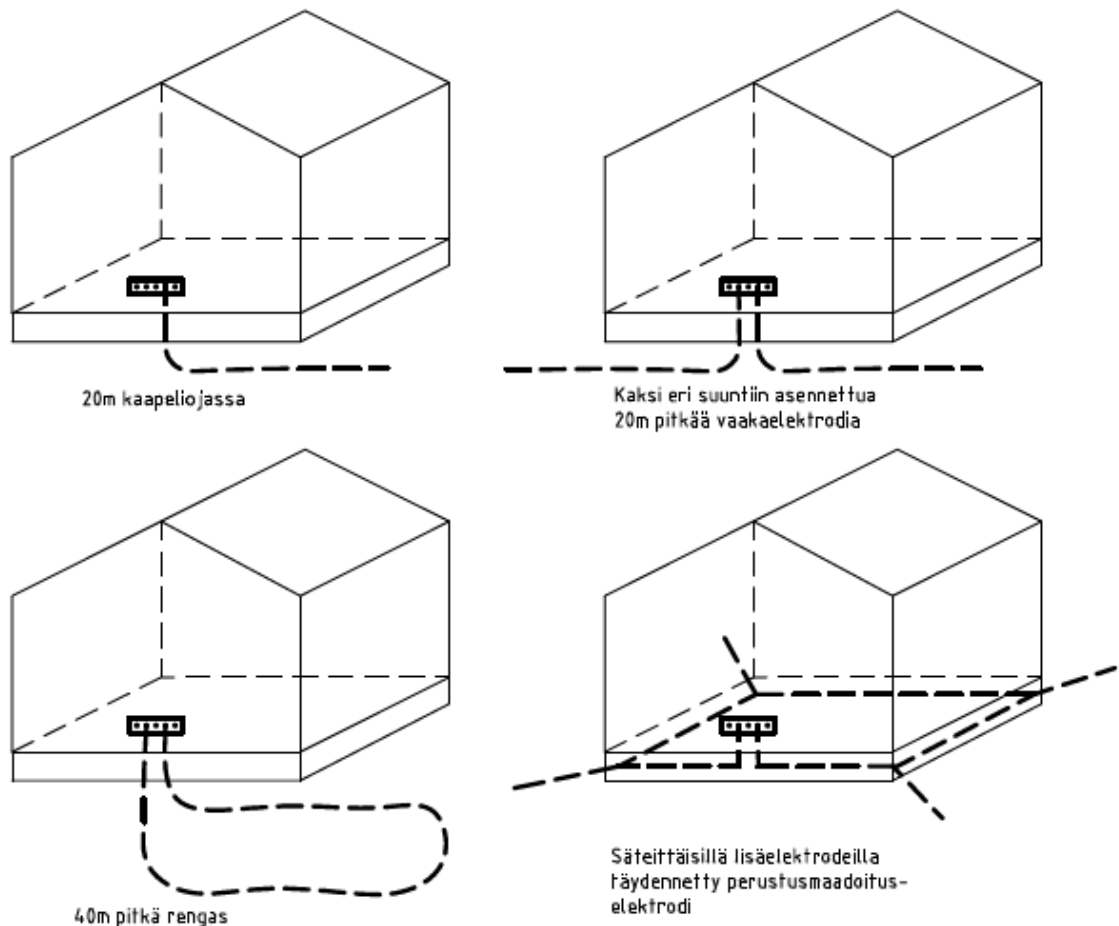


Kuva 7. Perustusmaadoituselektrodi.

Perustusten betonin sisään asennettu elektrodi on taloudellinen ratkaisu, koska ylimääräistä kaivutyötä ei vaadita, käyttöikä kattaa rakennuksen koko elinkaaren ja elektrodi on suojassa vahingoittumiselta. Vaihtoehtona on asentaa perustusmaadoituselektrodi suoraan perustusten alle, jolloin elektrodi on yhtä lailla suojattu vahingoittumiselta. Mikäli perustusten betonin sisään tai alle asentaminen ei ole mahdollista, voidaan perustusmaadoituselektrodi asentaa perustusten ympärille. Tällöin elektrodi tulee asentaa riittävän lähelle perustuksia ja riittävän syvälle, jotta vahingoittumisen vaara minimoidaan. Suosituksena on asentaa elektrodi 0,7 metrin syvyyteen ja noin metrin päähän rakennuksesta. [8, s. 23–24.]

5.4 Muut elektrodirakenteet

Mikäli perustusmaadoituselektrodin käyttäminen ei ole mahdollista, voidaan elektrodi toteuttaa käyttämällä vähintään 20 metriä pitkää vaakaelektrodiä. Tällöin elektrodi asennetaan kaapeliojaan tai lähelle rakennusta, jotta se on suojassa vahingoittumiselta. Jos suojaamisen toteuttaminen ei ole mahdollista, käytetään joko kahta eri suuntiin asennettavaa vähintään 20 metriä pitkää vaakaelektrodiä tai yhtä vähintään 40 metriä pitkää silmukan muotoista elektrodiä [8, s. 21–22.]. Kuvassa 8 on esitetty maadoituselektrodin erilaisten toteutustapojen periaatteet.



Kuva 8. Muut elektrodirakenteet.

6 Johtimet

Maadoitusjärjestelmissä käytettäviä suojajohtimia ovat maadoitusjohtimet, suojamaadoitusjohtimet ja suojaavat potentiaalintasausjohtimet. Suojajohtimesta puhuttaessa tulee varmistaa, että tarkoitetaan oikeaa johdinta. Pahimmassa tapauksessa johdin voidaan mitoittaa väärin, koska jokaiselle edellä mainitulle johdintyypille on omat vaatimuksensa. Normaalikäytössä suojajohdin on jännitteetön ja virraton. Eristysvian seurauksena suojajohdin voi tulla jännitteiseksi, ja siinä voi kulkea vikatilanteessa suuriakin virtoja. Myös normaalitilanteessa johtimessa saattaa kulkea pieniä sähkölaitteiden vuotovirtoja. Suojajohtimet muodostavat hyvin keskeisen osa maadoitusjärjestelmiä ja sähköasennuksien turvallisuutta, joten johtimien luotettavaan toimintaan tulee kiinnittää huomiota. Näiden lisäksi käytetään tiettyjen laitteiden oikean ja häiriöttömän toiminnan takaamiseksi toiminnallisia maadoitusjohtimia ja potentiaalintasausjohtimia. [2, s. 23.]

6.1 Maadoitusjohdin

Maadoitusjohdin on maadoituselektrodin ja päämaadoituskiskon tai -liittimen välinen johdin. Kun maadoituselektrodina käytetään kupariköyttä tai lankaa, se voi jatkua ilman liitoksia maadoitusjohtimena päämaadoituskiskolle asti. Maadoitusjohtimen vähimmäispoikkipinta on 6 mm^2 kuparia tai 50 mm^2 terästä. Maahan asennetun maadoitusjohtimen poikkipinnan on oltava vähintään 16 mm^2 kuparia tai 35 mm^2 kuumasinkittyä terästä tai vaihtoehtoisesti 16 mm^2 eristyksellä suojattua kuumasinkittyä terästä. Tästä syystä tavallisesti maadoitusjohtimena käytetään 16 mm^2 :n kuparijohdinta. Alumiinijohtimia ei saa käyttää maadoitusjohtimina. Maadoitusjohdin yhdistetään maadoituselektrodiin luotettavasti joko hitsaamalla, puristusliittimellä tai muutoin mekaanisesti. [8, s. 6.]

6.2 Suojamaadoitusjohdin

Suojamaadoitusjohdin on normaalikäytössä periaatteessa jännitteetön ja virraton johdin, mutta käytännössä siinä kulkee usein pieniä laitteiden vuotovirtoja. Suojajohdin on useimmiten jokin seuraavista:

- monijohtimisen kaapelin johdin (MMJ)
- yksittäinen eristetty johdin (ML tai MK)
- konsentrinen johdin (MCMK).

Näiden lisäksi suojajohdin voi myös olla paljas johdin kotelossa tai kiinteässä asennuksessa. Myös kaapelin metallista vaippaa tai armeerausta voidaan käyttää suojajohtimena. Suojajohtimena ei saa käyttää metallisia vesiputkia, palavia kaasuja tai nesteitä sisältäviä putkia, mekaanisen rasituksen alaisia rakenneosia, taipuisia metallisia tai putkia eikä kannatinköysiä tai kaapelihyllyjä. Suojajohtimen poikkipinnan on täytettävä syötön automaattisen poiskytkennän ehdot ja kestävä suojalaitteen toiminta-aikana esiintyvät mekaaniset ja termiset rasitukset. Poikkipinta määritetään joko laskemalla tai valitsemalla taulukon 3 mukaan. [8, s. 7–309.]

Taulukko 3. Suojajohtimen poikkipinnan määrittäminen [8, s. 7].

Äärijohtimen poikkipinta A mm ² kuparia	Vastaavan suojajohtimen poikkipinta mm ²	
	Suojajohdin samaa materiaalia kuin äärijohtin	Suojajohdin eri materiaalia kuin äärijohtin
$A \leq 16$	A	$\frac{k_1}{k_2} * A$
$16 < A \leq 35$	16	$\frac{k_1}{k_2} * 16$
$A > 35$	$\frac{A}{2}$	$\frac{k_1}{k_2} * \frac{A}{2}$

Kertoimien k_1 ja k_2 laskemiseen tarvittavat kaavat ja arvot löytyvät SFS 6000-5-54 liite 54A.

Suurilla poikkipinnoilla laskemalla saadaan usein taloudellisempi lopputulos kuin taulukkoa käyttämällä. Suojajohtimen poikkipinnan tulee olla suurempi kuin seuraavalla kaavalla saatu arvo:

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

- A on suojajohtimen poikkipinta (mm²)
- I on suojalaitteen kautta kulkeva prospektiivinen 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

Jos kaavasta saadaan suojajohtimen poikkipinnalle arvo, jonka mukaista kaapelia ei ole johtimen tyyppikohtaisessa standardissa, valitaan poikkipinnaltaan seuraava suurempi standardijohdin. [8, s. 7.] Käytännössä maadoituksissa ja potentiaalintasauksissa käytetään pääsääntöisesti joko 6 mm²:n tai 16 mm²:n eristettyjä kuparijohtimia. Suojamaadoituksissa suojamaadoitusjohdin on yleensä osana ryhmäjohtoa. Maadoituskiskojen välisinä suojajohtimina käytetään yleensä joko 25 mm²:n tai 50 mm²:n paksuisia johtimia.

6.3 Vahvistettu suojajohdin

Mikäli kiinteän asennuksen laitteen suojajohtimen virta ylittää 10 mA, on käytettävä vahvistettua suojajohdinta. Jos laitteessa on vain yksi suojamaadoitusliitin, suojajohtimen poikkipinnan tulee olla koko pituudeltaan vähintään 10 mm² kuparia tai 16 mm² alumiinia. Jos laitteessa on toinen suojamaadoitusliitin, asennetaan toinen poikkipinnaltaan samankokoinen suojajohdin. Suojajohtimessa kulkevaa virtaa ei tarvitse mitata, koska yli

10 mA:n virta suojajohtimessa on laitteen ominaisuus. Laitevalmistaja on velvollinen ilmoittamaan vahvistetun suojajohtimen tarpeen. [8, s. 13.]

6.4 Toiminnallinen maadoitusjohdin

Toiminnallisena maadoitusjohtimena voidaan käyttää johtimia tai metalliliuskoja. Suurilla taajuuksilla suositellaan käytettäväksi metalliliuskoja tai litteitä johtimia ja liitosten välit on pidettävä mahdollisimman lyhyinä. Pienillä taajuuksilla toiminnallisen maadoitusjohtimen tulee olla vähintään 6 mm² kuparia tai vastaava poikkipinta-ala muuta materiaalia.

6.5 Pääpotentiaalintasausjohdin

Pääpotentiaalintasausjohtimen tulee olla vähintään puolet liittymän pääkeskuksesta lähtevän suurimman suojamaadoitusjohtimen poikkipinta-alasta ja vähintään 6 mm² kuparia, 16 mm² alumiinia tai 50 mm² terästä. Poikkipinta-alan ei kuitenkaan tarvitse olla yli 25 mm² kuparia tai vastaava muuta materiaalia. [8, s. 13.] Käytännössä pääpotentiaalintasauksen mitoituksessa huomioidaan ensin teholtaan suurien laitteistojen suojamaadoitusjohtimet, joiden poikkipinta-ala määrää pääpotentiaalintasausjohtimien koon.

6.6 Lisäpotentiaalintasausjohdin

Lisäpotentiaalintasausjohdin yhdistää joko kaksi jännitteelle altista osaa toisiinsa tai jännitteelle alttiin osan muuhun johtavaan osaan. Kahden jännitteelle alttiin osan välisen lisäpotentiaalintasausjohtimen johtavuus on oltava vähintään yhtä suuri kuin pienimmän jännitteelle alttiiseen osaan kytketyn suojajohtimen. Yhdistettäessä jännitteelle altis osa muuhun johtavaan osaan johtavuuden on oltava vähintään puolet käytetyn suojajohtimen poikkipinnasta. Lisäpotentiaalintasausjohtimen vähimmäispoikkipinta-ala molemmissa tapauksissa on kuitenkin 2,5 mm² kuparia mekaanisesti suojatulle johtimelle tai 6 mm² suojaamattomalle johtimelle. [8, s. 14.]

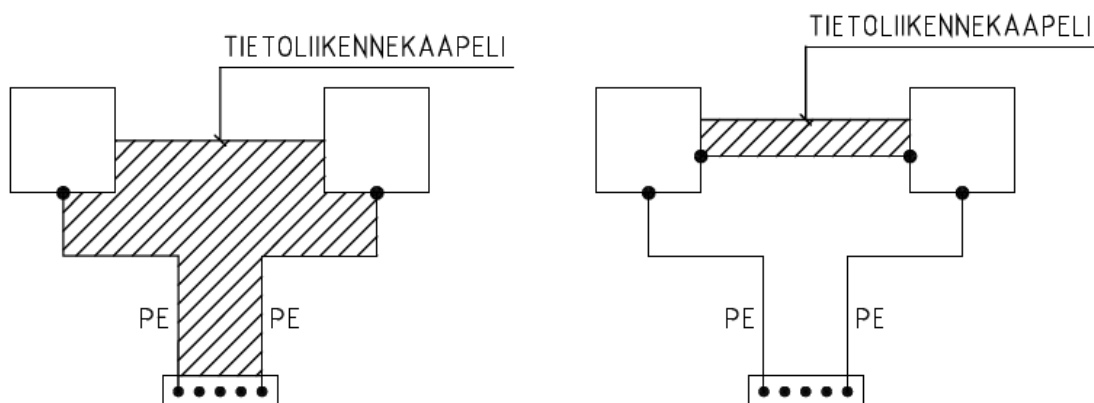
6.7 Toiminnallinen potentiaalintasausjohdin

Toiminnallisen potentiaalintasausjohtimen poikkipinta-alalle ei ole standardissa annettu vähimmäisvaatimuksia, mutta vähimmäispoikkipinta-alana voidaan käyttää pääpotentiaalintasausjohtimien 6 mm^2 :n vaatimusta. Tietojärjestelmien potentiaalintasauksissa poikkipinta-ala määräytyy laitekaappien- ja telineiden koon mukaan. Lisäksi laitevalmistajilla on usein ohjeet, joita tulee noudattaa.

7 Tietojärjestelmien maadoitukset ja potentiaalintasaukset

Sähkösyöttöjärjestelmällä ja maadoitustavalla on merkittävä rooli tietojärjestelmien luotettavassa ja häiriöttömässä toiminnassa. Tietojärjestelmien sähkönsyöttö tulee toteuttaa puhtaalla TN-S-järjestelmällä, koska näin voidaan ehkäistä tietoliikennekaapeleissa kulkevan nollavirran aiheuttamat ongelmat. Mikäli rakennuksessa on käytössä TN-C- tai TN-C-S-järjestelmä, on vältettävä sellaisia potentiaalintasaustoimenpiteitä, jotka voivat aiheuttaa PEN-johtimeen niin sanotun nollavirran. Tällainen on esimerkiksi kotijakamon tai kerrosjakamon haaroittimen kotelon yhdistäminen ryhmäkeskuksen suojakiskoon. Tämä voi tapahtua haaroittimen kosketuksella jakamon runkoon, koska runko on puolestaan yhdistetty suojakiskoon. Suosituksena on, että jokaiselle tietotekniikkajärjestelmää syöttävälle ryhmäkeskukselle tulisi suoraan pääkeskukselta TN-S-järjestelmän vaatimukset täyttävä nousujohto. Vanhojen rakennusten tietoliikennejärjestelmien uusimisissa voidaan kuitenkin joutua tyytymään erillisen suojajohtimen käyttöön vasta ryhmäkeskukselta eteenpäin. [2, s. 89.]

Tietotekniikan laitteiden asennuksissa tulee kiinnittää huomiota syöttökaapeliin ja tietoliikennekaapeliin välille muodostuviin häiriöitä aiheuttaviin silmukoihin. Kuvassa 9 vasemmalla on esitetty tilanne, jossa suojamaadoitusjohtimien ja laitteiden välisen tietoliikennekaapelin välille muodostuu suuri silmukka, joka on altis häiriöille. Oikeanpuoleisessa tilanteessa laitteiden välille on lisätty potentiaalintasausjohdin, jolla silmukan pinta-ala saadaan pienennettyä huomattavasti pienemmäksi.



Kuva 9. Silmukoiden muodostuminen tietoliikennejärjestelmien asennuksissa [2, s. 91].

7.1 Maadoitustavat

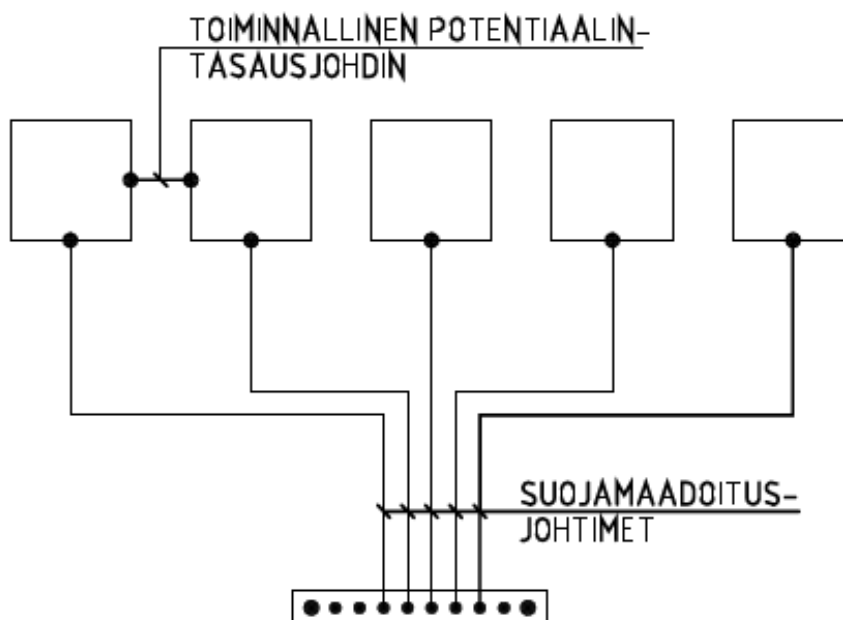
Tietoliikennelaitteiden ja muiden elektronisten laitteiden jännitteelle alttiit osat ovat yhteydessä toisiinsa suojajohtimien kautta. Rakennuksissa, joissa on vain vähän elektronisia laitteita, voidaan suojajohdinverkko toteuttaa tähtimuotoisena ilman häiriöiden aiheuttamia ongelmia. Elektronisten laitteiden määrän kasvaessa tähtimuotoiseen verkkoon voidaan lisätä silmukoituja laiteryhmiä. Rakennuksissa, joissa laitteiden määrä on suuri ja häiriötön toiminta tärkeää, voidaan käyttää yhteistä silmukoitua potentiaalintasausverkkoa. Lisäksi voidaan käyttää asennuksen kiertävää potentiaalintasausrengasjohtinta, josta käytetään myös nimitystä maadoitusväyläjohtin. [2, s. 90.]

Laitteiden potentiaalintasauksen yhteydessä saatetaan virheellisesti puhua lisäpotentiaalintasauksesta, kun tarkoitetaan laitteiden toimintaan vaikuttavien häiriöiden pienentämistä tasaamalla potentiaaleja. Laitteiden potentiaalintasaus häiriöiden pienentämiseksi on kuitenkin toiminnallista potentiaalintasausausta, ja lisäpotentiaalintasauksia puolestaan tehdään ainoastaan suojaavan vaikutuksen parantamiseksi.

7.1.1 Tähtimäinen maadoitusjärjestelmä

Tietotekniikan laitteiden maadoituksessa perusratkaisuna toimii tähtimäinen maadoitusjärjestelmä, jossa laitteet maadoitetaan suojajohtimen välityksellä ryhmäkeskuksen suojakiskoon ja edelleen päämaadoituskiskon kautta maadoituselektrodiin. Käytännössä tämä tapahtuu liittämällä laitteen kolmijohtimisen (L+N+PE) liitäntäjohton pistotulppa

maadoitettuun pistorasiaan. Jos tietotekniikan laitteiden määrä on vähäinen, tähtimäinen maadoitusjärjestelmä riittää yleensä takaamaan laitteiden häiriöttömän toiminnan. Tähtiverkon heikkous on silmukoiden mahdollinen muodostuminen, jos laitteiden välille liitetään tietoliikennekaapeleita. Tällöin tähtiverkkoa voidaan parantaa laitteiden välisillä toiminnallisilla potentiaalintasausjohtimilla, jolloin saavutetaan tasapotentiaali laitteiden välille. Samalla pienennetään kaapelien muodostaman silmukan pinta-alaa, jolloin vähennetään sähkömagneettisen kentän aiheuttamia häiriöitä. [2, s. 90–91; 3, s. 176.] Kuva 10 esittää tähtimäisen maadoitusjärjestelmän perusrakenteen, johon on lisätty toiminnallinen potentiaalintasausjohdin pienentämään mahdollisten tietoliikennekaapeleiden muodostamia silmukoita.

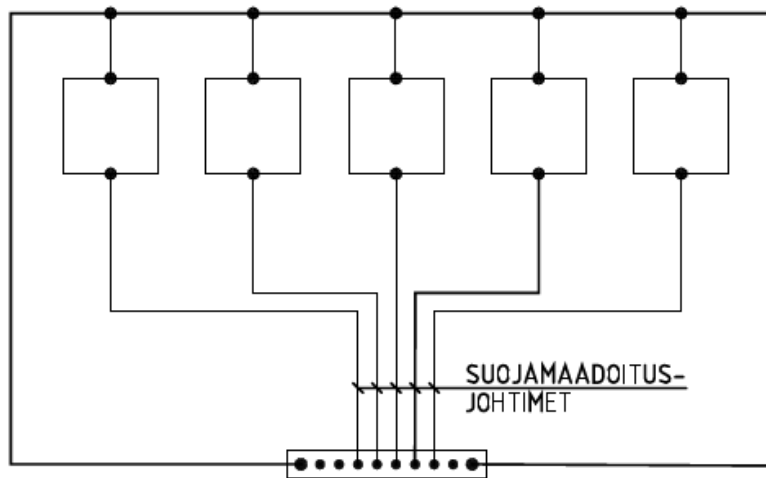


Kuva 10. Tähtimäisen maadoitusjärjestelmän rakenne [2, s. 91].

7.1.2 Rengasmainen maadoitusjärjestelmä

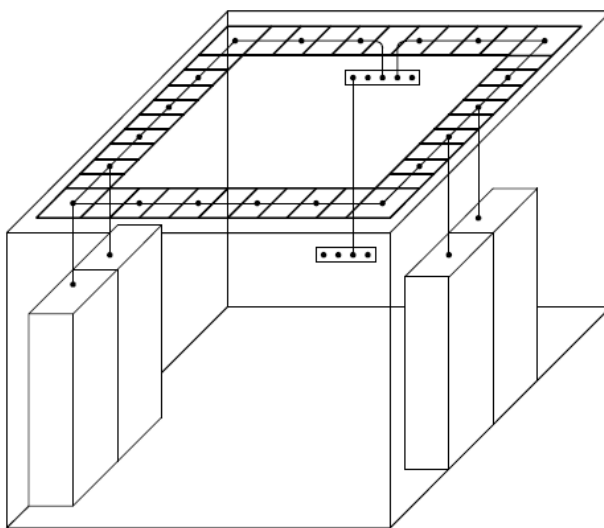
Rengasmainen maadoitusjärjestelmä toteutetaan asentamalla ensisijaisesti joko paljaasta tai eristetystä kuparista tehty potentiaalintasausrengasjohdin kuvan 11 mukaisesti. Potentiaalintasausrengasjohtimen tulee olla kaikkialta luokse päästävissä. Rengasmaisen järjestelmän toteuttamisesta on ristiriitaa standardin ja ST-käsikirjan 16 välillä. Standardin SFS 6000 kohdassa 444.5.3.1 annetaan ohjeet potentiaalintasausrengasjohtimen asentamisesta. Litteästä kuparista tehdyn johtimen vähimmäispoikkipinta on 30 mm x 2 mm, ja pyöreästä kuparista tehdyn poikkipinta-ala 50 mm². ST-käsikirja

16 Yleiskaapelointijärjestelmät puolestaan käyttää nimitystä maadoitusväyläjohdin, ja mitoituksena 16 mm² kuparia. [2, s. 92; 3, s. 176.]



Kuva 11. Rengasmaisen maadoitusjärjestelmän rakenne [2, s. 92].

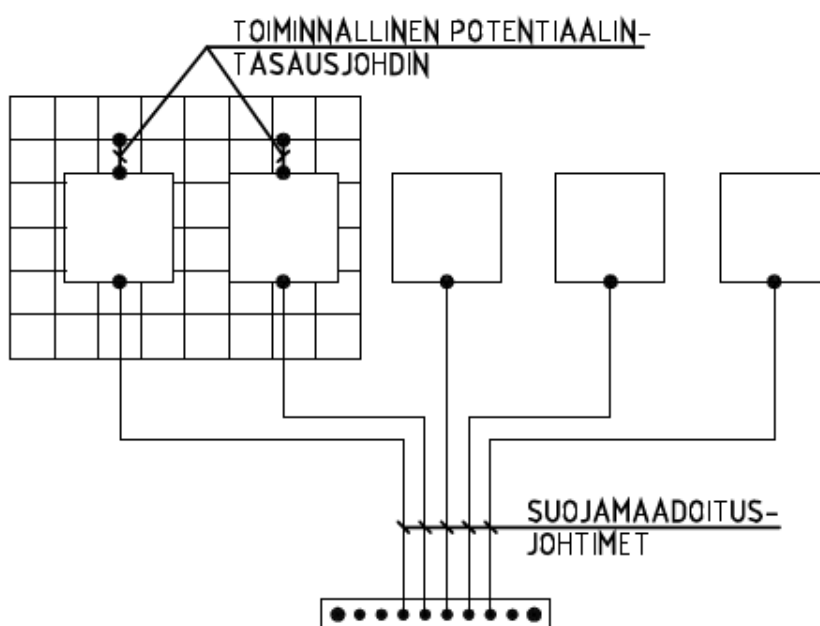
Tällaisen rengasmaisen ratkaisun käyttäminen on tehokas tapa toteuttaa esimerkiksi laittilan potentiaalintasaus. Kuvassa 12 maadoitusväyläjohdin on asennettu kaapelihyllylle ja kiinnitetty tietyin välimatkoin hyllyyn. Laitekaapit on yhdistetty johtimeen mahdollisimman lyhyillä potentiaalintasausjohtimilla. Uusien kaappien tai telineiden lisääminen järjestelmään on helppoa eikä järjestelmää tarvitse uusia tai vaihtaa.



Kuva 12. Esimerkki maadoitusväyläjohtimen asennuksesta laittilassa [12, s. 23].

7.1.3 Paikallisesti silmukoitu maadoitusjärjestelmä

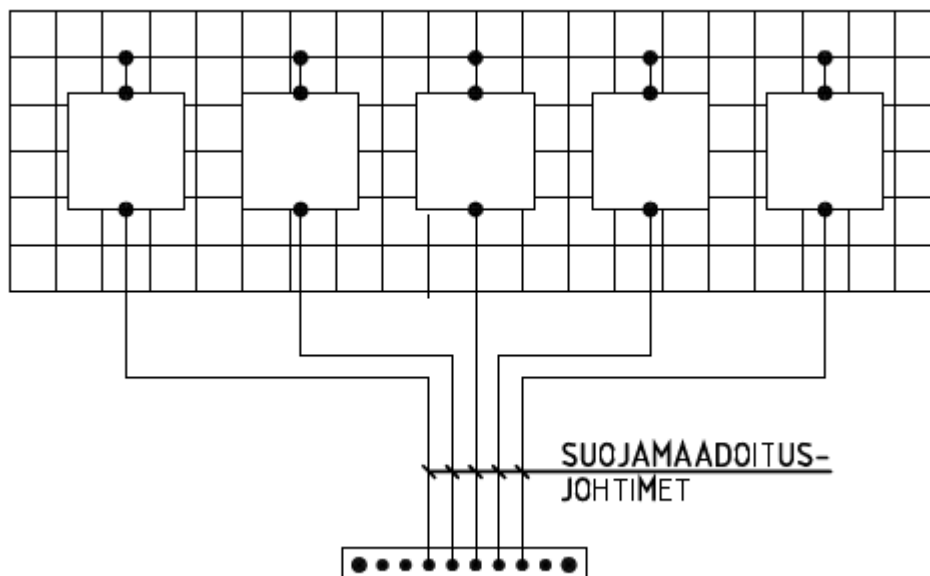
Tähtimäisen ja rengasmaisen maadoitusjärjestelmän potentiaalintasausta erityisen herkkien laitteiden tai laiteryhmiä alueella voidaan parantaa paikallisesti silmukoidulla maadoitusjärjestelmällä. Tällöin potentiaalintasausta toteutetaan johtavasta materiaalista koostuvalla verkkomaisella rakenteella, joka liitetään ryhmäkeskuksen suojakiskoon. Käytännössä tämä tehdään esimerkiksi liittämällä korotetun lattian tukipylväät toisiinsa, jolloin kytkennöistä muodostuu hyvän potentiaalintasaustavaikutuksen omaava verkko. Laitteiden suojajohtimet liitetään edelleen tähtimäisesti ryhmäkeskukselta, ja toiminnalliset potentiaalintasaustajohtimet liitetään verkkoon. [2, s. 93; 9, s.28.]



Kuva 13. Paikallisesti silmukoitu maadoitusjärjestelmä [2, s. 93].

7.1.4 Silmukoitu maadoitusjärjestelmä

Silmukointi voidaan laajentaa kattamaan kaikkien laitteiden muodostama kokonaisuus, jolloin saavutetaan erittäin tehokas potentiaalintasausta. Silmukoitu verkko yhdistää kaikki laitteet ja ryhmäkeskuksen suojakiskoon toisiinsa. Verkon silmäkoko vaikuttavat valittu ukkossuojauksen taso, laitteiden häiriönsietotaso ja tiedonsiirrossa käytettävät taajuu-det. Silmäkoko valitaan asennuksen mittojen mukaisesti, mutta sen on oltava alle 2 m x 2 m. [2, s. 93; 9, s. 29.]



Kuva 14. Silmukoitu maadoitusjärjestelmä [2, s. 94].

7.2 Laitteiden ja kaappien potentiaalintasaus

Tietoliikennejärjestelmien sähkönsyöttö toteutetaan TN-S-järjestelmällä, ja laitteiden maadoitus tapahtuu tavallisesti pistorasioiden maadoitusliittimien kautta. Telineet ja kaapit varustetaan kukin omalla potentiaalintasausliittimellä, johon liitetään kunkin yksikön runko, paneelit, syöttävien kaapeleiden suojajohtimet sekä suojattujen tietoliikennekaapelien suojat. Jakamoon asennetaan potentiaalintasauskisko, johon jokainen kaappi ja teline yhdistetään omalla potentiaalintasausjohtimellaan. Potentiaalintasauskisko yhdistetään edelleen ryhmäkeskuksen suojakiskoon. Potentiaalintasauksia ei saa ketjuttaa mahdollisten tasausvirtojen syntymisen ehkäisemiseksi. Potentiaalintasausjohtimien poikkipinta-alan vähimmäisvaatimukset ovat seuraavat:

- 4 mm² (käytännössä 6 mm²) kaapille tai telineelle, jonka korkeus on korkeintaan 21 U (≈93,4 cm)
- 16 mm² kaapille tai telineelle, jonka korkeus on yli 21 U
- 25 mm² usean kaapin jakamon maadoituskiskolle. [9, s. 32.]

Vaatus 4 mm²:n poikkipinta-alaisesta johtimesta on peräisin Keski-Euroopasta. Tämän paksuinen johdin ei kuulu Suomessa valikoimassa oleviin johtimiin, joten käytetään seuraavaa 6 mm²:n johdinta.

7.3 Häiriösuojauksen ongelmakohtia

Elektronisia laitteita käsittävän järjestelmän maadoitukseen liittyy usein sähköverkosta peräisin olevia häiriöitä. Häiriösuojauksessa maadoituksen tarkoitus on tasata parikaapelien metallisten suojien potentiaali maan potentiaaliin ja johtaa suojissa kulkevat virrat maahan. Häiriösuojauksen takia tehdyn toiminnallisen maadoituksen ja suojamaadoituksen yhteensovittaminen ei aina ole ongelmaton. Lisäksi häiriösuojauksia on erilaisia. Yksittäinen tapa voi olla erittäin tehokas tiettyjä häiriöitä vastaan, mutta vastaavasti täysin tehoton toisenlaisten häiriöiden torjunnassa.

Häiriösuojaus perustuu erillisten nolla- ja suojamaadoitusjohdinten käyttöön, koska tällöin nollajohtimessa kulkevat kuormitusvirrat ja yliaallot eivät häiritse suojamaadoituksia. Jos käytetään PEN-johdinta, nämä virrat pääsevät suojamaadoitusten kautta aiheuttamaan joskus suuriakin harhavirtoja laitteisiin ja kaapeleihin.

Toisesta päästä maadoitettu suoja on tehokas sähkökenttiä vastaan taajuuksilla, joilla aallonpituudet ovat suurempia kuin kaapelin pituus. Molemmista päistä maadoitettu kaapelin suoja suojaa sekä pien- että suurtaajuisilta sähkökentiltä ja suurtaajuisilta magneettikentiltä. Haittapuolena on magneettikentän tai maapotentiaalieron aiheuttamat virrat, jotka synnyttävät pitkittäisen häiriöjännitteen.

8 Yhteisantennijärjestelmien maadoitukset ja potentiaalintasaukset

8.1 Antennimaston suojaus

Antennia ei tarvitse maadoittaa, jos antenni sijaitsee sisällä tai vähintään kaksi metriä katon harjan alapuolella ja sivusuunnassa alle 1,5 metrin päässä rakennuksesta. Jos rakennuksessa on salamasuojajärjestelmä, suositellaan antenni sijoitettavaksi sen suoja-alueelle. Tällöin antennia ei tarvitse maadoittaa. Jos antennirakenne ulottuu salamasuojajärjestelmän ulkopuolelle, masto tulee maadoittaa. Salamasuojajärjestelmät ovat Suomessa suhteellisen harvinaisia, eikä rakennusten riskianalyysijä tehdä kovinkaan paljon. Suora salamanisku antennimastoon aiheuttaa suuren virran, joka voi tuhota laitteistoja tai sytyttää tulipalon. Tämän estämiseksi salaman virta ohjataan maahan maadoitusjohtimella, joka asennetaan antennimaston alaosaan ja viedään suorinta tietä

ilman jyrkkiä mutkia maadoituselektrodille. Antennin suojajohtimen poikkipinta-alan tulee olla vähintään 16 mm² kuparia, 25 mm² alumiinia tai 50 mm² terästä. Kuparijohdin voi olla eristetty tai eristämätön, mutta alumiini- ja teräsjohtinten tulee olla eristettyjä. [14, s. 1–2.]

8.2 Potentiaalintasaus

Antennijärjestelmän potentiaalintasaus vaaditaan aina riippumatta siitä, onko antennimasto maadoitettu vai ei. Salamoiden aiheuttamien potentiaalierojen torjunnassa potentiaalintasaus on erittäin tärkeässä roolissa. Potentiaalintasaus perustuu kaikkien kosketeltavissa olevien metallirakenteiden välisten potentiaalierojen tasaamiseen. Samalla potentiaalierojen aiheuttama rasitus laitteiden sähköeristykselle vähenee. Potentiaalintasaus tehdään jakamon tähtipisteessä. Laitetekotelot, rakenneosat ja koaksiaalikaapeleiden ulkojohtimet yhdistetään 6 mm²:n kuparijohtimella jakamon potentiaalintasauskiskoon. Koaksiaalikaapeleiden potentiaalintasaus toteutetaan käytännössä yhdistämällä laitekotelo potentiaalintasaukseen, koska kaapelien vaipat ovat yhteydessä metallisten laitekoteloiden runkoon. Käytännössä pientalon antennijärjestelmän potentiaalintasaus tapahtuu yhdistämällä päävahvistin ja sitä kautta koko antennijärjestelmä jakamon potentiaalintasauskiskoon 6 mm²:n kuparijohtimella. Kotijakamoon asennettavaa haarointia ei liitetä kotijakamon mahdolliseen potentiaalintasauskiskoon, koska tämä saattaa aiheuttaa koaksiaalikaapeleiden ulkojohtimissa kulkevaa tasausvirtaa. Suosituksena on, että päävahvistimeen tulevat koaksiaalikaapelit asennetaan potentiaalintasauskiskon kautta. Tällöin vältetään potentiaalintasauksen katkeaminen huoltotilanteessa, kun kaapeleita irrotetaan laitteista. [2, s. 108]

Useasta rakennuksesta muodostuvassa taloyhtiössä yhteisantennijärjestelmän potentiaalintasaus tehdään jokaisessa rakennuksessa. Tästä saattaa tosin aiheutua koaksiaalikaapelin ulkojohtimeen sähköverkon paluuvirtoja, joka edelleen aiheuttaa häiriöitä antenniverkon signaaleihin. Tämä on ratkaistavissa galvaanisella erottimella. Erotin yhdistetään potentiaalintasaukseen molemmilta puoilta ja lisäksi toiselle puolelle asennetaan ylijännitesuoja, joka estää erottimen oikosulkemisen. [14, s. 2–3.]

9 Lääkintätilat

Sähkön syötön katkeaminen terveydenhuoltoalan laitoksissa saattaa aiheuttaa vaaratilanteita esimerkiksi leikkaussaleissa tai elintoimintoja ylläpitämään tarkoitettujen laitteiden tapauksessa. Lääkintätilojen sähkön syöttö turvataan käyttämällä kriittisissä kulu- tuskohteissa maasta erotettua niin sanottua lääkintä IT-järjestelmää ja käyttämällä vara- voimajärjestelmiä. Lääkintätilat luokitellaan käyttötarkoituksen ja henkilövahingon vaa- ran perusteella taulukon 4 mukaisesti.

Taulukko 4. Lääkintätilojen luokitus [2, s. 152].

Luokitus		Määritelmä
Ryhmä 0	G0	Tilassa ei ole tarkoitus käyttää sähkökäyttöisten lääkintälaitteiden liittyn- täosia. Syötön katkeaminen ei aiheuta välitöntä hengenvaaraa.
Ryhmä 1	G1	Tilassa on tarkoitus käyttää sähkökäyttöisten lääkintälaitteiden liittyntä- osia ihon ulkoisesti tai sisäisesti pois lukien ryhmän 2 sovellukset. Syötön katkeaminen ei aiheuta välitöntä uhkaa potilaan turvallisuudelle.
Ryhmä 2	G2	Tilassa on tarkoitus käyttää sähkökäyttöisten lääkintälaitteiden liittyntä- osia sydämenläheisiin toimintoihin, leikkaussalikäyttöön tai tehohoitoon. Syötön katkeaminen voi aiheuttaa välittömän vaaran potilaalle.

Tilan käyttötarkoitus ja käytettävät laitteet määrittävät tilan lopullisen luokituksen, minkä vuoksi määrittely tulee tehdä yhdessä lääkintähenkilökunnan ja lääkintäturvallisuudesta vastaavan henkilön kanssa.

9.1 Yleiset ominaisuudet

Lääkintätilojen jakelujärjestelmänä ei saa käyttää TN-C-järjestelmää eikä kyseistä järjes- telmää saa käyttää terveydenhuoltoalan rakennuksissa pääkeskuksen jälkeen. Tervey- denhuoltoalan rakennuksissa jakelujärjestelmän on oltava TN-S pääkeskus mukaan lu- kien. Mikäli rakennuksessa on käytössä PEN-johtimia, ei kosketusjännitettä voida rajoit- taa riittävän pieneksi eikä sydämenläheisiin toimintoihin tarkoitettua ryhmän 2 lääkintäti- laa voida sijoittaa tällaiseen rakennukseen. Suojausmenetelmien osalta lääkintätilat eroavat siten, että suojaus esteitä käyttämällä, laitteiden sijoittaminen kosketusetäisyy- den ulkopuolelle, maadoittamaton potentiaalintasaus ja sähköinen erotus eivät ole sallit- tuja menetelmiä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kaikki lääkintätiloissa olevat sähköi- set laitteet tulee suojata syötön automaattisella poiskytkennällä. Potentiaalintasausten

takia suositellaan pistorasioiden määrän rajoittamista ryhmäjohtoissa. Yhteen ryhmäjohtoon tulisi asentaa enintään 12 kappaletta 1-osaisia, 6 kappaletta 2-osaisia tai 4 kappaletta 3-osaisia pistorasioita. Lisäksi pistorasiaryhmässä jatkoliitoksia tulisi olla enintään kuusi.

9.2 Lisäpotentiaalintasaus

Jokaisessa ryhmän 1 ja 2 lääkintätilassa tehdään lisäpotentiaalintasaus. Potentiaalintasauskiskon tulee sijaita joko itse lääkintätilassa tai sen lähellä. Liitäntä syöttävään keskukseen tehdään vähintään suurimman kiskoon liitetyn johtimen vahvuisella johtimella. Potentiaalintasauskiskoon liitetään kaikki suojamaadoitusjohtimet, muut johtavat osat, mahdolliset häiriökenttien suojukset, johtavien lattioiden metalliverkko ja erotusmuuntajan metallinen suoja. Potentiaalintasauspisteet asennetaan tavallisesta tähtimäisesti. Jokainen piste liitetään omalla 6 mm²:n eristetyllä kuparijohtimella lisäpotentiaalintasauskiskoon. Yhden asennuskokonaisuuden potentiaalintasaus voidaan toteuttaa joko ketjutettuna tai haaroitettuna. Esimerkki tällaisesta on pesualtaan ympäristö, johon kuuluvat vesi- ja viemäriputket, peili ja mahdolliset muut metalliosat. Ketjutuksissa on huolehdittava siitä, ettei yhden johtimen poistaminen katkaise muiden laitteiden potentiaalintasauksia. [12, s. 26.]

Ryhmän 1 lääkintätilassa lisäpotentiaalintasaukseen liitettäviä muita johtavia osia ovat kaikki hoitoalueelle ulottuvat putkistot ja johtokanavien metalliset rungot. Potentiaalintasauksien suunnittelussa on huomioitava, että lääkintätiloissa saattaa kulkea useita eri järjestelmiin kuuluvia putkistoja. Ryhmän 2 tilassa lisäpotentiaalintasaukseen liitetään lisäksi laitteiden ripustamiseen tarkoitetut kiskot ja leikkaussalivalaisimet. [12, s. 26.] Liitteissä 2 ja 3 on esitetty ryhmien 1 ja 2 lääkintätilojen potentiaalintasauusten periaatteet.

9.3 Lääkintä IT-järjestelmä

Ryhmän 2 lääkintätilassa käytetään elintoimintoja ylläpitämään tarkoitettuja laitteita, joten syötön katkeaminen aiheuttaisi usein välittömän hengenvaaran. Tämän välttämiseksi syötön katkeaminen täytyy estää. Lääkintä IT-järjestelmän käytön ja suojalaitteiden täydellisen selektiivisyyden lisäksi voidaan käyttää varavoimajärjestelmää, rengassyöttöä

tai lisätehonihteitä. Ryhmän 2 lääkintätiloja syöttävät keskuksat tulee sijoittaa ensisijaisesti itse tilan ulkopuolelle, mutta kuitenkin mahdollisimman lähelle. Pääsähkönjakelulle ja varavoimajärjestelmälle tulee olla omat keskuksensa. Lisäpotentiaalintasaukselle tulee olla riittävä määrä liitäntäpaikkoja. Suojajohtimien ja liitosten yhteenlaskettu resistanssi ei saa olla yli 0,2 Ω.

Ryhmän 2 lääkintätiloissa elintoimintojen ylläpitoon ja kirurgisiin toimenpiteisiin tarkoitettujen laitteiden ja järjestelmien syöttö on toteutettava niin sanotulla lääkintä IT-järjestelmällä. Käytännössä tällaiset laitteet liitetään pistorasioihin, joita syötetään lääkintä IT-järjestelmällä. Erotusmuuntaja tulee sijoittaa lääkintätilan lähelle, ja suosituksen mukaan muuntajan ja kulutuskojeen välinen etäisyys ei saisi ylittää 25 metriä. Jokaiselle lääkintätilalle tai tilojen muodostamalle toiminnalliselle ryhmälle käytetään vähintään yhtä yksivaiheista muuntajaa syöttämään kädessä pidettäviä sähköisiä laitteita ja kriittisiin toimintoihin tarkoitettuja kiinteitä laitteita. Lääkintä IT-järjestelmän muuntajan mitoitus-tehon on oltava 500–10 000 VA. Tarvittavan tehon ylittäessä ylärajan käytetään useampaa muuntajaa, mutta niitä ei saa kytkeä rinnan. Jos lääkintätilassa tarvitaan kolmivaihesyöttöä IT-järjestelmällä, tämä tulee toteuttaa erillisellä kolmivaihemuuntajalla. Syötön on oltava aina yhdestä tietyistä pisteistä. Syöttöpiirissä ei saa olla ylikuormitusuojaa ennen eikä jälkeen muuntajan.

Jokaisella ryhmän 2 hoitopaikalla on oltava pistorasiakokoonpano, jossa jokainen pistorasia on suojattu erikseen ylikuormitukselta tai niitä syötetään useammasta kuin yhdestä virtapiiristä. Jos samassa lääkintätilassa on sekä TN-S-järjestelmällä että IT-järjestelmällä syötettäviä pistorasioita, toiseen järjestelmään kuuluvan pistorasian käyttö toisessa järjestelmässä tulee estää

10 Räjähdyksenvaaralliset tilat

Räjähdyksenvaarallisessa tilassa sähkö tai mekaaninen ilmiö voi aiheuttaa palavan nesteen, kaasun tai pölyn räjähdysten tai syttymisen. Räjähdyksenvaarallisten tilojen maadoituksilla ja potentiaalintasauksilla on merkittävä rooli tilojen turvallisuuden takaamisessa. Potentiaalintasauksien tarkoitus on estää staattisen sähköön aiheuttama räjähdysvaara. Staattinen sähkö saattaa purkautua kipinä, joka puolestaan voi aiheuttaa kaasuilma- tai pölyilmaseoksen räjähdysten. Euroopan unionin direktiivit räjähdysvaarallisista tiloista ja

niissä käytettävistä laitteista määrittelevät taulukon 5 mukaiset tilaluokat erikseen kaasuja ja pölyräjähdysvaarallisille tiloille.

Tilat, joissa valmistetaan, käsitellään tai varastoidaan räjähteitä, luokitellaan lisäksi luokkiin A ja B. Tila määritellään huoneeksi, huoneen osaksi tai muuksi rajoitetuksi tilaksi. A-luokan tilassa räjähteiden pölyäminen tai haihtuminen voi aiheuttaa räjähdysvaaran. B-luokan tilassa välitöntä räjähdysvaaraa ei ole. Esimerkiksi räjähdysaineiden valmistamiseen tarkoitettu tila luokitellaan A-luokan tilaksi. Räjähdysainevarasto puolestaan luokitellaan B-luokan tilaksi. Työmaiden räjähteiden säilytystilat rinnastetaan tällaisiksi tiloiksi. [16, s. 281.]

Taulukko 5. Räjähdysvaarallisten tilojen luokitus [15, s. 18].

Tila	Tilaluokka	Määritelmä
Kaasuräjähdysvaarallinen tila	0	Räjähdyskelpoinen kaasuilloseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai toistuvasti.
	1	Räjähdyskelpoinen kaasuilloseos esiintyy normaalikäytössä todennäköisesti satunnaisesti.
	2	Räjähdyskelpoinen kaasuilloseos ei todennäköisesti esiinny normaalikäytössä ja esiintyminen kestää lyhyen ajan.
Pölyräjähdysvaarallinen tila	20	Räjähdyskelpoinen pöly-illoseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
	21	Räjähdyskelpoinen pöly-illoseos todennäköisesti esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.
	22	Räjähdyskelpoisen pöly-illoseoksen esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää lyhyen ajan.

Räjähdysvaarallisissa tiloissa jakelujärjestelmänä ei saa käyttää TN-C-järjestelmää. Käytettäessä TN-S-järjestelmää nolla- ja suojajohtimien väliset eristysresistanssit tulee mitata ennen käyttöönottoa. Lisäksi nolla- ja suojajohtimen erillään pysymistä ja vaihejohtimien ja maan välistä eristystasoa suositellaan valvottavaksi vikavirtavalvontajärjestelmällä. [16, s. 284.]

Räjähdysvaarallisessa tilassa kaikki jännitteelle alttiit osat suojamaadoitetaan. Potentiaalintasaukseen yhdistetään kaikki kiinteät metalliset säiliöt, putkistot, kaapelihyllyt ja laitteiden rungot. Myös pienet metalliset kappaleet, kuten muoviputkien metalliset laipat ja venttiilit, tulee yhdistää potentiaalintasaukseen, jos staattinen sähkö aiheuttaa vaaran. Yhtenäiset metallirakenteet liitetään vähintään yhdestä kohtaa, mutta suuret rakenteet

vaativat useamman liitäntäpisteen. Liitäntäpisteiden määrä tulee arvioida rakenteen muodon ja koon mukaan. Hitsattuja, niitattuja ja pultattuja liitoksia pidetään riittävän johtavina, joten tällaisen liitoksen jakavia kappaleita ei tarvitse liittää erikseen. Putkistojen johtavuuden jatkuminen tulee varmistaa, koska niissä saattaa olla johtavuuden katkaisevia tiivisteitä, eristeaineita tai muuten huonosti johtavia osia. Tällaisten putkistojen potentiaalintasaus tulee toteuttaa joko niin sanotulla potentiaalintasausjohtimen yliheitolla tai liittämällä osat erikseen potentiaalintasaukseen. A-luokan tilassa laitteiden metalliset kotelot ja rungot yhdistetään potentiaalintasausjärjestelmään, vaikka jännitteelle alttiit osat suojamaadoitetaan. Tällä varmistetaan metallisten osien välinen tasapotentiaali staattisen sähköön ehkäisemiseksi. Lisäksi suojajännitteisten laitteiden metallikotelot liitetään potentiaalintasaukseen. [16, s. 284.]

11 Eri järjestelmien maadoitusperiaatteita

11.1 Liittymä, jossa on muuntamo

Liittymässä, jossa on muuntamo, tulee huomioida myös suurjännitejärjestelmän maadoitus. Tällaisessa liittymässä käytetään yleensä pien- ja suurjännitejärjestelmälle yhteistä maadoitusta ja useimmiten voidaan käyttää myös samaa maadoituselektrodia. Muuntajan maadoituselektrodin tulee olla vähintään 25 mm² kupariköysi. Pienjännitejärjestelmiä koskevien vaatimusten mukaista 16 mm² kupariköyttä voidaan kuitenkin käyttää, jos kokemusten mukaan korroosioriski ja mekaanisen vahingoittumisen riski ovat alhaiset. Suurjännitejärjestelmien maadoitusresistanssille on asetettu vaatimukset standardisarjassa SFS 6001. Muuntajalta tuodaan pääkeskukselle nelijohtiminen kaapeli tai kiskosilta. [7, s. 81–82.]

11.2 PEN-johdin

Sähköasennusten muutostöitä voidaan suorittaa eri laajuisina. Muutostyö voi kohdistua keskusta syöttävään pääjohtoon, itse keskukseen tai ryhmäjohtoihin. Lähtökohtana vanhojen asennusten muutostöissä on, että kaikissa uusissa ryhmäjohtoissa on oltava erillinen suojamaadoitusjohdin. Vanhojen PEN-johtimellisten ryhmäjohtojen jättäminen käyttöön ei suositella, mutta niiden vaihtamista uusiin ei kuitenkaan velvoiteta. Pääjohtona

vanhoja PEN-johtimia saa käyttää, vaikka niiden poikkipinta-ala ja tunnusväri eivät vastaisi nykyvaatimuksia. [16, s. 6.]

Vanhan kerrostalon sähköasennukset on usein toteutettu TN-C-järjestelmällä, jossa ryhmäkeskukset ovat nelikiskoisia ja ryhmäjohtoissa ei ole erillistä suojamaadoitusjohdinta. Pistorasiat ovat luokkaa 0. Jos tällaisessa rakennuksessa sijaitsevan asunnon sähköasennuksiin halutaan lisätä ryhmiä, uusissa ryhmäjohtoissa tulee olla erillinen suojamaadoitusjohdin. Tällöin sekä nolla- että suojamaadoitusjohdin yhdistetään keskuksen nollakiskoon. Pistorasioita suojaavat vikavirtasuojakytkimet voidaan asentaa normaalisti. Jos vanhaan ryhmäjohtoon lisätään maadoitettu pistorasia, päättyvään pistorasiaan tehdään nollaus. Nollattua ryhmäjohtoa ei saa jatkaa. Keskukselta lähtee harvoin ryhmäjohtoa yksittäiselle pistorasialle, vaan yleensä pistorasiat on ketjutettu. Turvallisuuden ja asennuksen selkeyden saavuttamiseksi pistorasiat ryhmäjohtoineen on suositeltavaa vaihtaa uusiin. [17, s. 13.]

Asunnon ryhmäkeskus vaihdetaan uuteen viisikiskoiseen keskukseseen, mutta vanhaa nelijohtimista nousukaapelia ei vaihdeta. Uusissa ryhmäjohtoissa on erillinen suojamaadoitusjohdin ja johdot yhdistetään keskukseseen normaalisti. Lisäksi osa vanhoista ryhmäjohtoista säilytetään, jolloin säilytettävät PEN-johtimet voidaan kytkeä joko nollakiskoon tai suojakiskoon. Nollakiskoon yhdistettäessä nolla- ja suojakiskon yhdistys tehdään syöttöpisteen läheisyydessä. Suojakiskoon yhdistettäessä täytyy varmistaa suojakiskon poikkipinta-alan riittävyys ja tehdä tarvittaessa toinen yhdistys nollakiskoon. Molemmissa tapauksissa keskukseseen tulee lisätä kilpi ”Keskukseseen on kytketty PEN-johtimia. Suojakiskon ja nollakiskon yhdistystä ei saa poistaa”. Jos keskuksen uusimisen yhteydessä nousukaapeli vaihdetaan uuteen viisijohtimiseen ja käyttöön jää kuitenkin ryhmäjohtotavalla PEN-johtimia, täytyy suojamaadoitus- ja nollajohtimet kytkeä rinnan sekä pää- että ryhmäkeskuksessa. [17, s. 14–16.]

11.3 Pienoisjännitejärjestelmät

Pienoisjännitteellä tarkoitetaan vaihtosähköllä enintään 50 V:n ja tasasähköllä 120 V:n järjestelmiä. Pienoisjännitejärjestelmät jaetaan SELV-, PELV ja FELV-järjestelmiin. SELV- ja PELV-järjestelmissä ei tarvita muuta vikasuojausta, koska niissä käytetään

suojaerotusmuuntajaa. Nämä kaksi järjestelmää eroavat toisistaan maadoitustavan perusteella. SELV on maasta erotettu, eikä sen jännitteisiä osia kytketä maahan. PELV voidaan maadoittaa muuntajan toisiopuolen toisesta navasta. [4, s. 115–116.]

FELV on toiminnallinen pienoisjännitejärjestelmä, jossa ei ole suojaerotusmuuntajaa ja pienoisjännite on toteutettu toiminnallisista eikä suojaavista syistä. Tästä syystä FELV-piirien suojaus täytyy toteuttaa kuten normaalien 230 V:n järjestelmien. Jännitteelle alttiit osat kytketään ensiöpiiriin suojajohtimeen. [4, s. 120.]

11.4 Aurinkosähköjärjestelmät

Rakennuksen katolle asennettavan aurinkosähköjärjestelmän maadoitus ja potentiaalintasaus voidaan toteuttaa joko osana salamasuojausjärjestelmää tai omana kokonaisuutenaan. Pääpotentiaalintasauksessa järjestelmän paljaat johtavat osat liitetään päämaadoituskiskoon. Lisäpotentiaalintasauksessa samanaikaisesti kosketeltavat osat yhdistetään toisiinsa kosketusjännitteiden pienentämiseksi. Maan tasalle rakennuksesta erillään olevan aurinkosähköjärjestelmän maadoitus ja potentiaalintasaus toteutetaan omana kokonaisuutenaan samoin periaattein kuin katolle asennettavan.

Joidenkin paneelien toiminta vaatii pääjohdon toiminnallisen maadoituksen, jolloin luodaan yhteys joko positiivisen tai negatiivisen johtimen ja maan välille. Tällöin kennoista vuotanut varaus saadaan siirrettyä maahan eikä varaus aiheuta häiriötä paneelien toiminnalle. Jos järjestelmän yksi johdin on liitetty suoraan toiminnalliseen maadoitukseen, vaadintaan toiminnallisen maadoitusvian poiskytkentälaitte. Laitteen tarkoitus on katkaista vikatilanteessa yhteys toiminnalliseen maadoitukseen. Poiskytkentää ei vaadita, jos maadoitus on toteutettu vastuksen kautta.

Paneeliston paljaiden johtavien osien maadoituksen ja potentiaalintasauksen mitoitus riippuu paneeliston suurimmasta jännitteestä ja salamasuojausjärjestelmän vaatimuksista. Esimerkiksi paneeliston kehys liitetään potentiaalintasaukseen, mutta joidenkin paneeliston osien toiminta vaatii toiminnallisen maadoituksen. Jos suurin jännite on yli 25 V vaihtojännitteellä eikä salamasuojauksen perusteella osia tarvitse maadoittaa tai liittää potentiaalintasaukseen, voidaan johtimena käyttää 6 mm²:n kuparijohdinta. Jos osat tulee maadoittaa tai liittää potentiaalintasaukseen, käytetään johtimen vähimmäispoikkipinta-alana 16 mm². Mikäli jännite on alle 25 V vaihtojännitteellä ja salamasuojaus vaatii

paljaiden johtavien osien maadoituksen, käytetään niin ikään 16 mm²:n kuparijohdinta. Jos salamasuojaus ei vaadi maadoitusta alle 25 V:n järjestelmässä, johtimen poikkipinta-alalle ei ole vaatimuksia.

11.5 Taajuusmuuttajat

Taajuusmuuttajakäytöissä käytetään keskuksen ja taajuusmuuttajan välistä tehokaapelia, taajuusmuuttajan ja moottorin välistä moottorikaapelia sekä ohjauskaapeleita. Jokaisen kaapelin suojamaadoitusjohdin liitetään taajuusmuuttajan maadoitusliittimiin. Lisäksi käytetään vahvistettua suojamaadoitusjohdinta, koska valmistajien ilmoittama kosketusvirta ylittää 3,5 mA. Tällöin vähintään yhden seuraavista ehdoista tulee täytyä:

- Suojamaadoitusjohtimen poikkipinta-ala on 10 mm² Cu tai 16 mm² Al.
- Verkkojännite katkeaa automaattisesti, jos suojamaadoitusjohdin katkeaa.
- Laitteessa on liitin toiselle suojamaadoitusjohtimelle, jonka poikkipinta-ala on sama kuin ensimmäisen suojamaadoitusjohtimen. [19, s. 6].

Käytännössä käytetään joko yhtä paksumpaa suojamaadoitusjohdinta tai kahta saman paksuista johdinta, jotka mitoitetaan taajuusmuuttajan vaatimusten mukaisesti. Taajuusmuuttajien kaapelit suositellaan asennettavaksi siten, että moottorikaapelin etäisyys tehokaapelista on vähintään 300 mm ja ohjauskaapeleista vähintään 500 mm. Ohjauskaapelit tulisi mahdollisuuksien mukaan asentaa omalle kaapelihyllylleen. [19, s. 6–7].

12 Dokumentaatio ja tarkastukset

12.1 Dokumentaatio

Standardissa ei esitetä yksityiskohtaisia vaatimuksia maadoitusten dokumentoinnista. Kaikista asennuksista tulee laatia maadoituskaavio, jossa esitetään päämaadoituskisko, johtimet poikkipintoineen ja maadoitukseen liitettävät osat. Johtimien tulee olla yksilöity ja tunnistettavissa sekä yhdenmukaiset toteutuneiden asennusten kanssa. Lisäksi liitäntäpisteiden tulee olla mahdollisimman selvästi esitetty. Kaaviossa esitetyt tunnuksot kiinnitetään kiskoihin ja johtimiin. Käyttöönototarkastuksesta laaditaan pöytäkirja, jossa

maadoitusten osalta esitetään aistinvaraisen tarkastuksen tulokset, eristysresistanssin mittausta ja suojajohtimien jatkuvuusmittaus. Jos maadoitusresistanssin mittausta vaaditaan, tulee mittauspöytäkirja toimittaa asennuksen haltijalle. [8, s. 7.]

12.2 Käyttöönottotarkastukset

Ennen sähkölaitteiston käyttöönottoa tarkastetaan, että laitteisto on määräysten mukainen ja turvallinen. Käyttöönottotarkastus sisältää aistinvaraisen tarkastuksen lisäksi mitaukset ja toiminnalliset kokeet. Tarkastukset suorittaa laitteiston rakentaja. Havaitut puutteet määrätään korjattaviksi ja tehdään mahdollinen varmennustarkastus. ST-kortti 51.21.05 Käyttöönottotarkastuspöytäkirja antaa hyvän pohjan tarkastuksen dokumentointiin. [4, s. 330–331.]

12.2.1 Aistinvarainen tarkastus

Aistinvarainen tarkastus tehdään yleensä jännitteettömässä laitteistossa ennen mittauksia. Maadoitusten ja potentiaalintasausten osalta tässä vaiheessa tarkastetaan silmämääräisesti näkyvien liitosten sopivuus, kiinnitykset ja merkinnät. Suojajohdinjärjestelmän osalta varmistetaan, että vaadittavat suojajohtimet ja potentiaalintasausojohtimet on asennettu, johtimet ovat tunnistettavissa, johdinpoikkipinnat ovat suunnitelmien mukaiset ja asennustavat noudattavat määräyksiä. Toteutuneiden asennusten ja maadoituskaaviossa esitettyjen tietojen vastaavuus tarkastetaan. [4, s. 331–337.]

12.2.2 Maadoitusresistanssin mittausta

TN-järjestelmässä pienjänniteasennusten maadoitusresistanssia ei tarvitse mitata, vaan maadoituselektrodin eheyden tarkastaminen riittää. Jos pienjännitejärjestelmällä on suurjännitejärjestelmän kanssa yhteinen elektrodi, tulee resistanssi mitata SFS 6001–suurjännitestandardin vaatimusten mukaisesti. [4, s. 345.]

12.2.3 Eristysresistanssin mittaus

Eristysresistanssin mittauksella varmistetaan, että vaihe- ja nollajohtimet ovat riittävän eristettyjä maasta. Mittaus suoritetaan jännitteettömässä asennuksessa käyttöönotto tarkastuksen yhteydessä. Mittaus voidaan valmiissa asennuksessa suorittaa pääkeskuksesta, jolloin se kattaa koko asennuksen. Jos tietty kokonaisuus halutaan ottaa käyttöön ennen kuin koko asennus on valmis, voidaan mittaus tehdä myös keskuskohtaisesti. [4, s. 339–341.]

Mittaus tehdään tarkoitukseen hyväksytyllä mittarilla jännitteettömäksi todetussa laitteistossa, jossa kytkimet ja varokkeet ovat paikoillaan. Nollajohdin irrotetaan mittauksen ajaksi. Tulos on hyväksyttävä, jos eristysresistanssin arvo on vähintään yhtä suuri kuin taulukossa 6 esitetty arvo. Jos mitattu arvo on pienempi kuin sallittu arvo, virtapiirit jaetaan pienempiin kokonaisuuksiin ja ne mitataan erikseen. Mikäli tulos ei ole näinkään mitattuna hyväksyttävä, mitataan jokainen keskuksesta lähtevä johto erikseen. Jos hyväksyttävää tulosta ei saada, täytyy syy selvittää. [4, s. 339–341.]

Taulukko 6. Eristysresistanssin sallitut arvot [20, s. 5].

Piirin nimellisjännite	Koejännite (tasajännite) V	Eristysresistanssi MΩ
SELV ja PELV	250	≥ 0,5
≤ 500 V, myös FELV	500	≥ 1,0
> 500 V	1 000	≥ 1,0

12.2.4 Suojajohtimien jatkuvuusmittaus

Vikasuojaus toteutetaan liittämällä jännitteelle alltiit osat suojajohtimen välityksellä maan potentiaaliin, ja suojauksen toimimisen varmistamiseksi suojajohtimen jatkuvuus on varmistettava. Standardin SFS 6000-6 kohdan 61.3.2 mukaan suojajohtimien mukaan luetuna pää- ja lisäpotentiaalintasausjohtimien jatkuvuus on todettava mittaamalla. Mittaus tehdään jännitteettömässä laitteistossa mittaamalla jännitteelle alltiin osan ja sitä lähinnä olevan pääpotentiaalintasaukseen liitetyn pisteen välinen suojajohtimen resistanssi. TN-

S-järjestelmässä nollajohdin tulee irrottaa mittauksen ajaksi maan potentiaalista. Jatkuvuusmittaus tulisi tehdä ensimmäisenä, koska näin suojajohtimien kunto varmistetaan ennen jännitteen kytkemistä. [4, s. 338–339.]

12.3 Kunnossapitotarkastukset

Kunnossapitotarkastuksille ei ole vaatimuksia, mutta tarkastukset ovat osa sähköasennukset huoltoa. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös 517/1996 velvoittaa sähkölaitteiston haltijan huolehtimaan laitteiston kunnan ja turvallisuuden tarkkailusta. Lisäksi havaitut puutteet ja viat tulee korjata mahdollisimman nopeasti. Maadoitusten ja potentiaalintasausten osalta kunnossapitotarkastuksessa tarkastetaan, että liitännät ovat luotettavasti kiinni ja merkinnät paikallaan.

Lääkintätilojen kunnossapitotarkastuksista annetaan vaatimukset standardisarjassa SFS 6000 kohdassa 710.62. Sähkölaitteiston rakentajan tai laitevalmistajan tulee toimittaa käyttäjälle käyttöohjeet, joista selviää tarvittavat kunnossapitotarkastukset. Maadoitusten ja potentiaalintasausten osalta standardissa annetaan määräys potentiaalintasausten mittauksista ja tarkastuksista kuuden vuoden välein. Jos suojajohtimien jatkuvuutta mitataan jatkuvasti, lisäpotentiaalintasausojohtimien jatkuvuuden mittauksen aikaväli voi olla pidempi. [16, s. 16–17.]

13 Yhteenveto

Maadoitusten ja potentiaalintasausten muodostaman kokonaisuuden ymmärtäminen on tärkeää turvallisen ja toimivan sähköasennuksen kannalta. Standardisarjassa SFS 6000 annetut vaatimukset maadoituksista ovat jakautuneet eri osioihin, mikä tekee tiedon nopeasta hakemisesta hankalaa. Esimerkiksi häiriöiden estämiseksi tehtyihin maadoituksiin liittyvät asiat eivät löydy yhdestä standardista, vaan olennaista tietoa täytyy osata etsiä useammasta kohtaa. Tämä vaikeuttaa kokonaiskuvan luomista. Lisäksi standarditekstin vaatimukset on esitetty yleisellä tasolla ja tietoa täytyy osata soveltaa. Tämä on ratkaistu julkaisemalla esimerkiksi ST-kortteja ja ST-käsikirjoja, joissa määräyksiä on sovellettu ja annettu käytännön esimerkkejä. Näillä julkaisuilla ei kuitenkaan ole kyetty ratkaisemaan tiedon pirstaloitumista, koska kaiken kattavaa julkaisua ei ole ja julkaisujen sisällä asioiden käsittely on usein epä johdonmukaista. Tiedon etsimiseen kuluva aika ja

löydetyn tiedon soveltaminen tiettyyn kohteeseen saattaa pahimmillaan hidastaa projektin etenemistä.

Tämän insinööriyön yhtenä tavoitteena oli koota maadoituksista ja potentiaalintasauksista annetut vaatimukset yhteen julkaisuun tiedon nopean löytämisen helpottamiseksi ja esittää eri järjestelmien maadoitusten periaatteet. Lisäksi maadoituksiin liittyvien määritelmien suuri määrä aiheuttaa helposti sekaannusta. Tämän vuoksi määritelmät on koottu liitteeseen 1, jossa kustakin määritelmästä on annettu englanninkielinen vastine ja suora lainaus standardista. Työn toinen tavoite oli luoda suunnitteluohje maadoituksista ja potentiaalintasauksista Hepacon Oy:n käyttöön.

Tuloksena syntyi laaja kirjallisuusselvitys, jonka perusteella hankittu tieto on esitetty työssä ja liitteisiin on koottu esimerkkejä erilaisten järjestelmien maadoituksista. Työssä on esitetty eri jakelujärjestelmien, maadoitusten ja potentiaalintasauksien lisäksi maadoituselektrodien ja johtimien mitoitusvaatimukset. Yleiskaapelointi- ja antennijärjestelmien lisäksi työssä on esitetty lääkintätilojen ja räjähdysvaarallisten tilojen maadoitusten perusteet. Sähköalalla ajankohtaisista asioista työhön on sisällytetty taajuusmuuttajakäyttöihin, aurinkosähköjärjestelmiin ja vanhoihin asennuksiin liittyviä vaatimuksia. Lisäksi yrityksen käyttöön jää suunnitteluohje, johon on koostettu tässä työssä esitetyt asiat. Uskon, että työ palvelee sekä kokeneempia että aloittelevia suunnittelijoita.

Lähteet

- 1 SFS 6000-1. Pienjännitesähköasennukset. 2012. Perusperiaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 2 Tiainen, Esa. 2014. Maadoituskirja. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 3 Mäkinen, Pertti A. 2016. ST 51.04. Johdinvärit 230/400 V:n järjestelmissä. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 4 Tiainen, Esa. 2014. D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 5 Pistorasian nollaus. 2016. Verkkodokumentti. STEK.
<http://www.stek.fi/kysy_sahkosta/sahkoasennukset/fi_FI/pistorasianollaus/>. Luettu 18.3.2016.
- 6 TN-järjestelmä. 2012. Verkkodokumentti. Virtuaaliammattikorkeakoulu.
<<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/030503/1113391235042/1150107031700/1150108014818/1150110431535.html>>. Luettu 20.3.2016
- 7 Tiainen, Esa. 2010. Maadoitusopas. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 8 SFS 6000-5-54. Pienjännitesähköasennukset. 2012. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Maadoittaminen ja suojajohtimet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 9 SFS 6000-4-44. Pienjännitesähköasennukset. 2012. Suojausmenetelmät. Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 10 Ylinen Timo. 2008. EMC ja rakennusten sähkötekniikka. ST-käsikirja 37. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 11 Nurmi, Tapani. 2012. ST 53.21. Rakennusten sähköasennusten maadoitukset ja potentiaalintasaukset. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 12 SFS 6000-7-710. Pienjännitesähköasennukset. 2012. Erikoistilojen- ja asennusten vaatimukset. Lääkintätilat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 13 Selvitys viestintäverkkojen sähköisestä suojaamisesta ja maadoituksista. 2014. Helsinki: Viestintävirasto.

- 14 Ristilä, Juha. 2015. ST 621.31. Yhteisantennijärjestelmät. Maadoitus ja potentiaalintasaus. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 15 SFS-EN 60079-14. Räjähdyksenvaaralliset tilat. 2009. Osa 14: Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 16 SFS-käsikirja 604-2. Räjähdyksenvaaralliset tilat. Osa 2: Sähköasennukset. tarkastus ja huolto. 2009. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 17 SFS 6000-8-802. Pienjännitesähköasennukset. 2012. Täydentävät vaatimukset. Sähköasennusten korjaus-, muutos- ja laajennustyöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 18 SFS-käsikirja 607. 2015. Aurinkosähköjärjestelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 19 Vacon 100 HVAC-taajuusmuuttajat. Asennusopas. 2012. Verkkodokumentti. Vacon Oy. <http://www.vacon.com/ImageVaultFiles/id_4796/cf_2/Vacon-100-HVAC-Installation-Manual-DPD00504G-FI.PDF> Luettu 31.3.2016.
- 20 SFS 6000-6. Pienjännitesähköasennukset. 2012. Tarkastukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Määritelmät

Seuraavassa on esitetty maadoituksiin ja potentiaalintasauksiin liittyvä keskeinen terminologia. Termistä on annettu sekä suomen- että englanninkielinen vastine. Kursiivilla on esitetty kansainvälisen standardin IEC 60050-826 mukainen määritelmä ja hakasulkeissa on annettu standardin mukainen numero. Lisäksi joitain määritelmiä on tarkennettu.

johtava osa

conductive part

Osa, joka voi johtaa sähkövirtaa. [826-12-09]

jännitteelle altis osa

exposed conductive part

Sähkölaitteen johtava osa, jota voi koskettaa ja joka ei normaalisti ole jännitteinen, mutta joka voi tulla jännitteiseksi peruseristyksen eristysvian takia. [826-12-10]

Jännitteelle alttiit osia ovat sellaiset sähkölaitteiden rungot ja osat, jotka tulevat jännitteiksi peruseristyksen pettäessä. Valaisimen metallirunko on esimerkki jännitteelle alttiista osasta. Jännitteelle alttiit osat yhdistetään suojajohtimella maadoitusjärjestelmään.

jännitteinen osa

live part

Normaalikäytössä virtapiiriin kuuluva johdin tai johtava osa nollajohdin mukaan luetuna, PEN-johdinta, PEM-johdinta ja PEL-johdinta lukuun ottamatta. [826-12-08]

Jännitteinen osa on johdin tai sähkölaitteen sellainen osa, joka on normaalikäytössä jännitteinen.

kosketusjännite

touch voltage

Samanaikaisesti kosketeltavien osien välillä esiintyvä jännite ihmisen tai eläimen koskettaessa niitä. [826-11-05]

maa*earth*

Maan johtava osa, joka on yhteydessä maadoituselektrodiin, ja jonka potentiaali ei välttämättä ole nolla. [826-13-02]

maadoituselektrodi*earth electrode*

Johtava osa, joka on sähköisessä yhteydessä maahan ja voi olla upotettu erityiseen johtavaan väliaineeseen esim. betoniin. [826-13-05]

maadoitusjohdin*earthing conductor*

Johdin, joka muodostaa asennuksen, järjestelmän tai laitteen määrätyn osan ja maan välille johtavan yhteyden tai osan tästä yhteydestä. [826-13-12]

Maadoitusjohtimella maadoituselektrodi yhdistetään päämaadoituskiskoon.

maadoitusjärjestelmä*earthing arrangement*

Kaikki sähköiset kytkennät ja laitteet, jotka muodostavat järjestelmän, laitteiston ja laitteen maadoituksen. [826-13-04]

maadoitusresistanssi*total earthing resistance*

Maadoitusimpedanssin reaalinen osa. [826-13-17]

Maadoitusresistanssi on päämaadoituskiskon ja maan välinen resistanssi. Resistanssin tulisi olla mahdollisimman pieni.

maasulkuvirta*earth fault current*

Virta, joka kulkee päävirtapiiristä maahan tai maadoitettuihin osiin vikakohtassa.

muu johtava osa

extraneous-conductive-part

Sähköasennukseen kuulumaton osa, jossa voi esiintyä tietty potentiaali, yleensä paikallisen maan potentiaali. [826-12-11]

Muita johtavia osia ovat esimerkiksi rakennukseen tulevat metalliset putket, metalliset rakenneosat ja betoniteräksiset.

nollajohdin

neutral conductor

Järjestelmän nollapisteeseen sähköisesti yhdistetty johdin, joka kykenee osallistumaan sähköenergian siirtoon. [826-14-07]

PEN-johdin

PEN conductor

Johdin, joka toimii samalla sekä suojamaadoitus- että nollajohtimena. [826-13-25]

perustusmaadoituselektrodi

foundation earth electrode

Yleensä suljetun renkaan muotoinen johtava osa, joka on upotettu maahan rakennuksen perustusten alle tai ensisijaisesti upotettu rakennuksen perustuksen betoniin. [826-13-08]

potentiaalintasaus

equipotential bonding

Johtavien osien välinen sähköinen liitäntä, jonka tarkoituksena on saavuttaa tasapotentiaali. [826-13-19]

potentiaalintasausjärjestelmä

equipotential bonding system

Johtavien osien välinen yhteenkytkentä, jolla saavutetaan näiden osien potentiaalintasaus. [826-13-30]

(suojaava) potentiaalintasausjohdin

protective bonding conductor

Suojajohdin, jonka avulla tehdään suojaava potentiaalintasaus. [826-13-24]

potentiaalintasauskisko

equipotential bonding busbar

Kisko, joka on osa potentiaalintasausjärjestelmää ja johon voidaan liittää potentiaalintasaukseen käytettäviä johtimia. [826-13-35]

potentiaalintasausliitin

equipotential bonding terminal

Laitteessa tai kojeessa oleva liitin, joka on tarkoitettu sähköiseen liittämiseen potentiaalintasausjärjestelmään. [826-13-34]

potentiaalintasausrengasjohdin

bonding ring conductor (BRC)

Suljetun renkaan muotoon asennettu maadoitusväyläjohdin. [EN 50310-3.1.3]

Teletiloissa käytetty yleensä kaapelihyllyn alapintaan asennettava paljas kuparijohdin, johon telelaitekaappien toiminnalliset potentiaalintasausjohtimet yhdistetään.

päämaadoituskisko, päämaadoitusliitin

main earthing terminal; main earthing busbar

Kisko tai liitin, joka on osa maadoitusjärjestelmää ja johon voidaan liittää maadoittamista varten useita johtimia. [826-13-15]

Päämaadoituskisko toimii maadoitusten ja potentiaalintasauksen koontipisteenä.

referenssimaa

reference earth

Maan johtava osa, jonka sähköiseksi potentiaaliksi missä tahansa kohdassa on sovittu nolla, ja joka on kaikkien maadoitusjärjestelmien vaikutusalueen ulkopuolella. [826-13-01]

suojaava potentiaalintasaus

protective-equipotential-bonding

Suojaustarkoitukseen käytetty potentiaalintasaus. [826-13-20]

suojaava potentiaalintasausjärjestelmä

protective equipotential bonding system

Potentiaalintasausjärjestelmä, jolla saavutetaan suojaava potentiaalintasaus.

[826-13-31]

suojajohdin

protective conductor

Johdin, jota käytetään suojauksen takia, esimerkiksi sähköiskulta suojaamiseen.

[826-13-22]

Suojajohtimia ovat suojamaadoitusjohdin, suojaavat potentiaalintasausjohtimet ja maadoitusjohdin. Tässä työssä suojajohtimesta puhuttaessa tarkoitetaan suojamaadoitusjohdinta.

suojamaadoitus

protective earthing, PE

Järjestelmän tai asennuksen pisteen maadoittaminen suojauksen takia. [826-13-09]

Suojamaadoitus tehdään sähköiskulta suojaamisen takia, ja se voi olla joko erillinen kokonaisuutensa tai yhdistetty toiminnalliseen maadoitukseen.

suojamaadoitusjohdin

protective earthing conductor

Suojajohdin, jota käytetään suojamaadoittamisen suorittamiseen. [826-13-23]

Suojajohtimesta käytetään myös nimeä suojamaadoitusjohdin varsinkin ryhmäjohton suojajohtimesta puhuttaessa.

tasapotentiaali

equipotentiality

Olosuhde, jossa johtavat osat ovat suunnilleen samassa sähköisessä potentiaalissa.

[826-13-18]

toiminnallinen maadoitus

functional earthing, FE

Järjestelmän, asennuksen tai laitteen pisteen tai pisteiden maadoittaminen muun syyn kuin sähköiskulta suojaamisen takia. [826-13-10]

Jotkin elektroniset laitteet vaativat toimiakseen referenssijännitteen, joka on suunnilleen maan potentiaalissa. Tämä toteutetaan toiminnallisen maadoituksen avulla.

toiminnallinen maadoitusjohdin

functional earthing conductor

Toiminnalliseen maadoitukseen käytetty johdin. [826-13-28]

toiminnallinen potentiaalintasaus

functional-equipotential-bonding, FB

Muun toiminnallisen syyn kuin turvallisuuden takia tehty potentiaalintasaus. [826-13-21]

toiminnallinen potentiaalintasausjohdin

functional bonding conductor

Toiminnalliseen potentiaalintasaukseen käytetty johdin. [826-13-29]

toiminnallinen potentiaalintasausjärjestelmä

functional equipotential bonding system

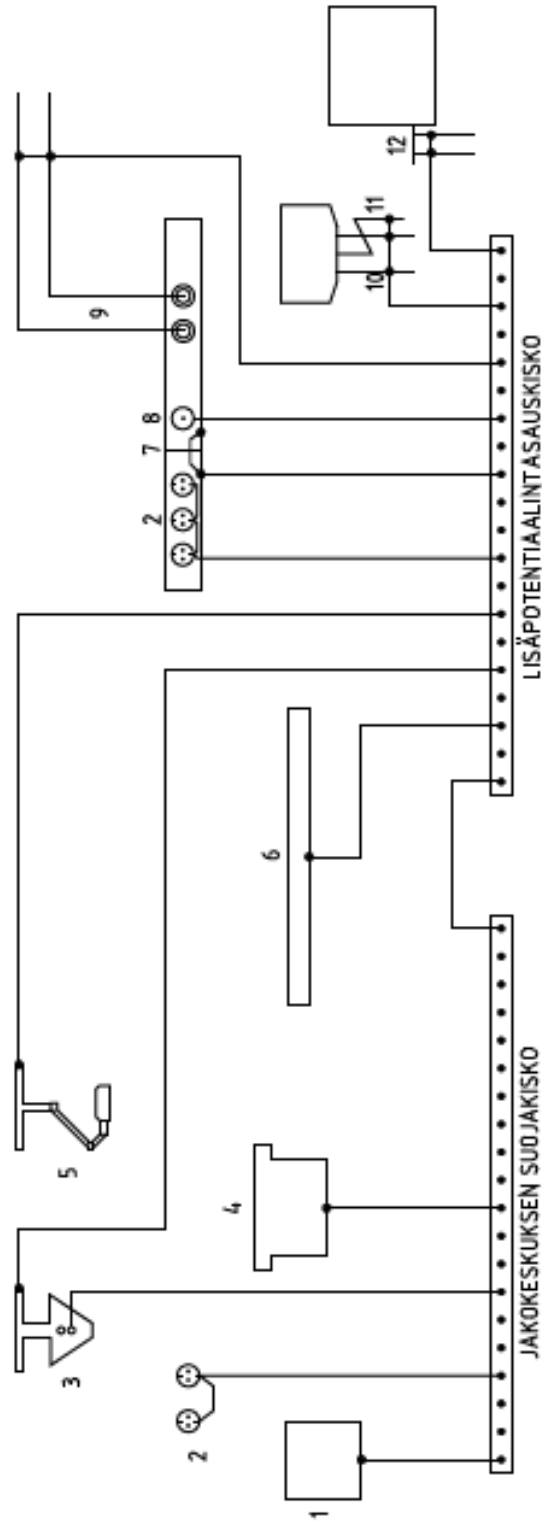
Potentiaalintasausjärjestelmä, jolla saavutetaan toiminnallinen potentiaalintasaus. [826-13-32]

yhteinen potentiaalintasausjärjestelmä

common equipotential bonding system

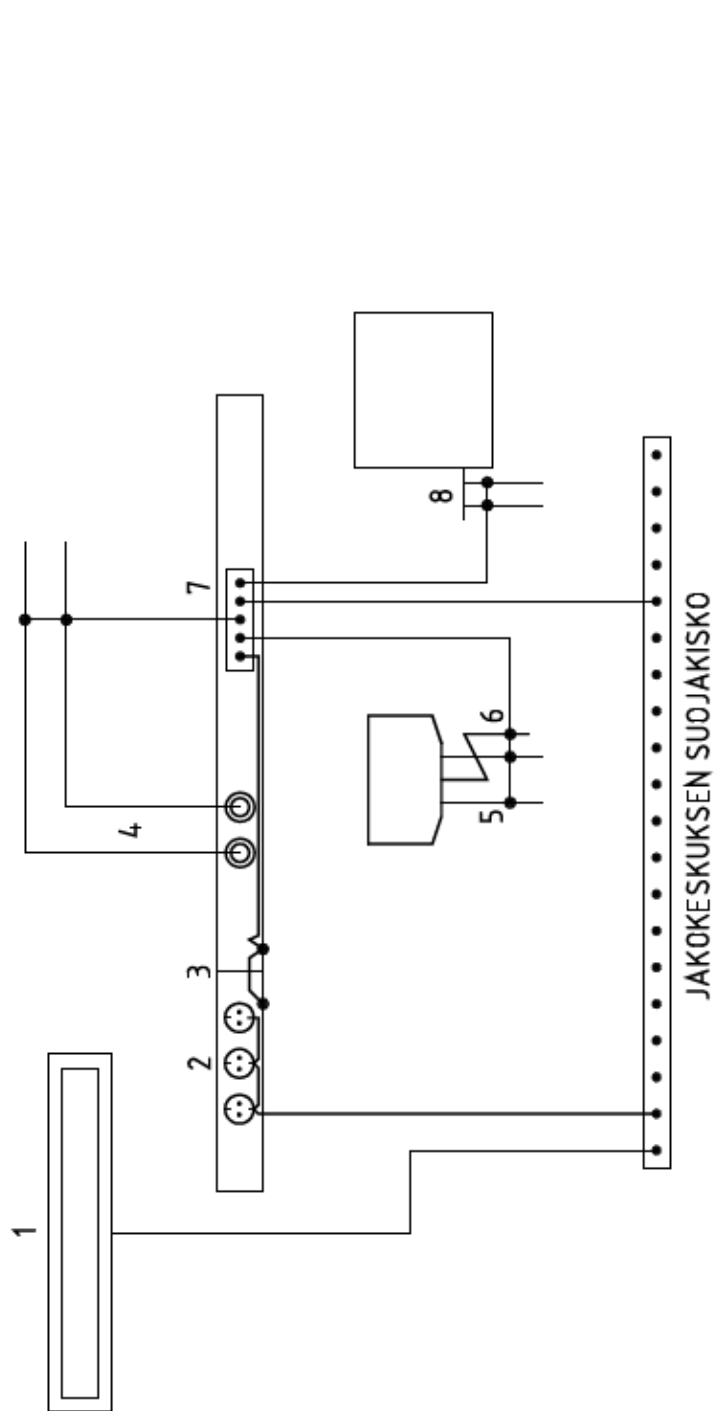
Potentiaalintasausjärjestelmä, jolla saavutetaan sekä suojaava että toiminnallinen potentiaalintasaus. [826-13-33]

Esimerkki ryhmän 2 lääkintätilan maadoituksista ja potentiaalintasauksista.



- | | | | |
|---|---|----|--|
| 1 | KIINTEÄSTI ASENNETTU SÄHKÖLAITE | 7 | JOHTOKANAVA, RUNKO-OSAT LIITETTY TOISIINSA |
| 2 | PISTORASIA | 8 | POTENTIAALINTASAUSPISTORASIA |
| 3 | KÄTTÖVARSIPISTORASIOINEEN | 9 | SAIRAALAKAASU- JA PAINELMAPUTKISTOT |
| 4 | LEIKKAUSPÖYTÄ, SYÖTTÖ IT-JÄRJESTELMÄSTÄ | 10 | VESIJOHDOT |
| 5 | LEIKKAUSVALAISIN, SYÖTTÖSELV-JÄRJESTELMÄSTÄ
JA 0,5 s LISÄTEHOLÄHTEESTÄ | 11 | JOHTAVA VIEMÄRIPUTKISTO |
| 6 | VARUSTEKISKO | 12 | LÄMPÖPATTERIT JA LÄMPÖJOHDOT |

Esimerkki ryhmän 1 lääkintätilan maadoituksista ja potentiaalintasauksista.



- 1 POTILASVALAISIN
- 2 PISTORASIA
- 3 JOHTOKANAVA, RUNKO-OSAT LIITETTY TOISIINSA
- 4 SAIRAALAKAASU- JA PAINELMAPUTKISTOT

- 5 VESIJOHDOT
- 6 JOHTAVA VIEMÄRIPUTKISTO
- 7 LISÄPOTENTIAALINTÄSAUJKISKO
- 8 LÄMPÖPATTERI JA LÄMPÖJOHDOT