



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Patrik Wikholm

# Pienjännitemaadoitukset ja suojaus jännite- ja sähkömagneettisilta häiriöiltä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinööriyö

26.05.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Patrik Wikholm Pienjännitemaadoitukset ja suojaus jännite- ja sähkömagneettisilta häiriöiltä 23 sivua 26.05.2020
Tutkinto	insinööri (amk)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	lehtori Tuomo Heikkinen
<p>Insinööriyön tavoite oli laajentaa tietämystäni pienjännitemaadoituksista, maadoitusmittausmenetelmistä ja suojaus jännite- ja sähkömagneettisilta häiriöiltä, ja insinööriyön aikana oppimat tiedot aion hyödyntää tulevaisuudessa työelämässä.</p> <p>Insinööriyössä käytiin läpi pienjännitemaadoituksista ja sen rakenteista ja jakelujärjestelmistä TN-C, TN-S ja TN-C-S. Vaatimuksista koskien maadoituksia jaettiin kahteen eri kategoriaan, maadoituselektrodiin ja potentiaalitasasta koskeviin vaatimuksiin. Maadoitusmittauksesta käytiin läpi ajankohdat, milloin niitä suoritetaan, sekä erilaisista maadoitusmittausmenetelmistä kuten virtaa syöttämällä maadoituselektrodiin, käännepestemenetelmällä ja Voltti-ampeerimittaus menetelmällä.</p> <p>Suojausvaatimuksista jännite- ja sähkömagneettisilta häiriöiltä sähköasennuksissa insinööriyössä käytiin läpi suojaus alijännitteeltä, suojaus sähkömagneettisilta häiriöiltä, suojaus ilmastollisilta sekä kytkentäylijännitteiltä että pienjänniteasennusten suojaamisesta suurjännitejärjestelmien maasuluista.</p> <p>Insinööriyötä toteutettiin kokonaan lukemalla kirjoja ja standardeja koskien aihetta ja työssä on esitelty standardien ja kirjojen keskeisimmät periaatteet. Lopputuloksena oli, että pienjännitejärjestelmien maadoitusten vaatimukset koskien materiaaleja, asennustapoja ja laitteiden suojaamisesta ovat hyvin laajat.</p>	
Avainsanat	maadoitus, suojaus, maadoitusmittaus, TN-C, TN-S, TN-C-S

Author Title Number of Pages Date	Patrik Wikholm Low Voltage Grounding and Protection against Voltage and Electromagnetic Interference 23 pages 26 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructor	Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer
<p>The goal in this thesis is to expand my own knowledge about low voltage earthing, earthing methods and protection against voltage and electromagnetic interference.</p> <p>The thesis begins with description of low voltage earthing and its structure and different distribution systems like TN-C, TN-S and TN-C-S. Grounding requirements can be divided into two separate categories, earthing electrode and potential equalization requirements.</p> <p>Concerning earth measurement, the thesis deals with when it is time for earth measurement and its various earth measurement methods.</p> <p>In the end the thesis handles the protection against voltage and electromagnetic interference (EMI) in electrical installations and its protection requirements.</p> <p>The thesis was carried out entirely by reading books and standards on the subject. The result was that low voltage earthing requirements about materials, installation and the protection of electrical equipment is very wide.</p>	
Keywords	Ground, protection, grounding measurement, TN-C, TN-S, TN-C-S

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Pienjänniteasennusten maadoitus	2
3	Jakelujärjestelmät	3
3.1	TN-C-järjestelmä	3
3.2	TN-S-järjestelmä	4
3.3	TN-C-S-järjestelmä	5
4	Maadoitukset ja potentiaalitasaukset	6
5	Maadoitusmittaukset	8
5.1	Maadoitusresistanssin arvot	9
5.2	Ajankohta maadoitusmittauksille	9
5.3	Mittausmenetelmät	10
5.3.1	Virran syöttö maadoituselektrodiin	10
5.3.2	Käännepistemenetelmä	11
5.3.3	Voltti-ampeerimenetelmä	13
5.4	Mittausmenetelmien vertailu	14
5.5	Mittausmenetelmän valinta	15
6	Suojaus jännite- ja sähkömagneettisilta häiriöiltä	16
6.1	Pienjänniteasennusten suojaus suurjännitejärjestelmien maasuluista	16
6.2	Suojaus ilmastollisilta ja kytkentäylijännitteiltä	17
6.3	Suojaus sähkömagneettisilta häiriöiltä	19
6.4	Suojaus alijännitteeltä	21
7	Yhteenveto	22
	Lähteet	23

## Lyhenteet

### 2. luokan sähkölaite

Sähkölaitteen peruseristyksen lisäksi löytyy lisäeristys, joka suojaaa kun peruseristys pettää.

EMI Sähkömagneettinen häiriö.

I Ampeeri, A.

PEN Nolla- ja suojamaadoitusjohdin yhdistetty samaan johtimeen.

R Resistanssi,  $\Omega$ .

$R_B$  Maadoituksen ja nollan välinen resistanssi.

$R_E$  Muuntamon maadoitusjärjestelmän resistanssi.

SELV Maasta erotettu pienjännitejärjestelmä.

t Aika sekunneissa, s.

### Transientti ylijännite

Nopeasti syntyvä ylijännite.

U Jännite, V.

$U_1$  Käyttötaajuinen rasitusjännite vian aikana muuntamon ja pienjännitelaitteiden äärijohtimen ja jännitteelle alttiiden osien välillä.

$U_2$  Käyttötaajuinen rasitusjännite vian aikana pienjänniteasennuksen ja pienjännitelaitteiden äärijohtimen ja jännitteelle alttiiden osien välillä.

$U_E$  Maadoitusjärjestelmän ja referenssimaan välinen jännite, V.

$U_f$  Käyttötaajuinen vikajännite, vikajännitteelle alttiiden osien ja maan välillä.

$U_{Tp}$  Sallittu kosketusjännite.

## 1 Johdanto

Insinööriyön tavoite on kertoa pienjännite asennuksien maadoituksista, potentiaalita-  
sauksista ja eri tavoista rakentaa pienjänniteverkonjakelujärjestelmää ja niiden eri hyö-  
dyistä. Tämän lisäksi insinööriyö kertoo kevyesti maadoitusmittauksista muutamalla esi-  
merkillä eri maadoitusmittaustavoista. Työssä tarkastellaan myös siitä, miten valitaan  
tapaukseen sopiva maadoitusmittaus tapa ja milloin on ajankohtaista maadoitusmittauk-  
selle.

Suojauksesta jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä opinnäyte työ käy läpi,  
mistä häiriöt syntyvät ja miten voidaan vaikuttaa häiriöiden pienentämiseen tai mahdolti-  
sesti poistaa kokonaan.

## 2 Pienjänniteasennusten maadoitus

Maadoitusasennuksen tehtävä on luoda sähköasennuksesta luotettava ja turvallinen. Turvallinen ja toimiva sähköasennus ilman maadoituksia onnistuu myös

- 2. luokan sähkölaitteissa
- SELV-järjestelmissä
- sopivalla galvaanisella erottamisella.

Laajoissa järjestelmissä maadoituksen käyttö on olennainen. Pienjänniteasennuksen maadoituksia koskevat perusvaatimukset on tuotu esille standardissa *SFS 6000-5-54:2017 Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen*. Maadoittaminen ja suojajohtimet ja standardissa *SFS 6000-4-41:2017 Suojausmenetelmät*. Suojaus sähköiskulta. Kyseiset standardit perustuvat kansainvälisen standardisointijärjestön IEC:n standardiin *IEC 60364*. (Tiainen ym. 2019, s.31.)

Maadoitusjärjestelmän rakenteeseen valintaan vaikuttaa moni asia. Tällainen on esimerkiksi kiinteistön käyttötarkoitus ja kiinteistössä tulevien käytettävien laitteiden vaatimukset, välittömästi ja välillisesti aiheutuvat kustannukset rakennuksen käytön aikana ja sen rakennusvaiheessa ja minkä maadoitustapa järjestelmän valitsee TT-, IT- tai TN-järjestelmä. Sen lisäksi turvallisuusvaatimukset esim.: potentiaalitasaus ja automaattinen poiskytkentä, johtavat rakenteet rakennuksessa esim. LVI-järjestelmät ja erilaiset maadoitusjärjestelmät rakennuksessa esim. salamasuojaus, ylijännitesuojaus, suurjännitejärjestelmien ja tietoliikennejärjestelmät vaikuttavat. Ja jos rakennettavassa kohteessa yhteinen maadoitus suurjännite- ja pienjänniteasennuksissa sekin vaikuttaa maadoitusjärjestelmän valintaan. (Tiainen ym. 2019, s.31.)

Kaikki edellä mainitut asiat vaikuttavat maadoitusjärjestelmän suunnitteluun. Ja näiden takia ei löydy yhtä hyvää maadoitusjärjestelmän rakennetta, jota voisi käyttää jokaisessa tilanteessa. Valinta edellyttää aina tapauskohtaista harkintaa ja tietoa rakennettavasta kohteesta ennen toteutusta. Erilaisten malliratkaisujen käyttämisen seurauksena voi olla liian kallis tai liian huonosti toimiva lopputulos. Eritoten käytönaikaiset kulut on useimmiten otettu huonosti huomioon. (Tiainen ym. 2019, s.31.)



Sähköasennusten asettamat turvallisuusvaatimukset maadoituksiin asettavat minimitason. Käyttö ja erilaiset tekniset järjestelmät voivat muuttua rakennuksessa jossain vaiheessa ja sen takia tulisi ottaa huomioon kaikki mahdolliset muutokset suunnitteluvaiheessa, esimerkiksi ei tarvitse mennä pitkälle ajassa taaksepäin, kun ei osattu vielä varautua nykyään käytössä oleviin tietotekniikan järjestelmiin. Vaatimukset eri maadoitusjärjestelmille voivat muuttua, ja sen takia on hyvä, jos maadoitusjärjestelmä on rakennettu mahdollisimman joustavaksi. (Tiainen ym. 2019, s.32.)

Maadoituselektrodit ja erilaiset sisälle jäävät liitännät betonirakenteissa ovat vaikeita muuttaa jälkikäteen. Sen takia pitää kiinnittää huomiota erityisesti näihin asennuksiin rakennusvaiheessa ja suunnittelussa. Uusista järjestelmistä, joista ei ole vielä tietoa, on turhaa alkaa arvailemaan mitä tulevaisuudessa vaativat toimiakseen. Pääasia on, että tarpeen vaatiessa maadoitusjärjestelmään voi helposti tehdä muutoksia myöhemmin. On hyvä varata rakennuksen sisäpuolella maadoitusjärjestelmille ja muille järjestelmille tilaa johtoreitille. On myös hyvä varmistaa, että johtoreitit ovat muunneltavissa tarpeen vaatiessa. (Tiainen ym. 2019, s.32.)

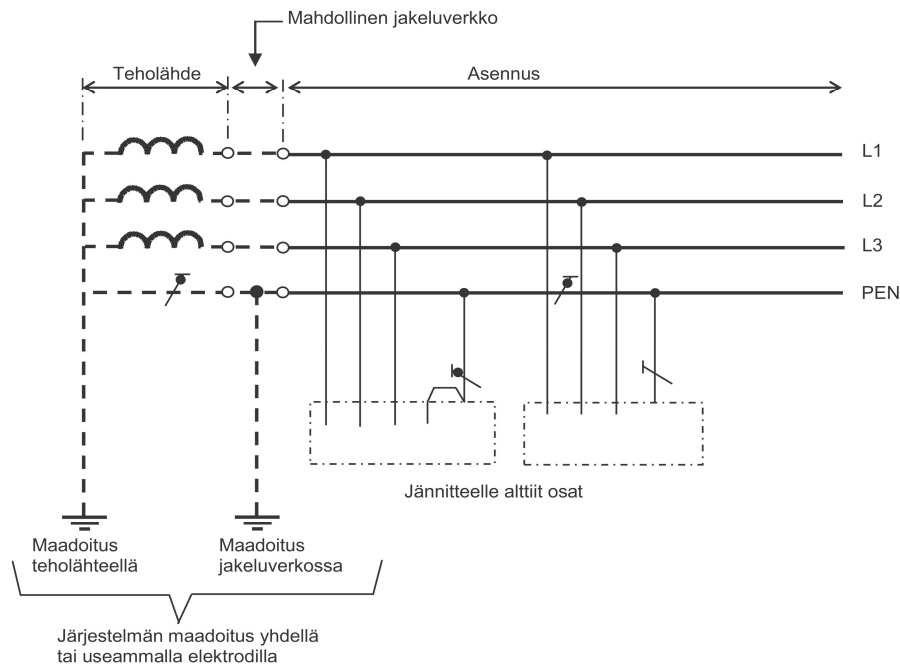
### 3 Jakelujärjestelmät

Suomessa käytetään sähköasennuksissa melkein vain TN-järjestelmiä. (Tiainen ym. 2019: 32.) TN-järjestelmissä on yksi kytkentäpiste, joka on suoraan maadoitettu. Tähän pisteeseen on kytketty PEN-johtimella tai suojamaadoitusjohtimella sähkölaitteiston jännitteelle alttiit osat. Suojamaadoitus- ja nollajohtimen järjestelylle on kolme erilaista TN-järjestelmää, TN-C-, TN-S- ja TN-C-S-järjestelmä. (Ylinen 2016, s.26.)

#### 3.1 TN-C-järjestelmä

TN-C-järjestelmässä on yhdistetty nollajohdin ja suojamaadoitusjohdin toiminnot yhteen. Kun pienjänniteverkon nolla- ja suojamaadoitusjohdin on yhdistetty, saadaan PEN-johdin, TN-C-järjestelmän rakenne näkyy kuvassa 1. Jakeluverkoissa käytetään yleisesti TN-C-järjestelmää. TN-C-järjestelmässä on omat haittansa, josta vakavin on PEN-johtimen katkeamisesta tulevat seuraukset. Jos PEN-johdin katkeaa, jännitteelle alttiit osat

voivat tulla jännitteisiksi. PEN-johdinriskin minimoimiseksi vain tarpeeksi suuri poikkipintaisten PEN-johtimen käyttö on hyväksytty. Kuparijohdoissa PEN-johtimen poikkipinta pitää olla vähintään 10 mm<sup>2</sup> ja alumiinijohtimena vähintään 16 mm<sup>2</sup>. PEN-johtimen käyttö siirrettävissä kaapeleissa (esim. kumikaapeleissa) on kielletty isomman riskin takia. (Tiainen ym. 2019, s.32.)



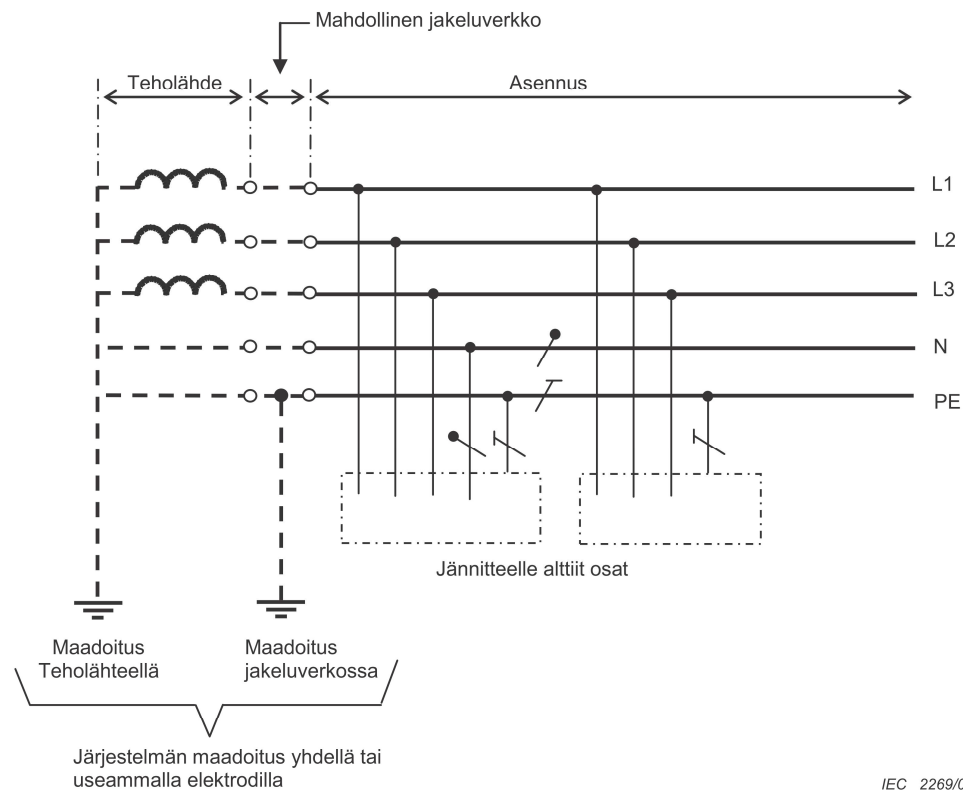
IEC 2275/05

Kuva 1. Periaatekuva TN-C-järjestelmästä (SFS 6000-1:2017, s.42.)

### 3.2 TN-S-järjestelmä

TN-S-järjestelmässä on erilliset nolla- ja suojamaadoitusjohtimet koko sähköasennuksessa, TN-S-järjestelmän rakenne näkyy kuvassa 2. Järjestelmä kehitettiin, kun huomattiin että tietotekniikan laitteistojen yleistymisen aiheuttaa ongelmia häiriösuojauksen kanssa TN-C-asennuksissa. Häiriösuojausongelmien takia on 1990-luvusta lähtien kaikkien rakennuksien sisäpuolella tehdyt sähköasennukset pääsääntöisesti tehty TN-S-järjestelmällä. Standardisarjassa SFS 6000 vaaditaan, että kaikissa uusissa rakennuksissa käytetään TN-S-järjestelmää liittymiskohdasta eteenpäin. Muutos ja

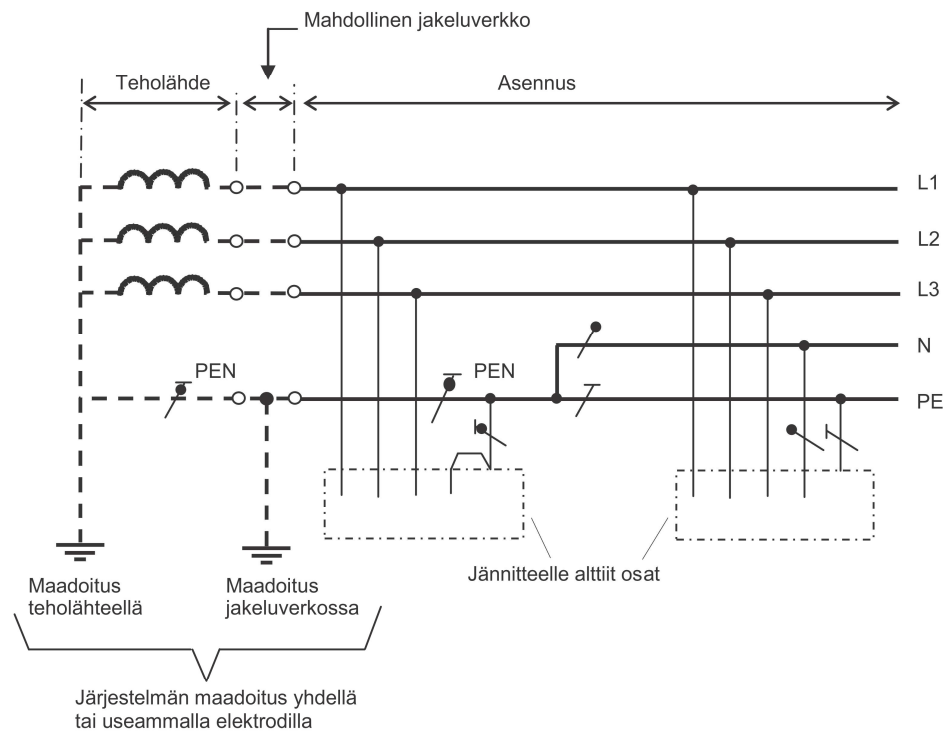
laajennustöissä suositellaan asennettavaksi TN-S-järjestelmä liittymiskohdasta eteenpäin. Standardissa *SFS 6000-8-802:2017* on ohjeita kytkennöistä muutos- ja tilapäisratkaisuisa. (Tiainen ym. 2019, s.32–33.)



Kuva 2. Periaatekuva TN-S-järjestelmästä (SFS- 6000-1:2017, s.40.)

### 3.3 TN-C-S-järjestelmä

TN-C-S-järjestelmässä on yhdistelmä TN-C- ja TN-S-järjestelmästä, mutta TN-C-järjestelmä on aina oltava verkon syöttävällä puolella, TN-C-S-järjestelmän rakenne näkyy kuvassa 3. Kiinteistöissä, joissa käytetään TN-C-S-järjestelmää, on yleisesti TN-S-järjestelmä kiinteistön sisällä ja rakennuksen ulkopuolella ilmajohtoja, jotka on rakennettu TN-C-järjestelmällä. TN-C-järjestelmästä saa vaihtaa TN-S-järjestelmään mutta ei koskaan toisin päin. (Tiainen ym. 2019, s.32–33.)



IEC 2272/05

Kuva 3. Periaatekuva TN-C-S-järjestelmästä (SFS- 6000-1:2017, s.41.)

#### 4 Maadoitukset ja potentiaalitasaukset

Maadoituksia koskevat vaatimukset voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan, maadoitus-elektrodiin ja potentiaalitasaukseen koskeviin vaatimuksiin. Pää tarkoitus maadoittamisella on varmistaa häiriötöntä toimintaa sähkölaitteille ja varmistaa että suojaus toimii. (Tiainen ym. 2019, s.33.)

TN-järjestelmässä kytketään laitteiden jännitteelle alltiit osat järjestelmän maahan tähtipisteeseen suojamaadoitusjohtimilla. Vikatapauksessa jännitteelle alltiiden osien viallinen virtapiiriin virta on niin iso, että ylivirtasuojat laukeavat nopeasti standardin SFS6000-4-41:2017 vaatimuksen mukaisesti. Vian aikana kosketusjännitteet minimoidaan liittämällä johtavat osat ja jännitteelle alltiit osat samaan potentiaaliin, toisin sanoen potentiaalitasauksella. (Tiainen ym. 2019, s.33.)

Tähtipiste TN-järjestelmässä maadoitetaan noudattaen standardia *SFS6000-4-41:2017* kaikilla generaattoreilla sekä muuntajilla että kohteiden lähellä. Generaattorin tai muuntajan tähtipisteeseen voidaan yhdistää maadoitus tai kytkeä maadoitus lähellä olevaan pääkeskukseen. Yleensä tähtipiste yhdistetään suoraan maahan, mutta jakeluverkoissa on poikkeus, että tähtipistettä voidaan yhdistää maahan 200 metrin säteellä muuntajasta, ns. siirretty maadoitus. Siirrettyä maadoitusta on otettu käyttöön Suomessa koska pylväsmuuntamoita on jouduttu rakentamaan kallioille. Suomessa vaaditaan erikseen maadoittaminen sähkön liittymispisteessä, vaikka standardin *SFS 6000* esikuvissa IEC- ja CENELEC-julkaisuissa ei maadoitusvaatimusta ole muutoin kuin syöttöpisteellä. Syyt siihen, että Suomessa maadoitetaan sähkön liittymispisteessä, ovat seuraavat:

- Korkeita maasulkujännitteitä syntyy suurjännitejärjestelmien maasuluissa. Maasulun aiheuttamat seurauksia pienjänniteverkkoon minimoidaan, kun pienjänniteverkko on kattavasti maadoitettu.
- Kun pienjänniteverkossa on kattavasti maadoituksia, *SFS 6001* sallii yhteisissä maadoituksissa isommat maadoitusjännitteet.
- Suomen pienjänniteilmaverkossa on päänsääntöisesti käytetty AMKA-ilmajohtoa, jossa PEN-johdin käytetään kannatusköytenä ja on sen takia vaarana katkea.
- Maaperä Suomessa johtaa huonosti, joten jotta saadaan paremmat maadoitusarvot, pitää maadoittaa verkkoa kattavasti. (Tiainen ym. 2019, s.33–34.)

Maadoitusvaatimusta koskien sähköliittymiä on tarkennettu. Sähköliittymässä pitää tehdä maadoitus, jos PEN-johtimella varustetulla johdolla syötetään sähköliittymää. Päänsääntöisesti kaikki liittymät Suomessa on PEN-johtimella varustetulla johdolla syötetty. Myös sähköliittymien ulko verkoissa missä käytetään PEN-johtimella varustettuja johtoja pitää maadoittaa, jos kyseinen johtohaara on vähintään 200 metriä. Kyseiset tilanteet tulee yleensä vastaan yksityisteiden tievalaistuksissa ja talousrakenteiden syöttöissä. (Tiainen ym. 2019, s.34.)

Maadoituselektrodin on kestävä korroosiota ja olla sekä mekaanisesti tarpeeksi vahva että kestävä kohdistuvan sähkövirran vaikutukset. Normaalisti pienjänniteverkon maadoituselektrodissa kulkee vain pieni virta, ja sen takia maadoituselektrodia mitoitetaan

vain korroosion ja mekaanisen kestävyuden mukaan, katso taulukko 1. (Tiainen ym. 2019, s.35.)

Taulukko 1. Elektrodien minimimitat Suomessa. (SFS 6000-5-54:2017, Taulukko 54.1)

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

#### Kansallinen FI-huomautus koskien taulukko 1:

Tämä taulukko on yksinkertaistettu esikuvastandardista olevasta taulukosta ottamalla mukaan vain elektrodille vaadittu poikkipinta-ala, materiaalin paksuus ja mahdollisen korroosiosuojauskerroksen paksuus. Taulukossa ei ole mukana maadoituselektrodien erilaisia profiileja ja mukana on Suomen poikkeuksena mainittu mahdollisuus käyttää 16 mm<sup>2</sup> kuparielektrodia. Maadoituselektrodit on valittu vain sähköiskulta suojausta koskevien vaatimusten mukaisesti. Jos maadoituselektrodia käytetään myös salamasuojaukseen, elektrodin poikkipinnan pitää standardin SFS-EN 62305-3 mukaan olla suurempi. (SFS 6000-5-54:2017, s.8.)

## 5 Maadoitusmittaukset

Maadoitusmittaus on aina tehtävä, kun suurin sallittu arvo on määrätty maadoitusresistanssille. Sallitun arvon maadoitusresistanssille määräytyy yleensä maadoitusjännitteen, maasulkuvirran ja sen kestoajalle annettujen arvojen perusteella. Standardeissa ei ole annettu arvoa pienjänniteverkon liittymille, ja sen takia yleensä ei ole tarvetta mitata pienjänniteliittymien maadoituselektrodin resistanssia. Yleensä maadoitusresistanssimittauksia suoritetaan maadoituselektrodista

- muuntajien suurjännitepuolella
- sähköasemilla ja jakeluverkon muuntajilla

- korkeintaan 1 000 V:n jakeluverkoissa, kun järjestelmän verkko on altis yli 1 000 V:n jännitteille
- kun on käytössä yhteinen maadoitus suur- ja pienjänniteverkossa. (Tiainen ym. 2019, s.146.)

## 5.1 Maadoitusresistanssin arvot

Sallittu arvo maadoitusresistanssille määräytyy kosketusjännitteen mukaan. Kosketusjännitteiden sallittu maksimiarvo on standardin *SFS 6001* taulukon B.3 mukaisesti esitetty taulukossa 2. (Tiainen ym. 2019, s.146.)

Taulukko 2. Sallitun kosketusjännitteen  $U_{Tp}$  maksimiarvot vian kestoajalle  $t$ . (SFS 6001:2018, s.104.)

Vian kestoaika $t$	Sallittu kosketusjännite $U_{Tp}$
s	V
0,05	716
0,10	654
0,20	537
0,50	220
1,00	117
2,00	96
5,00	86
10,00	85

Seuraavassa on esimerkki muuntamon yhteisen maadoituksen sallitusta maadoitusresistanssin arvosta. Tiedetään että laukaisuaika on 1 s ja maasulkuvirta on 20 A, maadoitusjännite  $U_E$  saadaan kaavalla  $U_E \leq 2 \times U_{Tp}$ . (SFS 6001:2018, Taulukko 6, s.96.) Taulukosta 2 saadaan että  $U_{Tp}$  on 117 V laukaisuaajan perusteella, ja laskemalla  $2 \times 117$  V saadaan, että  $U_E = 234$  V. Kaavalla  $R = U / I$  saadaan maadoitusresistanssin suurimaksi sallituksi arvoksi  $11,7 \Omega = 234 \text{ V} / 20 \text{ A}$ .

## 5.2 Ajankohta maadoitusmittauksille

Maadoitusmittaus suoritetaan määräajoin suoritettavissa tarkastuksissa ja laitteistojen käyttöönottojen yhteydessä. Koska talviolosuhteissa maadoitusten toteuttaminen

loppuun ei ole järkevää, sallitaan maadoitusten keskeneräisyydestä huolimatta laitteiston käyttöönotto sillä ehdolla, että maadoitusresistanssimittaukset ja viimeistely suoritetaan joutuin roudan sulamisen jälkeen. Jakelumuuntajan käyttöönotolle on kuitenkin ehtona se, että pienjänniteverkon liittymien ja johtohaarojen maadoitukset ovat pääosin valmiita. (Tiainen ym. 2019, s.147.)

Määrävälein suoritettavat maadoitusresistanssien mittaukset kuuluvat laitteiston huoltoon ja kunnossapitoon. Aika maadoitusresistanssimittauksien välissä on useimmiten 6–12 vuotta, riippuen maadoitusjärjestelmän rakenteesta ja luotettavuudesta. (Tiainen ym. 2019, s.147.)

Yhteistä maadoituselektrodijärjestelmää (ns. laaja maadoitusjärjestelmä) ei tavallisesti tarvitse mitata. Sen sijaan liittyminen laajaan maadoitusjärjestelmään tai uusien jakelumuuntamoiden maadoitus on mitattava ja tulokset dokumentoitava. (Tiainen ym. 2019, s.147.)

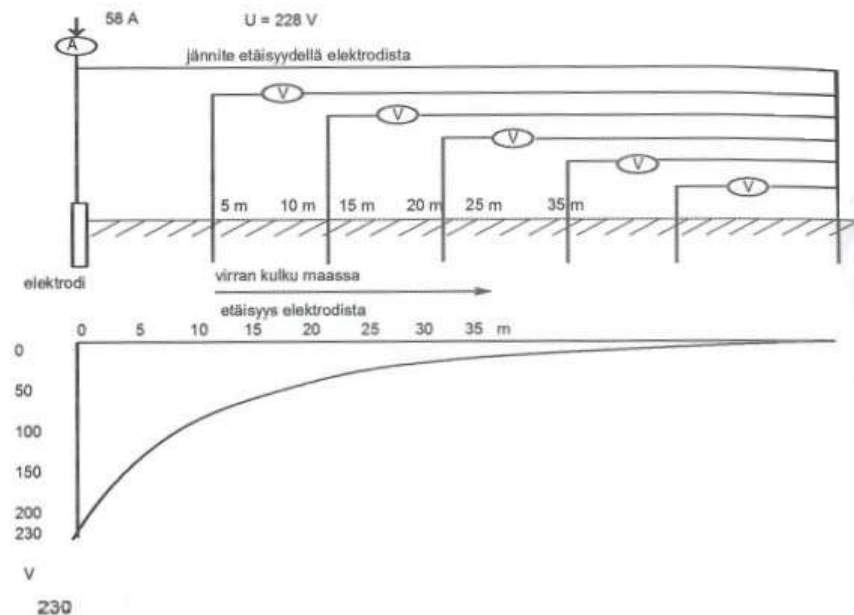
### 5.3 Mittausmenetelmät

Maadoitusresistanssin mittaamiseen on olemassa useampia eri tapoja, esimerkiksi syöttämällä virtaa maadoituselektrodiin, käännepistemenetelmällä ja Voltti-ampeerimittausmenetelmällä. Näiden lisäksi löytyy maasulkumittausmenetelmä ja virta-jännitemenetelmä. (Tiainen ym. 2019, s.147–151.)

#### 5.3.1 Virran syöttö maadoituselektrodiin

Yleensä mittaus tehdään syöttämällä virtaa maadoituselektrodissa. Tässä menetelmässä mitataan maadoituselektrodin yli vaikuttava jännite virran syötön jälkeen. Maadoitusresistanssi saadaan laskemalla resistanssin virrasta ja jännitteestä yhtälöllä  $R=U/I$ . Maadoituselektrodista virta jakautuu niin että virran tiheys on isoimmillaan heti maadoituselektrodin alussa. Maadoituselektrodista maahan menevä virta tuottaa jännite ero, mikä on isoimmillaan lähellä maadoituselektrodia. Esimerkki jännitteen jakautumisesta on kuvassa 4. (Tiainen ym. 2019, s.147–148.)





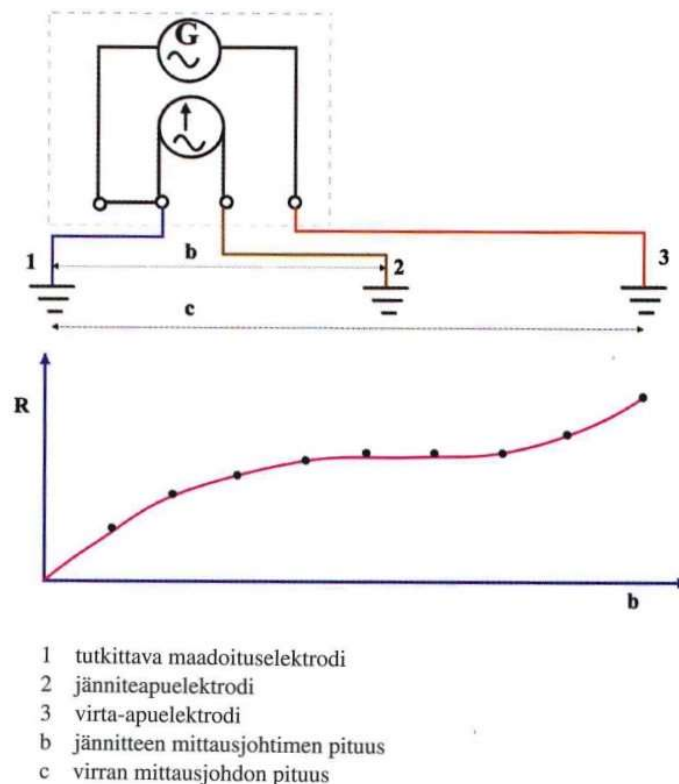
Kuva 4. Mallikuva jännitteen jakautumisesta maadoituselektrodista. (Tiainen ym. 2019, s.148.)

Maadoitusmittauksen resistanssi on maadoitusjohtimesta mitattu resistanssi. Mittaus sisältää maadoitusjohtimen resistanssin, resistanssi maan neutraalin pisteen ja maadoituselektrodin välillä. (Tiainen ym. 2019, s.147–148.)

### 5.3.2 Käänne pistemenetelmä

Maadoitusmittauksessa käänne pistemenetelmällä mitataan resistanssiarvot suoraan useasta eri kohdasta ja mitatuista tuloksista muodostetaan käyrä. Käyrän käänne pisteestä saadaan mitattavan maadoituselektrodin maadoitusresistanssi. (Tiainen ym. 2019, s.148.)

Mittausta suoritetaan siltamittauksena, toisin sanoen, mittauksista toteutetaan kompensatioperiaatteella toimivalla mittauslaitteella. Maadoitusmittauksessa syötetään maadoituselektrodiin vaihtojännitettä 100–500 V:n välillä, ja taajuuden vaihtelevuus on 70–140 Hz (suuruus vaihtelee mittalaitteitten mukaan). Kuva maadoitusmittauksen kytkennästä kuvassa 5. (Tiainen ym. 2019, s.148.)



Kuva 5. Käännepistemenetelmän mittaus havainnekuva. (Tiainen ym. 2019, s.149.)

Maadoitusmittauksen apuelektrodi on sijoitettava mitattavan maadoituksen vaikutusalueen ulkopuolelle. Apuelektrodien sijoittamisessa tavoitteena on, ettei muita maadoituselektrodeja, metalliputkia tai vastaavia asioita ole lähellä. Jos mitattavassa maadoituksessa on monta osaelektrodeja, on pyrittävä valitsemaan mittauskohta mahdollisimman keskeltä järjestelmää. (Tiainen ym. 2019, s.149.)

Mittaus tapahtuu, kun mittari syöttää mittausvirran mittauksen maadoituselektrodiin (kuva 5, elektrodi 1). Sieltä virta kulkee virta-apuelektrodiin (3) maan kautta, ja sieltä takaisin mittarille. Jänniteapuelektrodin (2) ja mittauksen elektrodin välille syntyy potentiaali ero. Jos mittauslaitteen siltakytkentä on tasapainossa, mittarista saadaan maadoitusmittauksen resistanssiarvo. (Tiainen ym. 2019, s.149.)

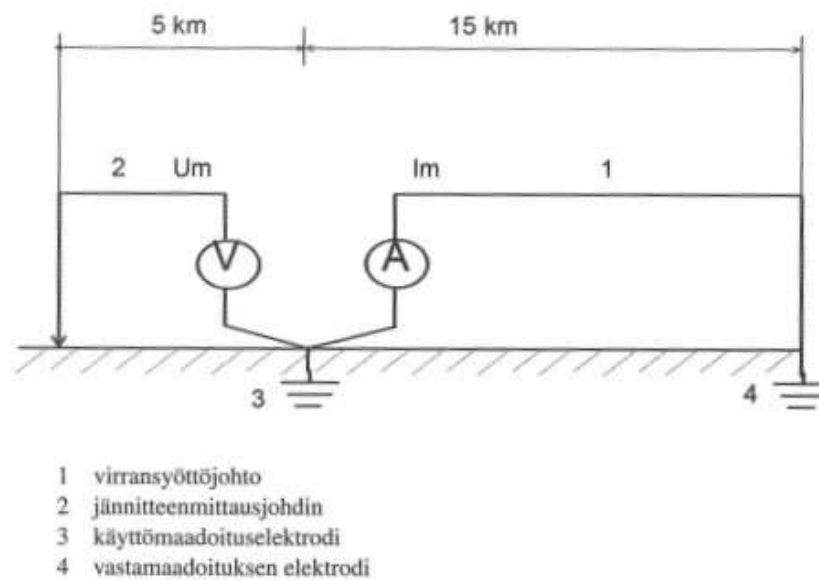
Käännepestemenetelmän mittauksessa siirretään jänniteapuelektrodi maadoitusmittauksen maadoituselektrodin ja mittauspisteen välissä, ja mittaamalla maadoitusmittauksen resistanssia joka kohdassa. Mittaustuloksista tulee käyrä maadoitusmittauksista funktiona jänniteapuelektrodin etäisyydestä. Virta-apuelektrodi (3) pysyy koko mittauksen aikana samassa kohdassa yleensä 200 metriä mitattavaan maadoituselektrodiin. (Tiainen ym. 2019, s.149.)

Maadoitusmittauksen käännekohta on yleensä noin 60 %:n päässä mittausetäisyydestä. Juuri käännepestekohdassa tulee tehdä maadoitusmittauspisteet tiiviimmin. Mittauksen tulos maadoitusresistanssi tulee käyrän suoralta osuudelta. Jos käyrästä ei löydy vaakasuoraa kohtaa, mutta kuitenkin näkyy selvä käännepestekohta, voidaan ottaa tulos käännepestekohdan aloituspäästä. Jos käyrä on hyvin epäsäännöllinen, se johtunee häiriötekijöistä, ja maadoitusmittausta joudutaan toistamaan toiseen suuntaan. Tässä tilanteessa joutuu käyttämään pidempiä mittausetäisyyksiä tai mittaamaan toisesta sijainnista maadoitusjärjestelmää. (Tiainen ym. 2019, s.150.)

### 5.3.3 Voltti-ampeerimenetelmä

Voltti-ampeerimenetelmässä mitataan maadoituselektrodin yli vaikuttavaa jännitettä ja elektrodin kautta menevää virtaa, mittausten periaatekuva esitetty kuvassa 6. Tällä tavalla yritetään luoda todellinen maasulkutilanne. Jännite mitataan maadoituksen ja apuelektrodin väliltä. Kun jänniteapuelektrodi on molempien muiden maadoituselektrodien alueen ulkopuolella eikä sille syötetä mitään virtaa, tulee mitattua suoraan maadoitusjännitettä. (Tiainen ym. 2019, s.150.)

Mittauksen apuelektrodit ovat kaukana toisistaan ja mitattavasta maadoituselektrodista. Kun mittauksessa käytetään virransyöttömuuntajaa, joka tuottaa isoja jännitteitä, mittaukseen on mittauksen aikana noudettava työlle asetetut erityisvaatimukset. Maadoitusmittauksen maadoitusresistanssia saa laskettua virrasta ja jännitteestä kaavalla  $R=U/I$ . (Tiainen ym. 2019, s.150.)



Kuva 6. Voltti-ampeerimittausmenetelmän periaatekuva (Maadoituskirja 2019, 151)

#### 5.4 Mittausmenetelmien vertailu

Parhaimmat tulokset tulee sillä menetelmällä, joka vastaa eniten oikeaa maasulkutilannetta, esimerkiksi voltti-ampeerimittausmenetelmällä. Kyseistä menetelmää käytetään yleensä, kun pitää saada mitattua maadoitusresistanssi arvon hyvin tarkasti, mutta koska mittausmenetelmä vaatii käyttökeskeytystä keskijänniteverkossa, erikoiskaluston pitkät mittausjohdot eivät ole käytännöllisin mittausmenetelmä. (Tiainen ym. 2019, s.151.)

Käytännöllisempi kuin voltti-ampeerimittausmenetelmä, on käännepistemenetelmä. Mittaukset helpommaksi tekee se, että mittauksia varten ei tarvitse tehdä mitään erikoiskytkentöjä tai käyttökeskeytyksiä. Mittauksen huonompi puoli on, etteivät kaikki virhetehtäjät pystytä poistamaan. Sen takia voi mitattu maadoitusresistanssi erota reilusti todellisesta maadoitusresistanssi arvosta. Hyvänä puolena poikkeama on yleensä parempaan suuntaan, toisin sanoen, maadoitusresistanssi arvosta tulee isompi kuin voltti-ampeerimittausmenetelmällä mitattuna. Käännepistemenetelmässä on ongelmia ahtaissa kohdissa, kun mittauksissa käytetään pitkiä mittausjohtimia. (Tiainen ym. 2019, s.151.)

## 5.5 Mittausmenetelmän valinta

Mittausmenetelmän valintaan ja mittauksen suorittamiseen vaikuttavat seuraavat asiat: mittauksen tarkoitus, maaperä, elektrodijärjestelmän laajuus ja muoto. Käyttöönottotarkastusten periaate on se, että mittaukset suoritetaan luotettavimmilla mittausmenetelmällä kyseisessä kohteessa. Mitä lähempänä maadoitusresistanssin hyväksytyä rajaa ollaan, sitä tarkempaa maadoitusmittauksen tulee olla. (Tiainen ym. 2019, s.152.)

Määräaikaistarkastusmittauksen mittausmenetelmä voi olla vähemmän vaativampi, jos käyttöönottotarkastuksen mittaus on suoritettu tarkemmalla menetelmällä ja samassa yhteydessä mitattu vertailuarvo vähemmän vaativalla menetelmällä. Vähemmäksi ja vaativammaksi menetelmäksi käy esim. käännepistemenetelmä, kun käyttää 60 %:n sääntöä. Jos määräaikaistarkastusmittauksessa käytetään vähemmän vaativaa mittausmenetelmää, tulee se suorittaa samalla mittausmenetelmällä kuin ensimmäisessä mittauksessa suoritettu vertailuarvo. Vähemmän vaativa mittausmenetelmä määräaikaistarkastusmittauksessa ei saa käyttää, jos mittauspisteen olosuhteet eivät ole pysyneet tarpeeksi samanlaisena kuin edellisen mittauksen aikana olleet olosuhteet. (Tiainen ym. 2019, s.152.)

Maadoitusresistanssin mittaus jakelumuuntajissa käytetään tavallisesti käännepistemenetelmä 60 % säännöllä. Taajama- ja kaupunkialueiden jakelumuuntamoiden maadoitusresistanssin mittaaminen voi monesti olla vaikeaa ja jossain tapauksissa jopa mahdotonta. Jos maadoitus kytketään käytössä olevaan maadoitusjärjestelmään, jonka maadoitusresistanssi on tiedossa, niin ei ole tarvetta mitata maadoitusresistanssia. Kyseisessä tapauksessa riittää, että liitetään maadoitus luotettavasti tunnettuun maadoitusjärjestelmään. (Tiainen ym. 2019, s.152.)

Maadoitusimpedanssimittaus kantaverkoissa vaatii asiantuntemusta ja erikoiskalustoa. Useimmiten kantaverkon maadoitusmittauksissa käytetään voltti-ampeerimenetelmää. Näissä mittauksissa virransyöttöjohdot ovat monta kymmentä kilometriä pitkiä ja mittausvirta on iso, minkä takia edes vertailumielessä ei mitata kantaverkossa käännepistemenetelmällä. (Tiainen ym. 2019, s.152.)

## 6 Suojaus jännite- ja sähkömagneettisilta häiriöiltä

Standardi *SFS 6000-4-44:2017* tulkitsee suojasta jännite- ja sähkömagneettisilta häiriöiltä sähköasennuksissa ja miten suojasta toteutetaan. Suojausvaatimukset on ryhmitelty neljään omaan ryhmään seuraavasti:

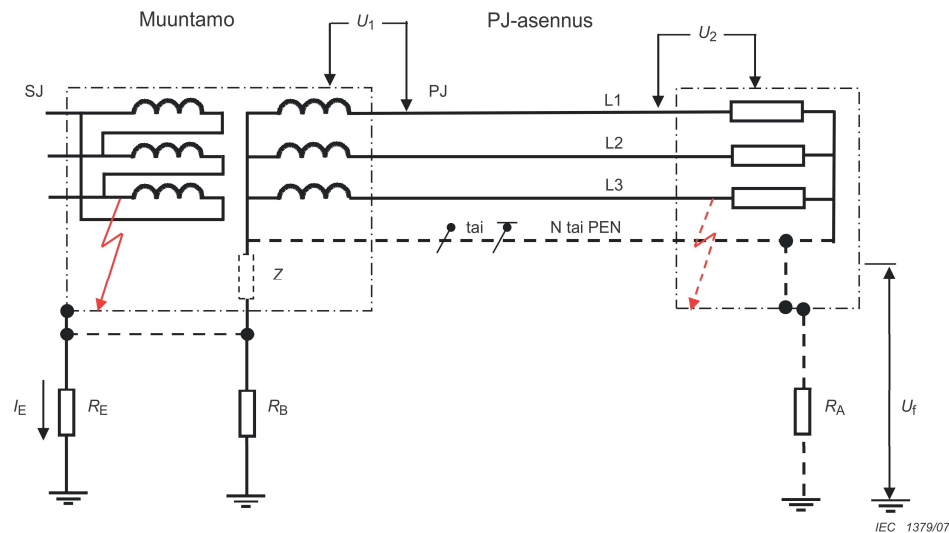
- suojaus alijännitteeltä
- suojaus sähkömagneettisilta häiriöiltä
- suojaus ilmastollisilta ja kytkentäylijännitteiltä
- pienjänniteasennusten suojaaminen suurjännitejärjestelmien maasulkujen aiheuttamilta tilapäisiltä ylijännitteiltä ja pienjännitejärjestelmän vikojen vaikutuksilta. (SFS 6000-4-44:2017, s.5.)

### 6.1 Pienjänniteasennusten suojaus suurjännitejärjestelmien maasuluista

Standardi *SFS 6000-4-44:2017 luku 442* käsittelee vaatimuksia pienjänniteasennuksia koskien kotieläinten, ihmisten ja laitteiden turvallisuutta tapauksissa, kun pienjänniteasennusta syöttävässä muuntamossa tapahtuu maan ja suurjännitejärjestelmän välissä vika, äärijohtin pienjännite IT-järjestelmässä maadoittaa vahingossa, oikosulku nollajohtimen ja äärijohtimen välissä tai nollajohtimen katkeaminen pienjännitejärjestelmässä. (SFS 6000-4-44:2017, 5–6.)

Suurjännitepuolella tapahtuvan maasulun takia voi seuraavanlaiset ylijännitteet vaikuttaa pienjänniteasennuksiin, kaaviomainen esitys vian aikana esiintyvistä ylijännitteistä on kuvassa 7.

- käyttötaajuinen vikajännite ( $U_f$ )
- käyttötaajuinen rasitusjännite ( $U_1$  ja  $U_2$ )



Kuva 7. Esitys ylijännitteestä suurjännitejärjestelmän vian aikana. (SFS 6000-4-44:2017, s.8.)

Nykyisin jos pienjännite- ja suurjännitemaadoitukset ovat lähellä toisiaan, käytetään kahta eri tapaa maadoituksissa, joko yhdistämällä kaikki suurjännite- ( $R_E$ ) ja pienjännitemaadoitukset ( $R_B$ ), nimeltään yhdistetty maadoitus. Tai erotetaan suurjännite- ( $R_E$ ) ja pienjännitemaadoitukset ( $R_B$ ), nimeltään erillinen maadoitus. Yleisin tapa on kuitenkin yhdistää maadoitukset yhdistetyksi maadoitukseksi. Jos pienjänniteasennukset ovat täysin suurjännitemaadoituksen kattaman alueen sisällä, pitää käyttää maadoitusjärjestelmäksi yhdistettyä maadoitusta. (SFS 6000-4-44:2017, s.8–9.)

## 6.2 Suojaus ilmastollisilta ja kytkentäylijännitteiltä

Asennuksien suojaamista ilmastollisista syistä tulevia transienttiylijännitteiltä, suoraan sähköverkkoon tapahtuvat salamaniskut ja yliaallot mitkä syntyvät sähkölaitteiden kytkennöissä, mutta ei käsittele suojauksen vaatimuksista transienttiylijännitteistä rakenteisiin tai lähistölle osuvista salamaniskuista. Nämä ovat käsitelty standardissa *SFS-EN 62305-2*. Useimmiten ilmastolliset ylijännitteet ovat suurempia kuin ylijännitteet kytkennöissä. Näiden takia vaatimukset suojauksesta ilmastollisilta ylijännitteiltä kattaa myös kytkentäylijännitteen suojausta. Voi olla myös tarpeen käyttää suojausta

kytkentäylijännitteeltä, jos asennuksessa ei ole ylijännitesuojaa ilmastolliselle ylijännitteelle. (SFS 6000-4-44:2017, s.11.)

Ominaisuudet transienttiylijännitteelle ilmastollisesta syystä riippuu:

- sähköverkon jakelun tyypistä, onko kyseessä ilmajohto- vai maakaapeliverkko
- liittymiskohdan syötön puolella olevasta mahdollisesta ylijännitesuojasta
- jännitetasosta syöttöjärjestelmässä. (SFS 6000-4-44:2017, s.11.)

Asentamalla ylijännitesuojia suojaudutaan transienttiylijännitteiltä, ja valinta ylijännitesuojista tapahtuu standardin *SFS 6000-5-53* luvun 534 ohjeiden mukaisesti. Jos on tarvetta asentaa ylijännitesuoja sähkön syöttöön, on suositeltavaa asentaa lisäylijännitesuojia myös muihin syöttöjärjestelmiin samassa sähkönsyötössä. (SFS 6000-4-44:2017, s.11.)

Ylijännitesuojausta maakaapeloidussa kaupunkiympäristössä ei tarvitse toteuttaa Suomen olosuhteissa. Suomessa on suhteellisen vähän ukkospäiviä verrattuna moneen muuhun maahan Euroopassa. Ylijännitesuojausta pitää suorittaa maaseutu- ja taajamaympäristössä (jos riskin arvioinnilla ei todisteta muuta), jos ylijännitteen seuraukset voivat vahingoittaa

- julkisia kulttuuriperintöjä ja palveluja esim. arvorakennukset, datakeskukset museot jne.
- teollista tai kaupallista toimintaa esim. pankit, liikerakennukset, maatilat, hotellit jne.
- ihmishenkiä esim. estämällä terveydenhuoltolaitoksen toimintaa tai riskeeraamalla turvajärjestelmiä
- isoja ihmismassoja isoissa rakennuksissa esim. kouluissa, toimistoissa, kokoon-tumistiloissa jne. (SFS 6000-4-44:2017, s.12–13.)

Sellaisissa kohteissa kuin vapaa-ajan asunnot, omakotitalot yms. pitää asentaa ylijännitesuojaus, jos ne ovat liitettyinä ilmajohtoverkkoon. Toisena vaihtoehtona on arvioida kohteen ylijännitesuojaustarvetta riskiarvioinnin avulla. Riskiarviointimenetelmä löytyy



standardissa *SFS 6000-4-44:2017* luvussa 443.5 *Riskin arviointimenetelmät*. (SFS 6000-4-44:2017, s.13.)

Kun laitteet aiheuttavat mahdollista häiriöitä tai kytkentäylijännitettä, jotka ovat isommat kuin asennuksen ylijänniteluokan tasoa, suositellaan harkitsemaan ylijännitesuojauksen toteuttamista. Vastaavanlaisia tapauksia ovat esim. kapasitiivisia tai induktiivisia kuormituksia (muuntajat, kondensaattorit, moottorit yms.), isoja kuormituksia, varastointiyksiköitä tai asennusta syöttävä pienjännitegeneraattori. (SFS 6000-4-44:2017, s.13.)

Jos suurjänniteasennuksesta syötetään pienjännitejärjestelmään erillisellä muuntajalla, pitää salamoista suojautuvilta ylijännitesuojat asentaa muuntajan suurjännitepuolelle. (SFS 6000-4-44:2017, s.13.)

### 6.3 Suojaus sähkömagneettisilta häiriöiltä

Sähkömagneettiset häiriöt voivat vahingoittaa tai häiritä ohjaus- ja valvontajärjestelmiä, prosessiautomaatiojärjestelmiä, yhteisantenniverkko- tai tietotekniikan järjestelmiä. Virrat kytkentätoimenpiteistä, salamoista, oikosuluista ja muista sähkömagneettisista ilmiöistä voivat tuottaa ylijännitettä ja sähkömagneettisia häiriöitä. Seuraavassa on lista eri maadoitusmenetelmistä sähkömagneettisten häiriöiden pienentämiseksi:

- potentiaalintasausverkko
- potentiaalintasausrenkasjohdin
- yhteinen potentiaalintasausverkko
- potentiaalintasaus
- maadoituselektrodiverkko
- silmukoitu potentiaalintasausverkko
- rinnakkainen maadoitusjohdin. (SFS 6000-4-44:2017, s.16-18.)

Sähkömagneettiselle häiriölle erityisen herkkiä laitteita ei kannata asentaa sähkömagneettisten häiriöiden lähteiden läheisyyteen. Sähkömagneettisten häiriöiden lähteitä ovat useimmiten:

- hissit
- keskukset
- tietokoneet
- hakkurilaitteet
- taajuusmuuntajat
- tasausmuuntajat
- induktiivisten kuormien kytkinlaitteet
- hitsauskoneet
- muuntajat
- sähkömoottorit
- loistelamppuvalaisimet
- jakelukiskot. (SFS 6000-4-44:2017, s.18.)

Sähkömagneettista häiriötä voidaan pienentää asentamalla herkille laitteille suodattimia ja/tai ylijännitesuojia. Johtojen tyyppien valinnassakin voidaan vaikuttaa sähkömagneettiseen häiriöön esimerkiksi käyttämällä kaapeleita varustettuna konsentrisella johtimella suojojohdinten indusoituneiden virtojen pienentämiseksi ja yhdistämällä johtojen metallivaipat yhteiseen potentiaalintasausverkkoon. Moottoreiden ja taajuusmuuttajien välissä tulee käyttää valmistajan ohjeiden mukaisia johtoja ja suodattimia häiriön pienentämiseksi. (SFS 6000-4-44:2017, s.18–19.)

Asentamalla johdot oikein asennusvaiheessa pystyy vaikuttamaan sähkömagneettiseen häiriöön, käyttämällä samoja reittejä tietoliikenne- ja voimakaapeleille vältetään induktiivisia silmukoita mutta kuitenkin pidettävä ne erillään toisistaan asennusreitillä riittävällä ilmavälillä tai erotuslevyllä ja kaapeleiden risteämät suoritetaan niin suorassa kulmassa kuin mahdollista. (SFS 6000-4-44:2017, s.18–19.)

Asennettavien tietoliikennekaapeleiden pitää olla EMC-vaatimuksen mukaiset ja asennuksen tapahtua valmistajan ohjeiden mukaan. Vaipallisissa tietoliikennekaapeleissa on huolehdittava keskiosan tai maadoitetun vaipan läpi virtaavien vikavirtojen rajoittamisesta esimerkiksi lisäjohtimella rinnakkain kaapelin vaipan vahvistamiseksi. Jos vaipalliset tietoliikennekaapeli ovat yhteisiä monelle TT-järjestelmästä syötetylle kohteelle, on

suositus käyttää rinnakkaisjohdinta potentiaalintasaukseen. (SFS 6000-4-44:2017, s.18–19.)

#### 6.4 Suojaus alijännitteeltä

Alijännitteen suojauksessa pitää tulkita tilanteita. Jännitekatkosta tai jännitealeneman uudelleen kytketymisestä aiheutuvat mahdolliset vaarat mm. kotieläimille, ihmisille tai omaisuudelle pitää huomioida. Vaaratapauksissa pitää tehdä sopivia varotoimia. Silloinkin pitää ryhtyä toimenpiteisiin, jos kulutuskojeista tai asennuksen osasta voi vahingoittua jännitteenaleneman seurauksena. Jos vaaraa kotieläimelle tai ihmiselle ei aiheudu tai pidetään hyväksyttynä vaurioita asennukselle tai kulutuskojeelle, ei ole tarvetta asentaa alijännitesuojasta. (SFS 6000-4-44:2017, s.47.)

Alijännitesuojaus voidaan suorittaa hidastuksella, jos asennus kestää hetkellisen jännitteenaleneman. Jos laitteen uudelleen kytketymisestä voi aiheutua vaaraa, se on pakko kytkeä uudelleen manuaalisesti. (SFS 6000-4-44:2017, s.47.)

## 7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä perehdyttiin pienjänniteverkonmaadoitukseen, potentiaalitasauksiin ja yleisimpiin pienjänniteverkon rakennustapoihin Suomessa.

Maadoitusmittauksissa käytiin läpi yleisimmät maadoitusmittausmenetelmät, joita käytetään Suomessa. Lisäksi tarkasteltiin sopivan maadoitusmittausmenetelmän valinta ja perusteluja.

Suojausta jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä insinööriyö kävi läpi aihealueet, suojaus alijännitteeltä, suojaus sähkömagneettisilta häiriöiltä ja suojaus ilmastollisilta ja kytkentäylijännitteiltä. Sen lisäksi pienjänniteasennusten suojaaminen suurjännitejärjestelmien maasulkujen aiheuttamilta tilapäisiltä ylijännitteiltä ja pienjännitejärjestelmän vikojen vaikutuksilta.

Insinööriyön lopputuloksen ja opiskelemani tietojen perusteella pienjännitemaadoitukseen ja erilaisiin suojauksiin voi vaikuttaa monella tavalla suunnittelun alkamisen ja järjestelmän käyttöönottamisen välissä.

## Lähteet

SFS 6000-1:2017 Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Peruseriaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät, painos 4. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto.

SFS 6000-4-44:2017 Pienjänniteasennukset. Osa 4-44: Suojausmenetelmät. Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä, painos 4. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto.

SFS 6000-5-54:2017 Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-54: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen; Maadoittaminen ja suojajohtimet, painos 4. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto.

SFS 6001:2018. Suurjännite asennukset, painos 5. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto.

Tiainen, Esa; Ylinen, Timo; Koivisto, Pekka; Kauppila, Jenna. 2019. Maadoituskirja, painos 7. Espoo: Sähköinfo Oy.

Ylinen, Timo. 2016. Maadoitusopas, painos 3. Espoo: Sähköinfo Oy.