

Teemu Kauhanen

Rakennusten salama- ja ylijännitesuojaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

4.10.2016

Tekijä Otsikko	Teemu Kauhanen Rakennusten salama- ja ylijännitesuojaus
Sivumäärä Aika	27 sivua + 5 liitettä 4.10.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	Lehtori Sampsa Kupari
<p>Rakennusten salama- ja ylijännitesuojaus tulee yleistymään Suomessa, sillä rakennuksen rakenteita halutaan suojata salamaniskun aiheuttamilta vahingoilta. Rakennukset sisältävät jatkuvasti enemmän herkästi häiriintyvää elektroniikkaa, jotka halutaan säilyttää toimintakuntoisena. Joidenkin laitteistojen häiriintyminen salamaniskusta voi johtaa suuriin taloudellisiin menetyksiin tai jopa hengenvaaraan. Opinnäytetyön tarkoituksena on toimia sähkösuunnittelijalle riittävänä aineistona rakennusten salamasuojauksen kokonaisvaltaiseen suunnitteluun.</p> <p>Työssä käsitellään salamasuojauksista eri osa-alueiden näkökulmasta. Ensiksi käsitellään salamasuojauksen tarvetta riskianalyysin avulla. Tämän jälkeen käsitellään salamasuojauksen rakenteellisia osuuksia, joka on jaettu kahteen osa-alueeseen; ulkoiseen ja sisäiseen suojaukseen. Lopuksi käsitellään ylijännitesuojauksen komponentteja ja asennusta.</p> <p>Ylijännitesuojauksen voi toteuttaa vaikei kokonaisvaltaista salamasuojausjärjestelmää toteuttaisikaan ja suuria säästöjä voidaan saada laitteiden ja laitteistojen suojaamisella.</p> <p>Työn tuloksena on suunnitteluaineisto salamasuojausjärjestelmän toteutukseen ja käytännön esimerkkejä suunnittelun avuksi.</p>	
Avainsanat	salamasuojaus, ylijännitesuojaus

Author Title	Teemu Kauhanen Lightning and Surge Protection of Structures
Number of Pages Date	27 pages + 5 appendices 4 October 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor	Sampsa Kupari, Senior Lecturer
<p>The need of lightning and surge protection of structures will become more common in Finland, because buildings and devices are to be protected from the damage caused by lightning strike. There are lots of easily damaged electronic devices in buildings that are to be kept functional. Dysfunctional devices can cause financial losses or even a life threat. The aim of this study is to provide planning material for electrical planners for designing a lightning protection system.</p> <p>This thesis explains lightning protection from its different aspects. First the need of lightning protection is determined by performing a risk analysis. After that comes the structural details of lightning protection, that is divided into two categories; outer and inner protection. At the end, different surge protection components and how to install them are explained.</p> <p>Surge protection can be installed individually without implementing the whole lightning protection system and it can have great financial benefits by protecting electrical devices.</p> <p>Results of this study are planning material for building a lightning protection system and some practical examples providing help in planning.</p>	
Keywords	lightning protection, surge protection

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Salamasuojusmääräykset Suomessa	2
3	Riskianalyysi	4
3.1	Suojaustarpeen määrittäminen	4
3.2	Suojaustasot	5
4	Ulkoinen salamasuojaus	6
4.1	Sieppausrakenteen suunnittelu	6
4.2	Salamanvangitsijat	11
4.2.1	Sieppaustangot	11
4.2.2	Kattojohtimet	12
4.2.3	Salamaköydet	13
4.2.4	Antennimastot	14
4.3	Alastulojohtimet	14
4.3.1	Alastulojohtimien asentaminen	14
4.3.2	Rakennuksen rakenteet alastulojohtimina	16
4.4	Maadoitus	16
4.4.1	Maadoituselektrodityypit	17
4.4.2	Potentiaalintasaus	18
4.5	Eristetty ulkoinen salamasuojaus	18
4.5.1	Räjähdyksivaaralliset tilat	19
5	Sisäinen salamasuojaus	21
5.1	Potentiaalintasaus	22
5.2	Erotusvälit	22
5.3	Ylijännitesuojalaitteet	23
5.4	Kolmiportainen ylijännitesuojaus	24
6	Yhteenveto	25
	Lähteet	27

Liitteet

Liite 1. Johtimien materiaalit, poikkipinnat ja yhteensopivuudet

Liite 2. Sieppaustankojen ja kattojohtimien periaatekuva

Liite 3. Sisäisen ja ulkoisen järjestelmän suojaetäisyydet

Liite 4. Maadoituselektrodin periaatekuva

Liite 5. Salamasuojatun kerrostalon maadoituskaavio

Lyhenteet

CEN	Comité Européen de Normalisation. Euroopan Standardisoimisjärjestö.
ESP	Electrical and electronic system protection. Sähkö- ja elektroniikkajärjestelmien suojaus.
KTMP	Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös
LEMP	Lightning electromagnetic pulse. Salaman aiheuttama sähkömagneettinen pulssi.
LPL	Lightning protection level. Salamasuojaustaso.
LPS	Lightning protection system. Salamasuojausjärjestelmä.
LPZ	Lightning protection zone. Salamasuojausalue.
SEMP	Switching electromagnetic pulse. Kyt kentähetken sähkömagneettinen pulssi.
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
SPD	Surge protection device. Ylijännitesuojalaite.
SPM	Electrical and electronic system protection measures. Sähkö- ja elektroniikkajärjestelmien suojaustoimenpiteet.

1 Johdanto

Salama- ja ylijännitesuojauksen tarve yleistyy jatkuvasti, sillä rakennuksia halutaan suojata entistä tehokkaammin sekä elektroniikkaa sisältävien komponenttien määrä rakennuksissa on lisääntynyt huomattavasti. Korkeita rakennuksia rakennetaan yhä enemmissä määrin ja niissä on paljon suurempi salamaniskun riski kuin matalammissa rakennuksissa. Myös korkeisiin paikkoihin, joissa on suuri salamaniskun riski, on rakennettu ja rakennetaan paljon, jolloin tarvitaan suojausta salamaniskuilta. Tällöin rakennuksia tulisi suojata salamasuojajärjestelmän avulla.

Elektroniikkalaitteet ovat erittäin herkkiä ylijännitteille ja niiden rikkoutumista saadaan vähennettyä eliminoimalla salaman aiheuttamat haittavaikutukset. Salama- ja ylijännitesuojaus on siis hyvinkin ajankohtainen asia, joka yleistyy kovalla tahdilla ja jota kehitetään koko ajan paremmaksi.

Salamasuojauksen tarve sekä kannattavuus määritellään riskianalyysin avulla, josta käy ilmi myös käytettävä suojaustaso. Salamasuojaus jaetaan ulkoiseen ja sisäiseen suojaukseen, joita käsitellään opinnäytetyösssä tarkemmin. Työssä käsitellään vähän myös ilmalinjojen sekä räjähdysvaarallisten tilojen salamasuojauksia.

Salamasuojauksella pyritään siihen, että salama ei osu rakennukseen, vaan salaman vastaanottaviin sieppareihin, joista se johdetaan maihin. Vaihtoehtoisesti voidaan rakennus tehdä salamaniskun kestäväksi. Salamasuojauksella minimoidaan myös rakennuksen tai ilmalinjojen läheisyyteen iskevien salamoiden sähkömagneettiset vaikutukset merkityksettömän pieniksi.

Opinnäytetyö toteutetaan Sähkösuunnittelu Elbox Oy:lle. Opinnäytetyön tavoitteena on tutustua rakennuksen salama- ja ylijännitesuojaukseen ja laatia kattava suunnitteluaineisto sähkösuunnittelijoille erilaisten rakennuskohteiden suunnitteluun ja toteutukseen.

2 Salamasuojausmääräykset Suomessa

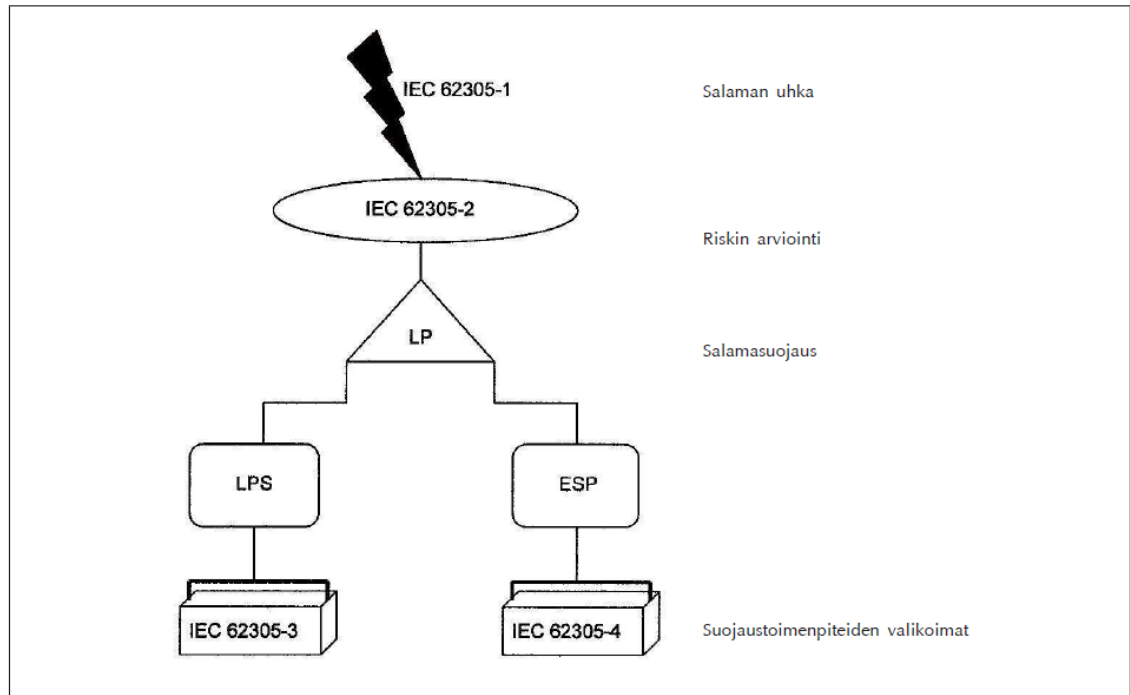
Suomen lainsäädännössä on rakennusten salama- ja ylijännitesuojausta koskevia vaatimuksia vain räjähdysvaarallisiin tiloihin sekä joihinkin ilmajohtoasennuksiin. Sähköturvallisuuslaissa (410/96) on maininta siitä, ettei sähkölaitteisto saa aiheuttaa hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa. Myöskään laitteisto ei saa aiheuttaa kohtuutonta sähköistä tai sähkömagneettista häiriötä eikä häiriintyä helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti. Vuodesta 2012 lähtien ilmajohtoihin liittyvissä asennuksissa sekä tietyissä räjähdetiloissa on vaadittu salamasuojausta ja sen osana ylijännitesuojausta.

Salama- ja ylijännitesuojauksesta on julkaistu kansainvälinen standardisarja IEC 62305, joka on hyväksytty lähes sellaisenaan euroopalaiseksi EN 62305 -standardisarjaksi standardisoimisjärjestö CEN:n toimesta (kuva 1). Suomessa EN 62305 on otettu käyttöön englanninkielisenä standardisarjana SFS-EN 62305.

Myös SFS 6000 -standardeihin on sovellettu hiukan salama- ja ylijännitesuojausta koskevia määräyksiä, kuten kohdassa 131.6.2:

"Ihmiset, kotieläimet ja omaisuus on suojattava muista syistä johtuvien ylijännitteiden, kuten ilmastollisten tai kytkentäylijännitteiden aiheuttamilta vahingoilta." [6, s.31.]

Suomessa on vuonna 2009 julkaistu suomenkielinen SFS609 -standardikäsikirja, joka käsittelee eurooppalaiseen EN 62305 -standardisarjan pääpiirteittäin. [1; 6, s.31.]



Kuva 1. Standardisarjan IEC EN 62305 sisältö lohkokkaaviona. [3, s.3.]

Räjähdyksvaaralliset tilat

Räjähdyksvaarallisissa tiloissa on huomattavasti tiukemmat vaatimukset salama- ja ylijännitesuojauksen suhteen kuin muissa rakennuksissa. Räjähdyksriskin omaaviin rakennuksiin on toteutettava salamasuojaus, sillä salamaniskun aiheuttavat vahingot voivat aiheuttaa suuren vahingon ympäristönsä.

KTMP 130/80:n mukaan salamasuojaus vaaditaan tehdasalueella oleviin rakennuksiin, joissa käsitellään tai varastoidaan yli 50 kg vaarallisuusluokkiin 1.1, 1.2 tai 1.3 kuuluvia räjähdysaineita. Valtioneuvoston asetus 1101/2015 vaatii maanpäällisiin pysyviin varastosuojoihin toteutettavaksi maadoituksen sekä salamasuojauksen, mikäli ne sisältävät yli 500 kg vaarallisuusluokkiin 1.1, 1.2 tai 1.3 kuuluvia räjähdysaineita. Metallisia konttisuoja-asetuksen vaatimukset ei koske. [1, s.22; 5, 46 §.]

3 Riskianalyysi

3.1 Suojaustarpeen määrittäminen

Rakennuksen omistaja, rakennuttaja tai käyttäjä vastaa riskiarvioinnista ja suojauksen tasosta. Suunnittelijoiden täytyy laatia valitun tason mukaisesti suojausrakenteet sekä käytettävät komponentit. Eri suojaustasoista kerrotaan tarkemmin luvussa 3.2.

Ilmajohtoasennuksien ja räjähdysvarallisten tilojen lisäksi tulisi riskianalyysi tehdä aina, mutta etenkin kansantaloudellisesti arvokkaisiin, kulttuurihistoriallisesti tärkeisiin tai muihin tärkeitä toimintoja sisältäviin kohteisiin, jotka ovat ukkoselle alttiita. Myös sellaiset kohteet, joissa sähkökatkos tai ylijännitteet voivat aiheuttaa hengenvaaraa, tulisi analysoida riskien kannalta. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi sairaalat, kirkot ja muut korkeat julkiset rakennukset.

Riskianalyysin avulla tehdään päätös siitä, toteutetaanko salamasuojaus. Riskianalyysin laatimiseen käytetään laskentaohjelmistoa, jolla määritetään suojauksen tarve. Laskentaohjelmisto ei sisälly opinnäytetyöhön.

Suojauksen tarve riippuu siitä, onko suojaamattoman laitteiston korjaus- ja keskeytyskustannukset tai muut menetykset suurempia kuin suojausjärjestelmän kustannukset. Mahdolliset henkilö- ja eläinvahingot on otettava huomioon.

Riskianalyysissä kartoitetaan vaarat sekä arvioidaan vahinkoriskit. Huomioitavia asioita ovat mm. rakennuksen sijainti, korkeus ja käyttötarkoitus, alueen salamaniskutiheys sekä mahdollisten menetyksien suuruudet.

Menetyksien arviointi jaetaan neljään eri tyyppiin:

- Hengen menetys
- Kulttuuriperinnölliset kohteet
- Julkisten palveluiden menetys
- Taloudelliset menetykset

Riskianalyysillä saadaan selville myös käytettävä suojaustaso. [1.]

3.2 Suojaustasot

Salamasuojauksen toteutuksesta tehdään varsinainen päätös riskianalyysin jälkeen. Mikäli toteutetaan, päätetään lisäksi siitä, onko ulkoiselle salamasuojausjärjestelmälle tarvetta sisäisen suojausjärjestelmän lisäksi. Sisäinen salamasuojaus on välttämätön myös, jos ulkoinen salamasuojausjärjestelmä rakennetaan. [3, s.4.]

Salamasuojausjärjestelmälle on IEC -standardissa määritelty neljä eri suojaustasoa (LPL) vaatimustason mukaan. Suojaustasossa I on vaativimmat salamankestovaatimukset, kun taas suojaustasossa IV vähäisimmät vaatimukset. Salamasuojauksien mitoitusarvojen eroavaisuuksista on lisätietoa alla olevassa taulukossa (taulukko 1). Räjähdsvaarallisiin tiloihin ei voida käyttää tason III tai IV suojausta.

Taulukko 1. Salamasuojauksen suojaustasojen mitoitusarvot [2, s.57.]

Suojaustaso LPL	Salaman huippuvirta (kA)	Sieppaustoden- näköisyys (%)	Verkkomenetelmän silmäkoko (m)	Pallomenetelmän säde R (m)	Alastulojohtimien väli (m)
I	3–200	98	5 x 5	20	10
II	5–150	95	10 x 10	30	10
III	10–100	88	15 x 15	45	15
IV	16–100	81	20 x 20	60	20

Standardien IEC 62305-1, DIN VDE 0185-305, VdS 2010 suosittelemat salamasuojaustasot LPL:

- I** Ydinvoimalat, puolustussovellukset ja ATK-keskukset
- II** Teollisuuden EX-tilat, tietoliikennemastot ja yli 100 m korkeat kerrostalot
- III** Sairaalat, kirkot, museot, julkiset rakennukset, koulut, konttorit, liikekeskukset, pumppuasemat, yli 10 kW valosähköjärjestelmät, hotellit ja yli 22 m korkeat kerrostalot
- IV** Muut riskiarvioinnin perusteella suojattavat kohteet [2, s.56.]

4 Ulkoinen salamasuojaus

Ulkoisella salamasuojauksella tarkoitetaan kaikkia rakennuksen ulkopuolisia asennuksia, joilla suojataan rakennusta salamoilta. Ulkoinen salamasuojausjärjestelmä koostuu salamasiappareista, alastulojohtimista ja maadoituselektrodista.

Ulkoinen salamasuojausjärjestelmä voi olla rakennukseen kiinnitetty järjestelmä, ja siinä voidaan käyttää rakennuksen omia rakenteita hyväksi tai se voi olla täysin rakennuksesta erillään oleva järjestelmä. Rakennuksesta erillään olevaa järjestelmää kutsutaan eristetyksi ulkoiseksi salamasuojaukseksi.

Pysyviä johtavia rakenteita, kuten metallisia katto- ja julkisivurakenteita, voidaan ja jopa suositellaan käytettäväksi sieppausrakenteena ja alastulojohtimina, mikäli standardin EN 62305 vaatimukset materiaalivahvuuksista täyttyvät (taulukko 2), eivätkä ne sisällä rakennuksen sisään ulottuvia osia. Eri materiaalien yhdistämisessä tulee huomioida niiden yhteenliitettävyyden (liite 1).

Taulukko 2. Standardin EN 62305 vaatimat materiaalivahvuudet [2, s.57]

Suojaustaso	Materiaali	Paksuus a (mm)	Paksuus b (mm)
LPL	lyijy	-	2
I-IV	teräs (ruostumaton tai sinkitty)	4	0,5
	titaani	4	0,5
	kupari	5	0,5
	alumiini	7	0,65
	sinkki	-	0,7

Paksuus a on riittävä estämään salamavirran läpilyönnistä aiheutuvan palovaaran syntymisen. Paksuus b on riittävä vain silloin, kun ei ole tärkeää estää mahdollisen palon syttymistä. [2, s.57;7, s.12.]

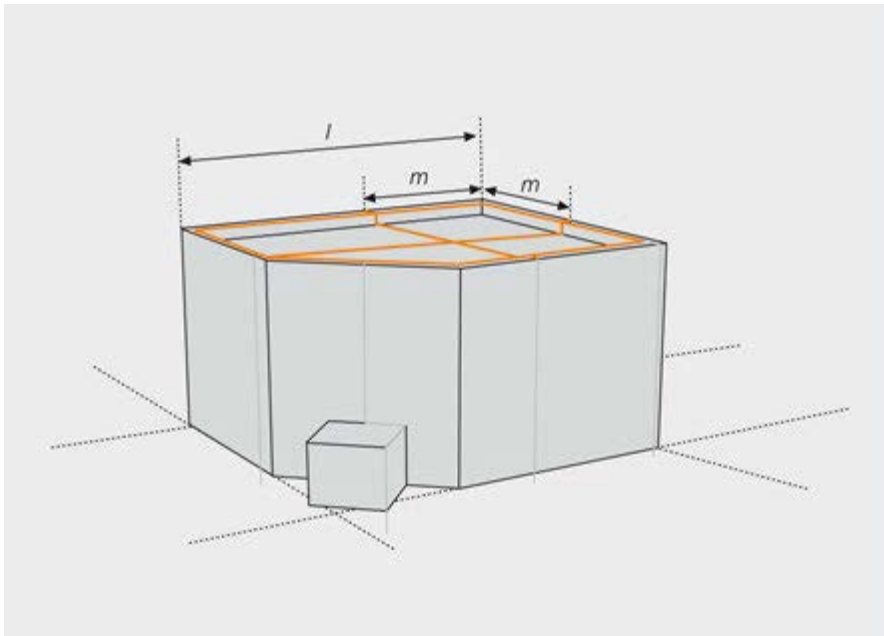
4.1 Sieppausrakenteen suunnittelu

Sieppausrakenne koostuu pyöröjohtimilla rakennetusta verkosta ja siihen liitetystä sieppaustangoista sekä rakennuksen omista rakenteista standardin EN 62305 materiaalivahvuusvaatimukset täyttäviltä osilta (taulukko 2). Kattojohtimien sijoitukseen

voidaan käyttää verkko-, pallo ja suojakulmamenetelmää joko itsenäisesti tai yhdessä. [1, s.82;2, s.58;7.]

Verkkomenetelmä

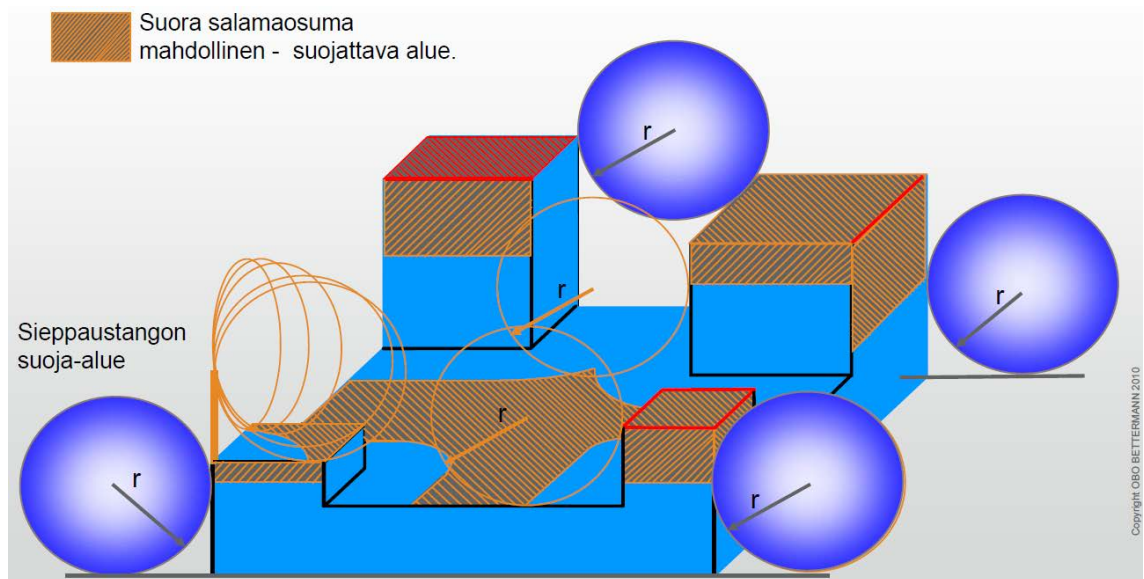
Verkkomenetelmä soveltuu käytettäväksi tasaisille kattopinnoille (kuva 2). Katolle rakennetaan pyöröjohtimista verkko, jonka silmäkoko m riippuu suojaustasosta LPL (taulukko 1). Johtimen kokonaispituuden l ylittäessä 20 m, on siihen laitettava laajennuskappale lämpölaajenemisen takia. Verkkomenetelmä ei kuitenkaan sovellu käytettäväksi monimuotoisille kattopinnoille tai katolla olevien laitteiden tai ulkonevien rakenteiden suojaukseen, vaan ne suojataan sieppaustangoilla, jotka liitetään verkkoon. [2, s.58.]



Kuva 2. Verkkomenetelmän havainnekuva [2, s.58.]

Pallomenetelmä

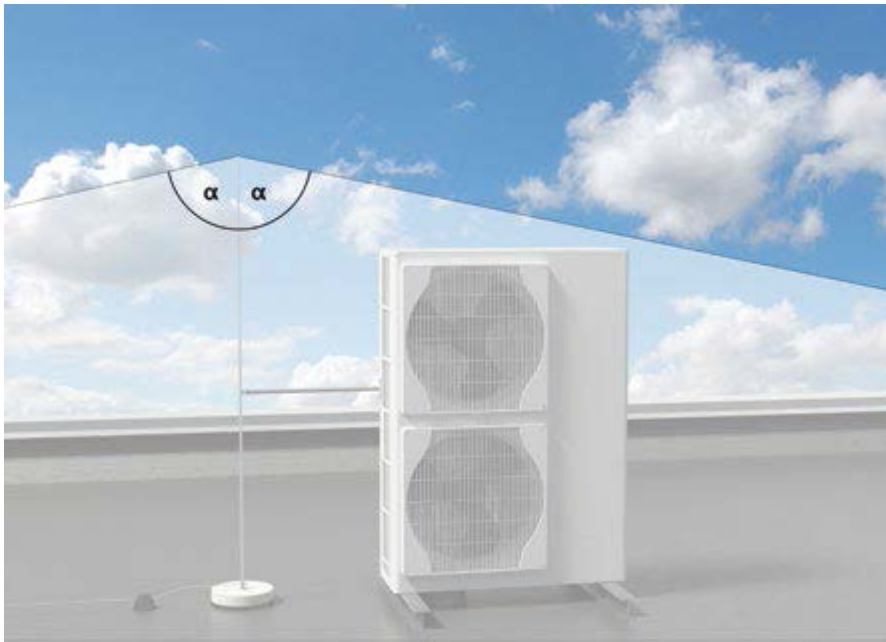
Pallomenetelmä soveltuu käytettäväksi jokaiseen tapaukseen. Pallomenetelmässä suojattava alue määritetään säteen R omaavaa palloa vierittämällä rakennuksen yli (kuva 3). Kaikki kohdat, joihin pallo koskettaa, ovat potentiaalisia salamaniskun osumakohtia, ja täten ne on suojattava sieppausrakentein. Pallon säde R määrittyy suojaustason LPL mukaan (taulukko 1). [1, s.59;2, s.58.]



Kuva 3. Pallomenetelmän havainnekuva [11, s.15.]

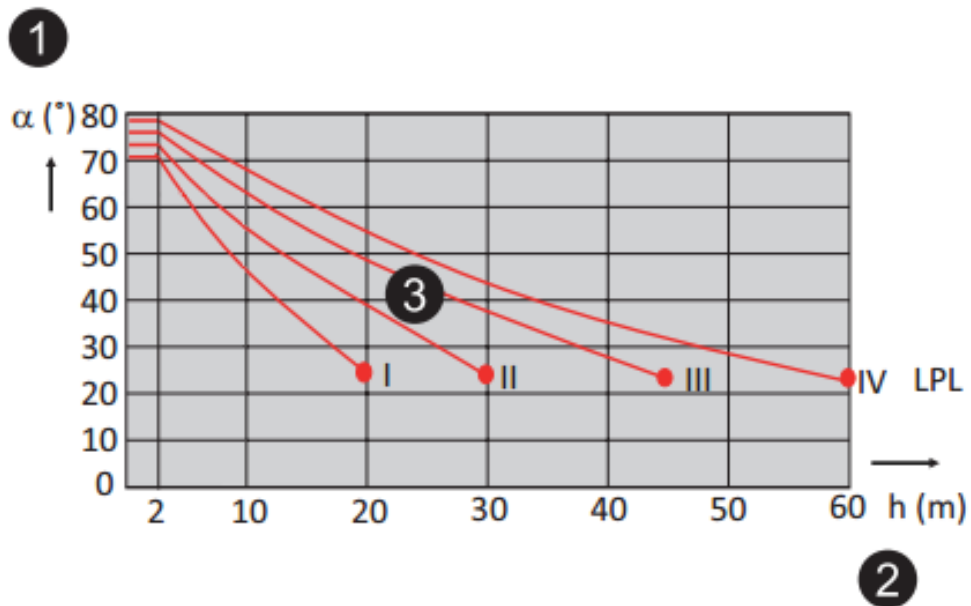
Suojakulmamenetelmä

Suojakulmamenetelmä soveltuu käytettäväksi muodoltaan yksinkertaisten rakennusten suojaukseen. Suojakulmamenetelmä perustuu suojattavaa kohdetta korkeamman sieppausrakenteen, kuten sieppaustangon tai salamaköyden muodostamaan suoja-alueeseen (kuva 4). Suojakulmamenetelmän käyttöä rajoittaa vastaanottorakenteen korkeus. Mikäli sieppausrakenteen korkeus on suurempi kuin kyseiselle suojaustasolle määritetty pallon säde R , on käytettävä pallomenetelmää suojaukseen. [1, s.59;2, s.59.]



Kuva 4. Katolla olevan laitteen suojaus suojakulmamenetelmällä

Käytettävä suojakulma määräytyy suojaustason mukaan (kuva 5).



Kuva 5. Suojakulman mitoitusarvot, jossa 1 on suojakulma α (°), 2 on korkeus pinnasta h (m), 3 on suojaustaso *LPL*. [2, s.59.]

Erotusväli

Sieppausrakenteet ja alastulojohtimet on eristettävä sisätiloissa olevista sähköasennuksista sekä muista sisälle johtavista metalliosista (kuva 6). Suojaväli riippuu myös materiaalista eli siitä, onko välissä pelkkää ilmaa vai esimerkiksi betoninen tai tiilinen rakenne, sillä betonisen tai tiilisen rakenteen suojaväliksi vaaditaan kaksinkertainen etäisyys pelkkään ilmapäliin nähden. Suojaväliksi riittää käytännössä 0,8...1,0 m suojaväli, mutta jos tällaista väliä ei ole käytettävissä, voidaan riittävä suojaväli A määrittää laskemalla erotusväli s (kaava 1). Myös eristetyillä alastulojohtimilla saadaan pienennettyä tarvittavaa suojaväliä (liite 3).

$$s = k_i \frac{k_c}{k_m} L \quad (1)$$

s on erotusväli

L on alastulojohtimen pituus tarkastelukohdasta potentiaalintasaukseen (m), ≤ 20 m

k_i on suojaustasokerroin (taulukko 3)

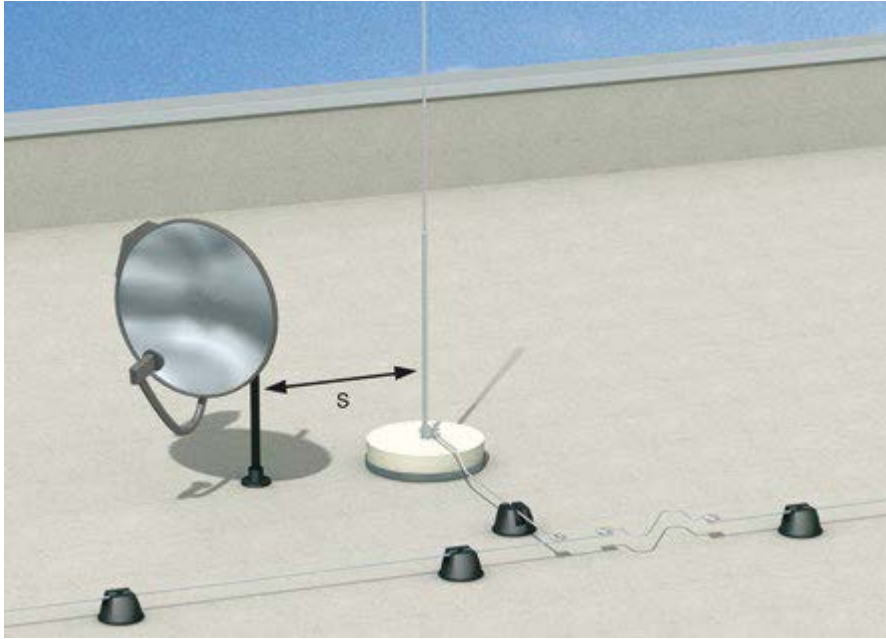
k_c on virranjakautumiskerroin (taulukko 3)

k_m on materiaalikerroin (taulukko 3).

Taulukko 3. Erotusvälin laskukertoimet

Suojaustaso LPL	I	II	III ja IV
k_i	0,08	0,06	0,04
Alastulojohtimien määrä n	1	2	≥ 4
k_c jos tyyppin A maadoituselektrodi	1	0,66	0,44
k_c jos tyyppin B maadoituselektrodi	1	0,5–1,0	0,25–0,5
Materiaalikerroin	Ilma	Betoni, tiili	
k_m	1	0,5	

Tarvittava suojaväli A on oltava suurempi kuin laskettu erotusväli s . [1, s.90, 91;2, s.59.]



Kuva 6. Sieppaustangon ja lautasantennin välinen erotusväli [2, s.59.]

4.2 Salamanvangitsijat

Salaman vastaanottorakenteet eli salamanvangitsijat ottavat salamaniskun vastaan ja johtavat salamavirran hallitusti alastulojohtimia pitkin maadoituselektrodille. Salamanvangitsijat koostuu sieppaustangoista tai -mastoista, antennimastosta, kattojohtimista, rakennuksen yläpuolelle asennetusta salamaköydestä, riittävän paksusta metallilevystä (taulukko 2) tai näiden yhdistelmästä (liite 2). Salamanvangitsijoita voidaan tarvita myös seinille. Salamanvangitsijoiden asennus tulee tehdä niin, etteivät ne pääse vaurioitumaan lumen, jään ja tuulen vaikutuksesta. [1, s.84;3, s.4.]

4.2.1 Sieppaustangot

Sieppaustankojen suojaus toimii suojakulmamenetelmällä. Sieppaustangoilla suojataan kattoa ja katolla olevia laitteita ja rakenteita, jotka ovat mitoiltaan tai sijainniltaan sellaisia, ettei niitä voi suojata verkkomenetelmällä.

Katolla sijaitsevia ilmanvaihtokanavia ja huippuimureita, joilla on suora sähköinen yhteys rakennuksen sisälle, ei saa liittää salamanvangitsijoihin, vaan ne on suojattava

esimerkiksi sieppaustangoilla. Savupiipussa oleva noki johtaa sähköä kuivanakin, joten savupiiputkin on suojattava salamaniskulta.

Suojattavan kohteen on sijaittava sieppaustangon muodostamalla suoja-alueella kokonaisuudessaan. Myöskin kaikki eristeaineiset rakenteet, jotka eivät kokonaisuudessaan ole salamasuojauksen suoja-alueella, on suojattava erillisellä sieppaustangolla.

Katolla olevia eristeaineisia rakenteita, joissa ei ole sähköisiä osia ja niiden korkeus katonpinnasta on alle 0,3 m, ei tarvitse erikseen suojata. Myöskään katolla olevia, salamasuojaukseen maadoittamattomia metallisia rakenteita ei tarvitse erikseen suojata, mikäli seuraavat ehdot täyttyvät:

- Rakenteen korkeus kattopinnasta ei ylitä 0,3 m:ä.
- Rakenteen pinta-ala ei ylitä 1,0 m²:ä.
- Rakenteen pituus ei ylitä 2 m:ä.
- Rakenteen ja salamanvangitsijan välinen etäisyys on vähintään 0,5 m.

Mikäli edellä mainitut ehdot eivät täyty, tulee rakenteet yhdistää kattojohtimiin, vaikka ne eivät toimisikaan vastaanottorakenteina. [1, s.87-89;2, s.61;7, s.14.]

4.2.2 Kattojohtimet

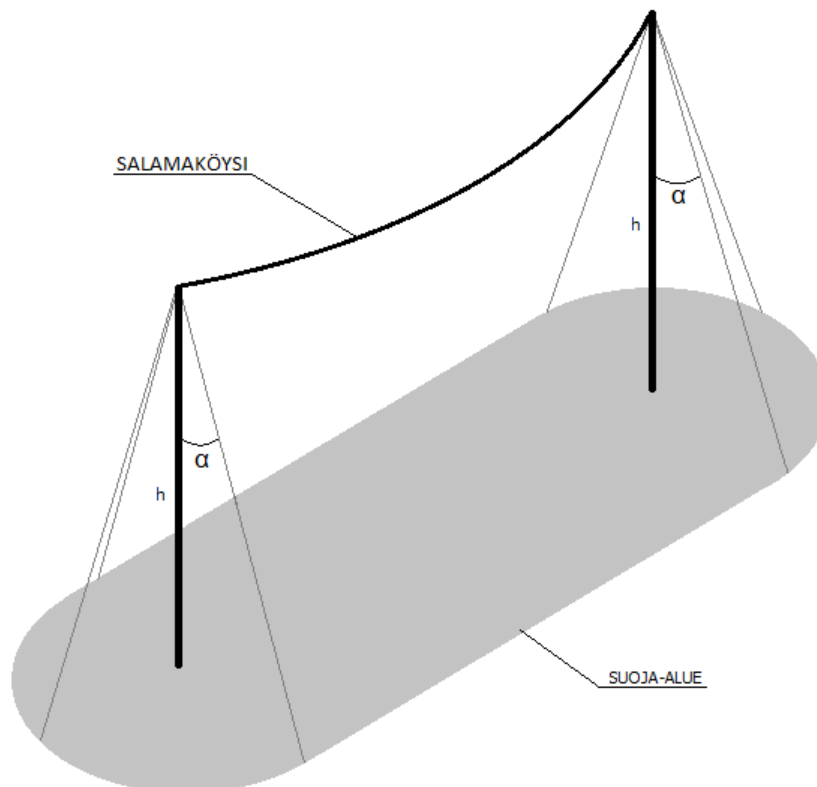
Kattojohtimien tarkoitus on toimia salamanvangitsijoina ja yhdistää sieppaustangot ja -mastot sekä muut metallirakenteet alastulojohtimiin ja sitä kautta maadoituselektrodiin. Kattojohtimet rakennetaan yleensä käyttäen verkkomenetelmää. Harjakattoisissa rakennuksissa on tärkeää sijoittaa katonharjalle harjajohdin sekä ulkosivujen suuntaiset johtimet. Tämän jälkeen lisätään tarpeen mukaan kattojohtimia, jotta saadaan verkon silmäkoko pidettyä suojaustason vaatimuksen mukaisena (taulukko 1).

Mitkään kiinnikkeet eivät kestä lumen valumista, joten harjakatoille on sijoitettava myös lumiesteet salamanvangitsijoiden suojaamiseksi. Harjajohdin tulee asentaa niin, että sen päät tulevat hieman katon reunojen yli ja niitä tulee taivuttaa hieman yläviistoon, jotta harjajohtimen suoja-alue kattaa myös katon ulkonevat osat sekä julkisivua. Kattojohtimet

kiinnitetään enintään 1,2 m:n välein kattoon. Räystääiden kohdalla kattojohtimet yhdistetään alastulojohtimiin. [1, s.85; 7, s.18.]

4.2.3 Salamaköydet

Salamaköysiä käytetään yleensä eristetyn ulkoisen salamasuojauksen toteutuksessa. Salamaköysien suojaus perustuu suojakulmamenetelmään. Suojattavan kohteen yläpuolelle asennetaan salamaköysi vaakasuoraan, joka muodostaa alapuolelleen suojakulman mukaisen suoja-alueen (kuva 7). Eristetyssä salamasuojausjärjestelmässä tulee kannatinpylväiden ja rakennuksen välinen etäisyys olla vähintään 2,0 m. Salamaköyden asennuksessa on otettava huomioon köyden riippuma niin, että jokaisesta kohdasta suojaväli rakennukseen täyttyy. Jos salamaköysiä ei ole yhdistetty suojattavan kohteen potentiaalintasaukseen, on suojaväliä kasvatettava. Mikäli suojattava rakennus on laaja-alainen, voidaan lisätä salamaköysiä rinnakkain tai ristiin, jolloin saadaan kattava suojaverkko. [1, s.91–92.]



Kuva 7. Salamaköyden muodostama suoja-alue. [10, s.8, muokattu]

4.2.4 Antennimastot

Katolla oleva antennimasto sijaitsee yleensä salamasuojauksen suoja-alueen ulkopuolella, joten se on altis salamaniskuille. Antennimastoa ei tarvitse erikseen suojata salamasieppareilla, sillä se toimii itsessään sieppaustankona, joten on se yhdistettävä kattojohtimiin. Mikäli rakennuksessa ei ole erillistä ulkoista salamasuojausta, tulee antennimasto maadoittaa vähintään 16 mm² kuparijohtimella potentiaalintasauskiskoon. [1, s.87.]

4.3 Alastulojohtimet

Alastulojohtimien tarkoitus on yhdistää kattojohtimet maadoituselektrodiin, jotta salamavirta saadaan hallitusti johdettua salamanvangitsijoilta maihin. Alastulojohtimena voi toimia erilliset johtimet tai rakennuksen omat metallirakenteet. [1, s.92, 95.]

4.3.1 Alastulojohtimien asentaminen

Alastulojohtimet tulee asentaa rakennuksen seinäpinnalle, mahdollisimman suoraa reittiä alas maadoituselektrodille. Asennuksessa tulisi välttää jyrkkien mutkien tekoa, sillä ne lisäävät johtimen impedanssia. Jokaisen alastulojohtimen liitos maadoituselektrodiin on merkittävä ja varustettava mittapisteellä erotusliittimen avulla (kuva 8). Poikkeuksena on perustuksiin liittyvät luontaiset rakenteet. [1, s.92; 7, s.26.]

Alastulojohtimien kiinnitysväli on oltava enintään 1,2 m ja kiinnityksen voi tehdä suoraan rakennuksen seinäpinnalle, jos seinäpinta ei ole tulenarkaa materiaalia. Mikäli salamavirta voi kuumentaa alastulojohdinta vaarallisesti, on tulenaralle seinäpinnalle kuten puupinnalle asennettaessa käytettävä kiinnitystä, jolla saadaan johtimen ja seinäpinnan välinen etäisyys jokaisessa kohdassa olemaan vähintään 0,1 m. Alastulojohtimet pyritään sijoittamaan enintään 0,2 m rakennuksen nurkista ja tasaisesti rakennuksen sivuille. Metalliset sadevesikourut ja syöksytorvet on yhdistettävä alastulojohtimiin. Alastulojohdin ei kuitenkaan saa sijaita vesikourun tai syöksytorven sisällä korroosiovaaran takia. Myöskään alastulojohtimia ei saa asentaa alle 0,5 m:n etäisyydelle ovista, ikkunoista tai muista rakennuksessa olevista aukoista. Yli 20 m korkeissa rakennuksissa on alastulojohtimet yhdistettävä vaakasuora johtimella toisiinsa joka 20 m:n välein korkeussuunnassa. Vaakasuorat johtimet toimivat

potentiaalintasauksena ja jakavat salamavirran useammalle alastulojohtimelle. Alastulojohtimen pituuden L tarkastelupisteestä potentiaalintasaukseen tulee pysyä alle 20 m:n. [1, s.92–93;7, s.19.]

Johtimien lukumäärä määräytyy suojaustason ja rakennuksen ympärysmitan mukaan (taulukko 1), mutta yleensä niitä on vähintään kaksi, rakennuksen vastakkaisilla puolilla. Mikäli rakennuksen ympärysmitta on alle 20 m tai kun kyseessä on alle 20 m korkea itsekantava savupiippu tai kirkontorni, yksi alastulojohtin on riittävä. Metalliset tornit ja savupiiput eivät tarvitse erillistä alastulojohdinta. [1, s.95.]

Alastulojohtimet on eristettävä sellaisilla alueilla, joissa oleskelu on todennäköistä. Eristyksen voi tehdä joko 100 kV:n eristysjännitteisellä alastulojohtimella tai eristävällä maan pintamateriaalilla. Eristys on tehtävä 3 m:n matkalta. Maan materiaalina riittää esimerkiksi 0,05 m paksu asfaltti tai 0,15 m sepeliä. [7, s.19-25.]



Kuva 8. Erotus- ja mittapiste alastulojohtimessa. [7, s.27.]

4.3.2 Rakennuksen rakenteet alastulojohtimina

Standardissa EN 62305 suositellaan käytettäväksi rakennuksen omia teräsrakenteita alastulojohtimina. Yleensä niiden käyttöönottoaminen on mahdollista uudisrakennuksen rakennusvaiheessa. Teräsbetonirakenteen raudoitusta voidaan käyttää alastulojohtimena, mikäli raudoitus on yhdistetty sähköisesti luotettavalla tavalla, kuten hitsaamalla tai käyttäen tarkoituksenmukaisia liittimiä. Näin saadaan riittävän pieni impedanssinen alastulojohdin. Hitsausta ei yleensä ole mahdollista käyttää sen terästä heikentävien vaikutusten takia. Seinien yläosaan tehdään maadoituspisteitä, joilla yhdistetään kattojohtimet alastulojohtimiin. Sama tehdään myös seinän alaosaan, jotta saadaan alastulojohtimet yhdistettyä maadoitukseen. Betonielementtiseinät ovat yleensä 3 m korkeita, joten jokaisen elementin raudoitukset tulee yhdistää toisiinsa hitsaamalla, liittimillä tai ylimenojohdotuksilla. Käytännössä tämä on kuitenkin liian haastava toteutettavaksi. Peltiseinää käytettäessä alastulojohtimena, on laskettava, että sen muodostama kokonais-läpialamitta täyttää alastulojohtimen vaatimukset (Liite 1). Mikäli syöksytorvien pelti on riittävän paksu, voidaan niitä käyttää alastulojohtimina. Syöksytorvet on joka tapauksessa liitettävä alastulojohtimiin alapäästä. [1, s.95–97.]

Alastulojohtimina käytettävien rakenteiden läheisyyteen asennettaessa sähkölaitteita on otettava huomioon riittävät suojavälit. [1, s.97.]

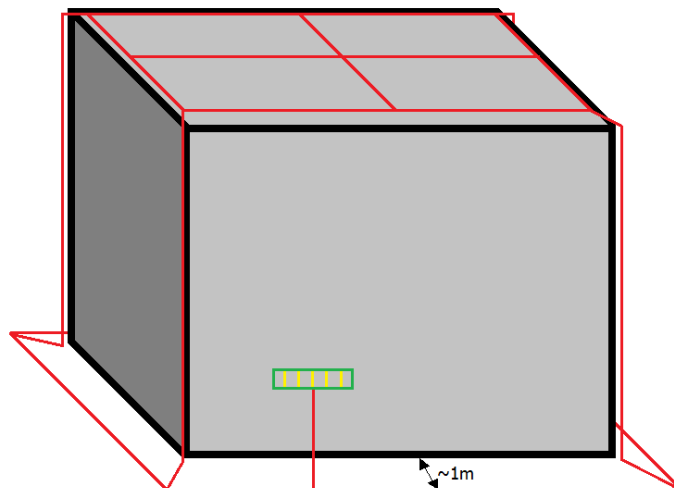
4.4 Maadoitus

Maadoituselektrodin tarkoitus salamasuojauksen kannalta on johtaa ja hajauttaa salamavirta maahan. Jottei salamavirta aiheuttaisi vaarallisia ylijännitteitä, on maadoituksen muodolla ja mitoituksella suuri merkitys. Ei siis riitä pelkästään se, että saadaan pieni maadoitusresistanssin arvo. Maadoitusjärjestelmä voi koostua joko yhdestä tai useammasta maadoituselektrodista, jotka on kytketty yhteen (liite 4). Standardeissa EN 62305-3 5.4 ja SFS6000- 5-54D suositellaan ensisijaisesti käytettäväksi tyyppin B perustusmaadoituselektrodia. Mikäli perustusmaadoituselektrodia ei voida käyttää, voidaan käyttää rengasmaadoituselektrodia. Mikäli tyyppin B maadoituselektrodilla ei pystytä maadoitusta toteuttamaan, voidaan käyttää tyyppin A pysty- ja vaakamaadoituselektrodeja. Tyyppin A maadoituselektrodeja käytettäessä ei kuitenkaan kaikki potentiaalintasauksen ja potentiaalinhjauksen tehtävät täyty. Maadoitusresistanssin on suositeltavaa olla alle 10Ω. [1, s.97–98;2, s.64;7, s.28.]

4.4.1 Maadoituselektrodityypit

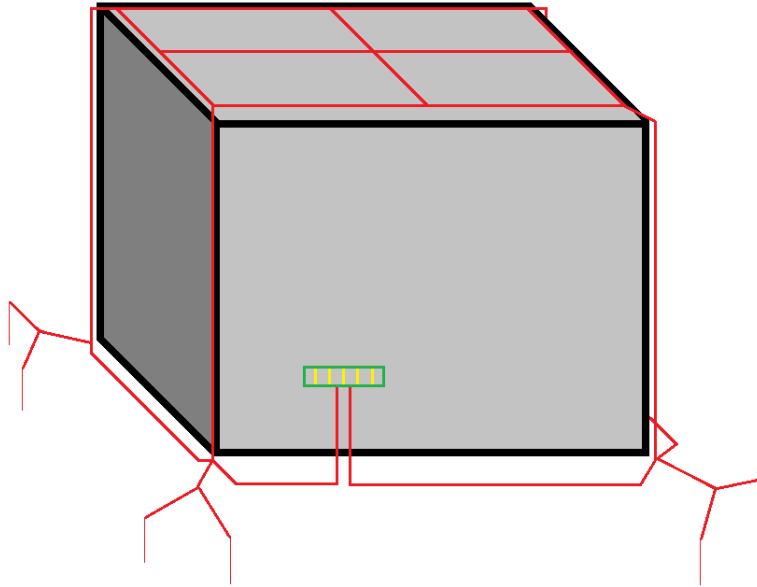
Tyyppin B perustusmaadoituselektrodi voi olla rakennuksen perustuksiin upotettu maadoituselektrodi, perustusten ympärillä oleva elektrodi tai pelkästään raudoitukset, jotka on yhdistetty potentiaalintasauskiskoon mikäli rauditus täyttää standardin vaatimukset maadoituselektrodille. Perustusmaadoituksen verkon silmäkoko saa olla enintään 20 x 20 m.

Tyyppin B rengasmaadoituselektrodi on rakennuksen ympäri kiertävä lenkki, jonka molemmat päät on yhdistetty potentiaalintasauskiskoon (kuva 9). Rengasmaadoitus tulee upottaa vähintään 0,5 m:n syvyydelle maahan ja noin 1 m:n etäisyydelle rakennuksen perustuksista. Kaikki alastulojohtimet yhdistetään rengasmaadoituselektrodiin. Elektrodeja voi olla useampia ja niihin voi myös lisätä pysty- tai vaakamaadoituselektrodeja. [1, s.98;2, s.64]



Kuva 9. Tyyppin B rengasmaadoituselektrodi [8, muokattu]

Tyyppin A vaakamaadoituselektrodit ovat yksittäisiä säiemäisesti asennettuja haaroja, joista jokainen elektrodi on kytkettävä alastulojohtimeen ja potentiaalintasaukseen (kuva 10). Salamasuojauksen kannalta vaakamaadoituselektrodia ei ole suositeltavaa käyttää. Vaakamaadoituselektrodiin voidaan yhdistää pystyselektrodeja, joilla päästään syvempään maaperään, jossa on pienempi ominaisresistanssi. [1, s.64;2, s.65;7, s.28.]



Kuva 10. Tyypin A vaaka- ja pystymaadoituselektrodit [8, muokattu]

4.4.2 Potentiaalintasaus

Potentiaalintasausjärjestelmä on suunniteltava salamavirran kestäväksi. Yleensä pääpotentiaalintasauskisko asennetaan rakennuksen suurimman keskuksen läheisyyteen. Potentiaalintasauskiskoon yhdistetään maadoituselektrodit, rakennuksen sähkökeskukset sekä jokainen rakennuksen johtava rakenne ja putkisto (liite 5). Jokainen johdin on oltava erikseen irroitettavissa kiskosta.

Yli 20 m korkeissa rakennuksissa on lisäpotentiaalintasaus tehtävä pystysuunnassa enintään 20 m:n välein, jolloin saadaan alastulojohtimissa kulkeva salamavirta jaettua useammalle alastulo- ja potentiaalintasausjohtimelle. [1, s.94;2, s.55;9, s.279–281.]

4.5 Eristetty ulkoinen salamasuojaus

Eristetyssä ulkoisessa salamasuojausjärjestelmässä salamanvangitsijat ja alastulojohtimet ovat suojattavan rakennuksen ulkopuolella niin, ettei salamavirta kulje lainkaan suojattaan kohteeseen, vaan se johdetaan täysin kohteesta pois. Yleensä eristetty salamasuojaus toteutetaan sieppaustangoilla tai -mastoilla tai kohteen yläpuolelle asennetulla salamaköydellä. Jokaiseen eristysaineiseensieppausmastoon on asennettava alastulojohdin, metalliseen ei tarvitse. [1, s.92–95.]

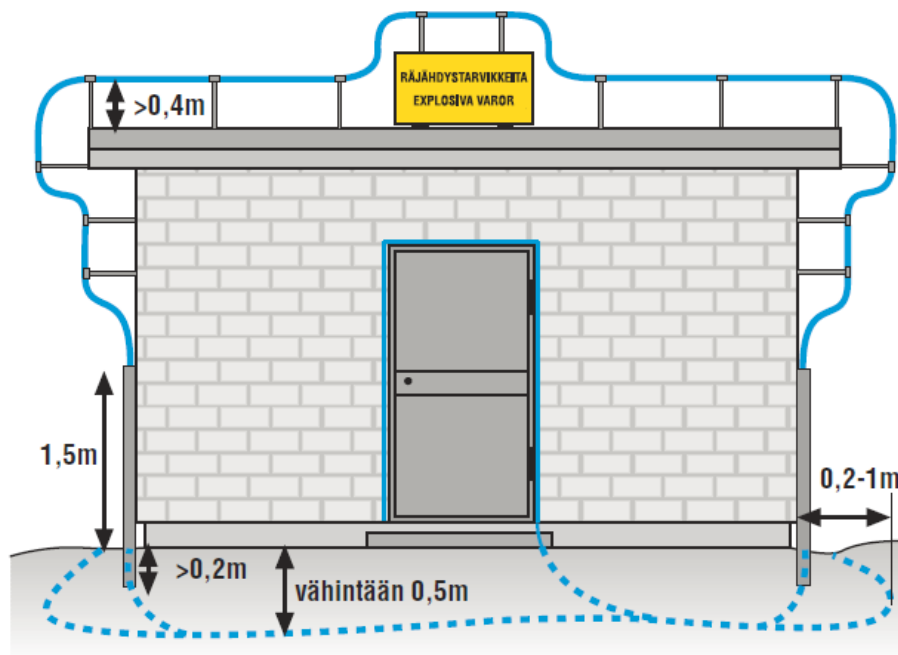
4.5.1 Räjähdyksvaaralliset tilat

Sähköistetty räjähdetarasto tulee varustaa rakennukseen kiinnitetyn ulkoisen salamasuojauksen lisäksi eristetyllä ulkoisella salamasuojauksella. Eristetyn suojauksen on tarkoitus vastaanottaa suurivirtaisimmat salamat ja johtaa ne pois räjähdetarastolta. Rakennukseen kiinnitetyn salamasuojauksen voi korvata riittävän paksu peltikatto (taulukko 2), joka on huolellisesti potentiaalintasattu ja jonka jokainen kulma on yhdistetty maadoituselektrodiin.

Sähköistämättömään räjähdetarastoon sekä metallipäällysteisiin räjähdetarastoihin riittää rakennukseen kiinnitetty salamasuojaus tai riittävän paksu peltikatto (taulukko 2), joka on huolellisesti potentiaalintasattu ja jonka jokainen kulma on yhdistetty maadoituselektrodiin. [10, s.5.]

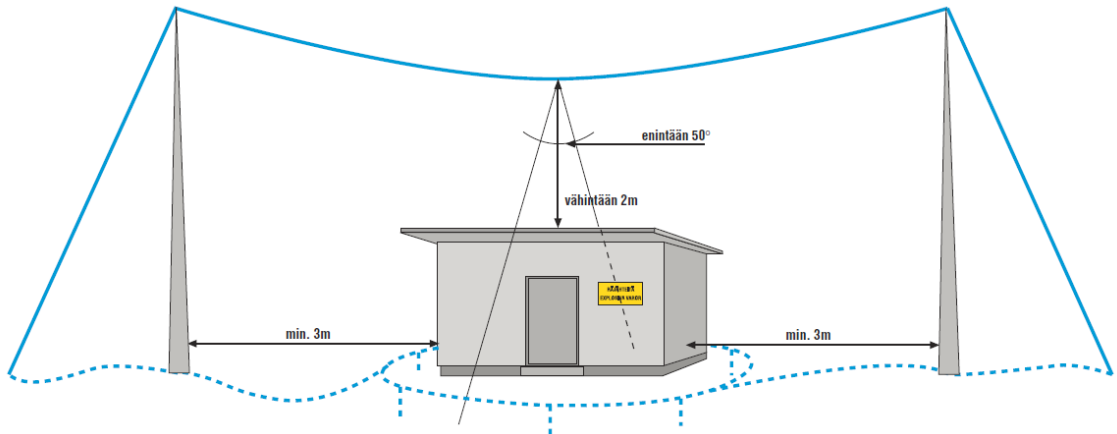
Rakennukseen kiinnitetyssä salamasuojauksessa kattojohtimien on oltava vähintään 0,4 m:n etäisyydellä kattopinnasta ja niiden on kierrettävä rakennuksen ulkoreunoja pitkin (kuva 11). Tarvittaessa on lisättävä poikittaisjohtimia, jottei mikään kohta katosta ole yli 5 m:n etäisyydellä kattojohtimista.

Alastulojohtimet on hyvä suojata mekaanisella suojalla 1,5 m:n korkeudelta maanpinnan alapuolelle vähintään 0,2 m:iin asti. Alastulojohtimien kiinnitysväli on suositeltavaa olla enintään 1 m. [10, s.6.]

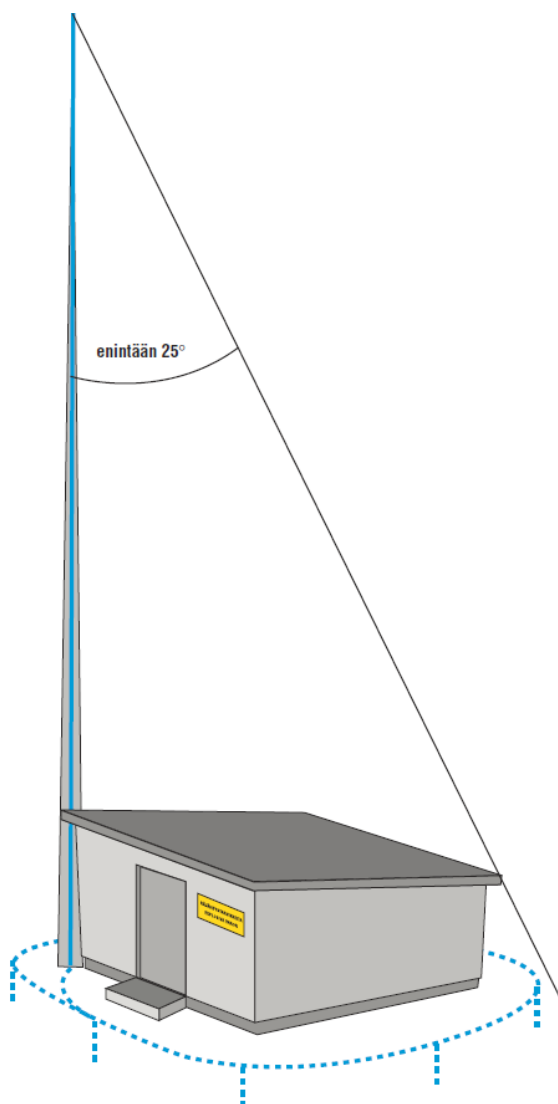


Kuva 11. Räjähdyksvaarallisen tilan rakennukseen kiinnitetty ulkoinen salamasuojaus. [10, s.6.]

Räjähdyksvaarallisen tilan eristetty salamasuojaus voidaan toteuttaa suojaustangolla tai -mastolla (kuva 13) tai tilan ylle viritetyllä salamaköydellä (kuva 12). Tankojen ja rakennuksen välinen suojaväli tulee olla vähintään 3 m. Salamaköyden ja rakennuksen välinen suojaväli on suurimmankin riippuman kohdalla oltava vähintään 2 m. Tankojen ja johtimien enimmäis suojakulmana pidetään 25 astetta. [10, s.8.]



Kuva 12. Räjähdyksvaarallisen tilan eristetty salamasuojaus salamaköydellä. [10, s.8.]



Kuva 13. Räjähdyksvaarallisen tilan eristetty salamasuojaus sieppausmastolla. [10, s.8.]

5 Sisäinen salamasuojaus

Sisäinen salamasuojausjärjestelmä on toteutettava aina, kun toteutetaan ulkoinen salamasuojausjärjestelmä. Vain potentiaalintasauskiskossa saa sisäisen ja ulkoisen salamasuojauksen yhdistää toisiinsa. Sisäisellä salamasuojausjärjestelmällä tarkoitetaan kaikkia rakennuksen sisällä olevia asennuksia. Sisäinen salamasuojausjärjestelmä perustuu suojavälien, potentiaalintasauksen ja ylijännitesuojauksen toteuttamiseen. Rakennuksen sisällä olevien sähköasennuksien ja ulkoisten salamasuojaurakenteiden välillä on oltava riittävä suojaväli. Salaman iskiessä

ei salamavirtaa saa päästä hallitsemattomasti sisäisiin rakenteisiin, jottei niitä tarvitse mitoittaa salamavirtaa kestäväksi. [1, s.71;3, s.5.]

5.1 Potentiaalintasaus

Rakennuksen sisäiset metallirakenteet, kuten ilma- ja vesiputkistot, betoniraudoitukset ja metalliset asennushyllyt ja -kourut yhdistetään potentiaalintasauskiskoon. Parempaa suojausta vaativissa tiloissa voidaan lisätä potentiaalintasauspisteitä lisäpotentiaalintasauskiskoilla, jolloin saadaan pienennettyä salaman aiheuttamia ylijännitteitä ja potentiaalieroja laitteiden välillä. [3, s.8;9, s.281.]

Räjähdyksivaaralliset tilat

Sähköistämättömissä räjähdevarastoissa potentiaalintasaus katsotaan siittäväksi, kun suurimmat metalliosat, kuten varastosuoja ympäröivä aitaus, metallinen ovi, seinät ja katto on yhdistetty ukkosjohtoon.

Sähköistetyssä räjähdevarastossa on huolehdittava rakennuksen sisäisten kaapelointien riittävästä suojavälillä ulkoisiin katto- ja alastulojohtimiin. Erotusväliksi katsotaan riittäväksi 1 m. [10, s.9.]

5.2 Erotusvälit

Kaikki rakennuksen sisäiset kaapeloinnit sekä johtavat osat on eristettävä ulkoisen salamasuojajärjestelmän rakenteista, jotta ei pääse aiheutumaan läpilyöntejä tai indusoitumaan haitallisia ylijännitteitä. Eristäminen voidaan toteuttaa asentamalla sisäinen ja ulkoinen järjestelmä riittävän etäälle toisistaan. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää 100 kV:n eristettyjä johtimia, joilla saadaan pienennettyä vaadittuja erotusvälejä. [1, s.90;3, s.5.]

5.3 Ylijännitesuojalaitteet

Ylijännitesuojaus kuuluu sisäiseen salamasuojaukseen, joten aina kun toteutetaan ulkoinen salamasuojajärjestelmä, tulee myös ylijännitesuojaus lisätä laitteistoon. Ylijännitesuojauksen voi toteuttaa, vaikka ei ulkoista salamasuojajärjestelmää toteutettaisikaan. Tällä saadaan jo suojattua laitteita haitallisilta ylijännitteiltä. Ylijännitesuojalaitteet jaetaan kolmeen eri portaaseen, joiden avulla suojataan rakennuksen sähköasennuksia ja –laitteita salamavirran aiheuttamilta ylijännitteiltä. Eniten käytettyjä suojauskomponentteja ovat

- sähköverkon salama- ja karkeasuojana käytettävä kipinäväli
- sähköverkon keskisuojana käytettävä varistori
- IT-piirien karkeasuojana käytettävä kaasupurkausputki
- IT-piirien hienosuojana käytettävä purkausdiodi. [1, s.112;2, s.70;4, s.10.]

Karkea- ja välisuojat ovat tyypillisesti pää- tai mittauskeskukseen asennettavia, DIN-kiskoon kiinnitettäviä moduuleita, johon kytketään nolla-, suojamaadoitus- ja yksi tai kaikki vaihejohtinta (kuva 14). Ylijännite purkautuu suojamaadoitusjohtinta pitkin maihin. On myös TN-C -malleja, joihin kytketään N- ja PE-johdinten sijaan PEN-johdin.



Kuva 14. DIN-kiskoon kiinnitettävä yhdistelmäsuoja TN-S -järjestelmään. [2, s.74.]

Hienosuojat voivat olla joko sähkölaitteen tai kojeen vaihe-, nolla ja suojajohtimeen kytkettävä pienikokoinen yksikkö, DIN-kiskoon kiinnitettävä moduuli tai pistorasiaan asennettava suojakosketinpistorasialla varustettu suojalaite (kuva 15). [2, s.70–75.]



Kuva 15. Kojerasiaan ja pistorasiaan asennettavat hienosuojat. [2, s.75.]

Tele-, antenni- ja automaatioverkoille on olemassa omat ylijännitesuojansa. Perussuoja asennetaan syöttölaitteen yhteyteen ja kojesuoja kojeen tai laitteen yhteyteen. [2, s.75.]

Räjähdyksvaaralliset tilat

Räjähdyksvaarallisiin tiloihin on salamasuojauksen yhteydessä toteutettava ylijännitesuojaus. Ylijännitesuojat tulisi sijoittaa räjähdysvaarallisen tilan ulkopuolelle. Mikäli ulkopuolelle ei pystytä sijoittamaan, tulee ne olla räjähdysuojattuja tai olla asennettuna räjähdysuojattuun koteloon. Muuhun kuin räjähdysvaaralliseen tilaan syöttävät kaapeloinnit on ylijännitesuojattava vaarallisten potentiaalierojen välttämiseksi. [12, s.65, 140.]

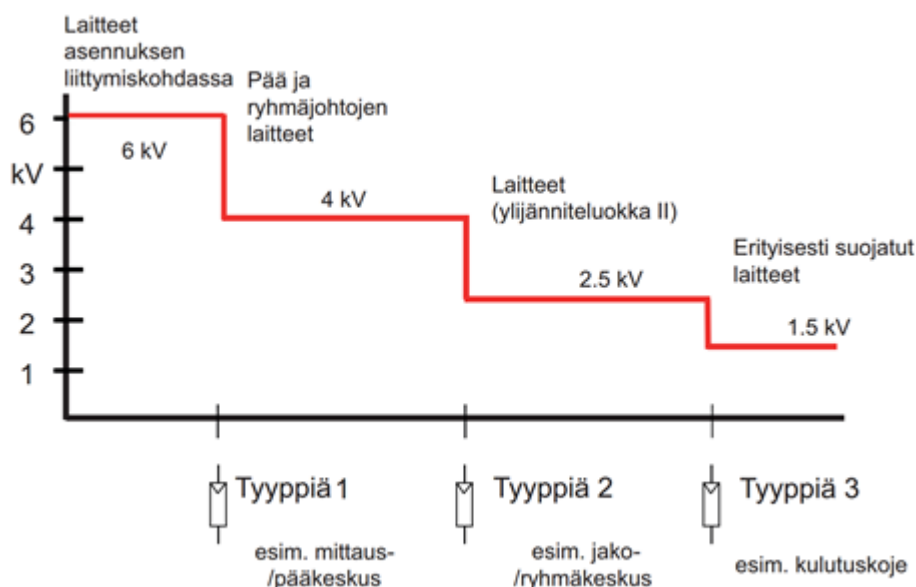
5.4 Kolmiportainen ylijännitesuojaus

Sieppausrakenne vastaanottaa rakennukseen kohdistuneet salamet ja johtaa siitä aiheutuneet salamavirrat alastulojohtimia pitkin hallitusti maadoituselektrodiin. Maadoituselektrodia pitkin voi kuitenkin nousta jopa puolet salamavirrasta sähkökeskukseen. Tämä salamavirta johdetaan 3-portaisen ylijännitesuojauksen avulla takaisin verkkoon, jottei rakennuksen sisäiseen laitteistoon aiheutuisi haitallisia ylijännitteitä (kuva 16). Tällä saadaan salamavirran aiheuttamat ylijännitteet minimoitua häiriöttömän pieneksi. [2, s.55, 70.]

Ensimmäinen porras on pää- tai mittauskeskukseen sijoitettava karkeasuoja, joka on tyyppiä T1 oleva ylijännitesuoja. Karkeasuojan tilalla voidaan käyttää myös yhdistelmäsuojaa T1+T2. [2, s.70.]

Toinen porras on ryhmäkeskukseen sijoitettava välisuoja, joka on tyypiltään T2. Välisuoja suositellaan asennettavaksi, mikäli kaapelipituus karkea- tai yhdistelmäsuojalta ylittää 10 m.

Kolmas porras on kojeeseen tai sen lähetyville asennettava hienosuoja, joka on tyypiltään T3. Hienosuojaa suositellaan käytettäväksi yli 10 m kaapelipituuksilla välisuojalta, sillä pitkille kaapeliosuuksille voi indusoitua ylijännitteitä. [2, s.70–71.]



Kuva 16. Laitteiden vaadittu syöksyjännitekestoisuus. [2, s.70.]

6 Yhteenveto

Opinnäytetyössä oli tarkoitus perehtyä rakennuksen salamasuojausjärjestelmän kaikkiin osa-alueisiin, jotta pystyn laatimaan sähkösuunnittelijoille aineiston, jonka avulla he kykenevät suunnittelemaan erilaisiin kohteisiin salama- ja ylijännitesuojausjärjestelmän.

Toteutuksen suunnittelussa vaikeimmaksi osuudeksi osoittautui ulkoisen ja sisäisen järjestelmän erottaminen toisistaan käytännöllisellä tavalla. Siinä on otettava jokaisen

alan järjestelmät otettava huomioon ja tehtävä jatkuvaa yhteistyötä rakenne- ja LVI-suunnittelijoiden kanssa.

Salamasuojausjärjestelmän toteutus on varmasti yleistymässä myös omakotirakentamiseen, sillä vaikkakin siitä koituu suuria investointeja, voi sillä säästää paljon elektroniikkaa ja remontointikustannuksia salaman iskiessä rakennukseen.

Salamasuojauksesta ei ole kovin paljoa tietoa Suomessa, mikä on varmasti yksi osasy minkä takia se ei ole yleistynyt vielä. Pyrin tällä opinnäytetyöllä tuomaan ainakin sähkösuunnittelijoiden tietoisuuteen salamasuojauksen ratkaisusta, ja tätä kautta lisäämään myös rakennuttajien tietoisuutta asiasta.

Lähteet

- 1 Annanpalo Jaakko, Ikävalko Mauri, Koponen Jarmo, Mäkelä Antti, Ristilä Juha, Sjögren Harry, Taimisto Samuli, Tiainen Esa. 2012. Rakennusten salama- ja ylijännitesuojaus. 2., uusittu painos. Julkaisija Sähköinfo Oy.
- 2 OBO Tuoteluettelo 1/2016. 2016. OBO BETTERMANN Oy.
- 3 Aro Martti. 2012. ST-kortisto. ST 53.16.01 Rakennusten salamasuojaus. Kustantaja Sähköinfo Oy. Julkaisija Sähkötieto ry.
- 4 Aro Martti, Orrberg Matti. 2016. ST-kortisto. ST 53.16. Rakennusten sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien ylijännitesuojaus. Kustantaja Sähköinfo Oy. Julkaisija Sähkötieto ry.
- 5 Valtioneuvoston asetus räjähteiden valmistuksen, käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista. 2015. Verkkodokumentti. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151101>> Luettu 11.8.2016.
- 6 SFS-käsikirja 600-1. Oppilaitoksille. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjänniteasennukset. 1. painos. 2012. Kustantaja Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
- 7 Väisälä T. 2013. Rakennusten salama- ja ylijännitesuojaus. Finn Electric Oy. Luentomateriaali 10/2013.
- 8 Grounding for earthing system. Verkkodokumentti. <<http://www.cmshosted.net/abre/theory-of-lightning/grounding-for-earthing-system>> Luettu 11.8.2016.
- 9 D1-2012. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 2012. 21. painos. Kustantaja Sähköinfo Oy. Julkaisija Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
- 10 Tukes opas. Räjähdetilojen ukkossuojaus. 2003. Verkkodokumentti. <http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_opaat/rajahdetilaopas.pdf> Luettu 11.8.2016.
- 11 Munukka Petri. Rakennusten Salama- ja ylijännitesuojaus. Suojausten ja kytkentöjen perusteet. OBO BETTERMANN Oy. Luentomateriaali. 9.9.2014.
- 12 SFS-EN 60079-14. Räjähdyksenvaaralliset tilat – Osa 14: Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinnat ja asentaminen. 2009. 3. painos. Kustantaja Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Johtimien materiaalit, poikkipinnat ja yhteensopivuudet

Standardien suosittelemat pyöröjohtimien poikkipinta-alat (mm²)				
Materiaali		Kupari	Alumiini	Teräs
Kattojohdin	SFS	25	35	50
	IEC	50 (28)	50	50
Alastulojohdin	SFS	16	25	50
	IEC	50 (28)	50	50
Maadoituselektrodi	SFS	25	-	50
	IEC	50	-	78

(Voidaan pienentää, mikäli mekaaninen lujuus ei ole olennaista. Tällöin tulee lyhentää kiinnitysväliä) [1, s.63.]

Lattajohtimen käyttö maadoituselektrodina		
Materiaali	Kuumasinkitty teräs FE	Ruostumaton teräs RST
Poikkipinta-ala (mm ²)	90	100
Vähimmäispaksuus (mm)	3	2

Lattajohtimia käytetään perustusmaadoituselektrodien raudoituksien liitoksiin. [2, s.57.]

Potentiaalintasausjohtimien poikkipinta-alat (mm²)			
Materiaali	Kupari	Alumiini	Teräs
a)	14	22	50
b)	5	8	16

a) Potentiaalintasauskiskojen väliset ja kiskon ja maadoituksen väliset johdotukset

b) Potentiaalintasauskiskon ja sisäisten metalliasennusten väliset johdotukset

[2, s.63.]

Eri materiaalien yhteenliitettävyyys ulkoilmassa				
Materiaali	Kuumasinkitty teräs FT	Alumiini	Kupari	Ruostumaton teräs RST
Kuumasinkitty teräs FT	+	/	-	/
Alumiini	/	+	-	/
Kupari	-	-	+	/
Ruostumaton teräs RST	/	/	/	+

+ = suositellaan

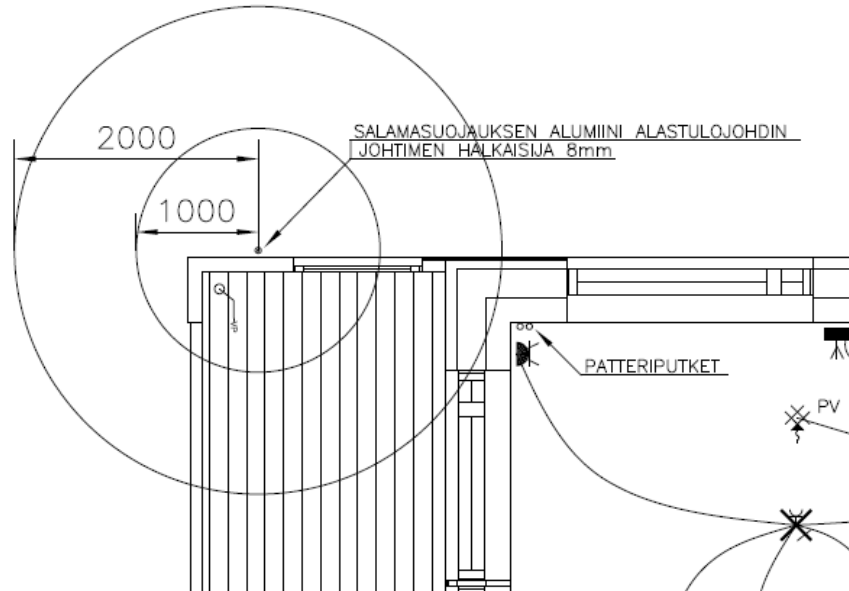
/ = mahdollinen

- = ei sallita

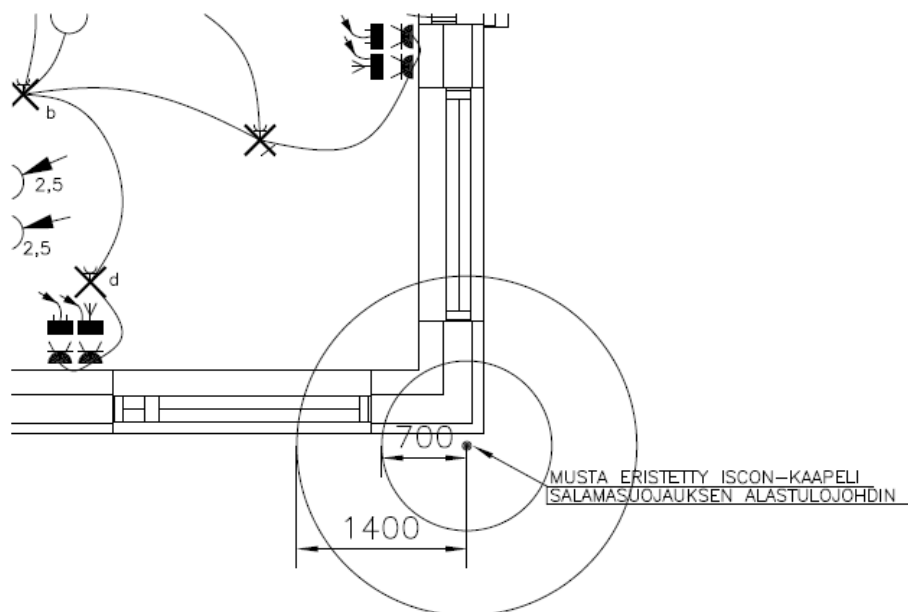
[2, s.57.]

Sisäisen ja ulkoisen järjestelmän suojaetäisyydet

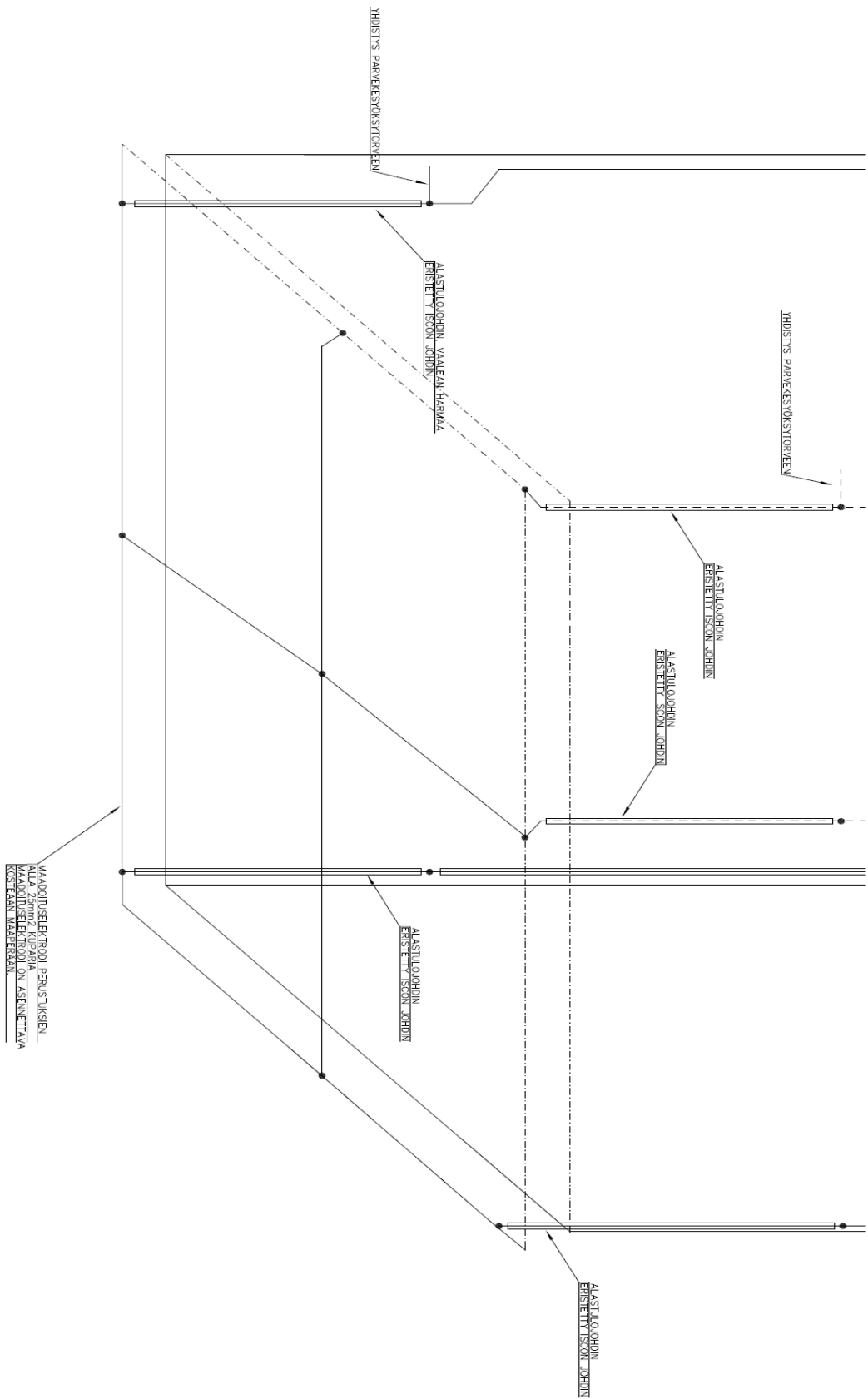
Eristämättömällä johtimella suojaetäisyydeksi ilmassa riittää käytännössä 1m, betonissa 2m.



Eristetyllä johtimella saadaan pienennettyä suojaetäisyyttä ilmassa 0,7m, betonissa 1,4m. Joissain tilanteissa on käytettävä eristettyä johdinta, jos ei muuten saada suojaetäisyyksiä toteutettua.



Maadoituselektrodin periaatekuva



Salamasuojatun kerrostalon maadoituskaavio

