



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

TEEMU JUSSILA

Salama- ja ylijännitesuojaus

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA
2022

Tekijä(t) Jussila, Teemu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2022
	Sivumäärä 46	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Salama- ja ylijännitesuojaus		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka		
Tiivistelmä <p>Työn tarkoituksena oli antaa suunnittelijalle tarvittavat aineistot salama- ja ylijännitesuojauksien asennuksiin ja suunnitteluun. Salama- ja ylijännitesuojaus on yleistynyt, koska yritykset käyttävät nykyään kallista elektroniikkaa. Näitä suojalaitteita käytetään omaisuusvahinkojen vähentämiseen. Työssä käytiin läpi ulkoisen ja maanalaisen salamasuojauksen asennus- ja suunnitteluohjeet. Työssä käsiteltiin lyhyesti myös yleisempiä ylijännitesuojauksen suojalaitteita. Kaikki käsitellyt ohjeet ovat standardien mukaiset. Työssä käytettiin SFS 609-käsikirjaa ja SFS 6000 standardisarjan mukaisia vaatimuksia.</p> <p>Opinnäytetyön loppuvaiheessa käytiin riskiarvioinnin perusteita läpi, joiden tarkoituksena oli saada suunnittelijalle käsitys, miten riskiarviointi suoritetaan kohteelle. Tämän riskiarvioinnin avulla suunnittelija voi arvioida, tarvitseeko kohteelle asentaa salama- tai ylijännitesuojausta. Työn lopussa on kaavoja, joiden avulla voidaan luoda salama- ja ylijännitesuojaukselle laskenta työkalu. Näillä laskuilla saadaan helposti laskettua kohteelle tarvittavat salama- ja ylijännitesuojaukset.</p>		
Avainsanat salamasuojaus, maadoitus, ylijännitesuojaus, riskiarviointi, sähkötekniikka		

Author(s) Jussila, Teemu	Type of Publication Bachelor's thesis	Date December 2022
	Number of pages 46	Language of publication: Finnish
Title of publication Lightning and surge protection		
Degree programme Bachelor's Degree in Electrical and Automation Engineering		
Abstract <p>The purpose of the work was to provide the designer with the necessary materials for the installation and design of lightning and overvoltage protections. Lightning and surge protection has become more common because companies use expensive electronics these days. These protective devices are used to reduce property damage. The installation and design instructions for external and underground lightning protection were reviewed in the work. The work also briefly discussed more common protective devices for overvoltage protection. All the instructions are in accordance with the standards. The work used the SFS 609 manual and the requirements according to the SFS 6000 standard series.</p> <p>In the final phase of the thesis, the basics of risk assessment were reviewed, the purpose of which was to give the designer an idea of how to perform the risk assessment for the site. With the help of this risk assessment, the designer can assess whether lightning or surge protection needs to be installed on the site. At the end of the work there are formulas that can be used to create a calculation tool for lightning and overvoltage protection. With these calculations, you can easily calculate the lightning and surge protection required for the site.</p>		
Keywords lightning protection, grounding, surge protection, risk assessment, electrical engineering		

SISÄLLYS

1 LYHENTEET	6
JOHDANTO	7
2 SALAMASUOJAUKSEN STANDARDIJÄRJESTELMÄ.....	8
3 SALAMA.....	9
3.1.1 Salaman synty	10
3.1.2 Salaman isku.....	11
4 YLIJÄNNITTEET	12
4.1 Galvaaninen kytkeytyminen.....	13
4.2 Induktiivinen kytkeytyminen	13
4.3 Kapasitiivinen kytkeytyminen	14
5 YLIJÄNNITESUOJA	14
5.1 Ylijännitesuoja komponentit	15
5.1.1 Varistori	16
5.1.2 Kaasupurkausputki	17
5.1.3 Kipinäväli	18
5.1.4 Purkausdiodi	19
5.2 Ylijännitesuojien asentaminen erityyppisiin verkkoihin.....	19
6 MAADOITUS.....	21
6.1 Potentiaalitasaus.....	21
6.2 Maadoituselektrodit.....	22
6.2.1 Maadoitustyyppit A ja B.....	24
6.2.2 Perustusmaadoitus	25
6.2.3 Perustusmaadoituksen raudoituksen kiinnitys.....	26
7 SALAMASUOJAUKSEN SUUNNITTELU	28
7.1.1 Verkkomenetelmä.....	30
7.1.2 Suojauskulmamenetelmä	30
7.1.3 Pallosuojausmenetelmä.....	31
8 SALAMASUOJAUS	32
8.1 Salamanvangitsija	32
8.1.1 Sieppaustangot.....	32
8.1.2 Antennimastot.....	33
8.2 Alastulojohdin.....	33
8.3 Salaman sähkömagneettinen pulssi suojaus.....	35
9 RISKIARVIOINTI.....	37
9.1 Salamasuojausluokka	38

9.2 Salamasuojauksen tarpeen laskeminen	39
9.2.1 Salamaiskujen lukumäärän arviointi.....	41
9.3 Salamasuojauksen kannattavuus	44
9.4 Riskiarvioinnin epävarmuus.....	45
10 YHTEENVETO	45
LÄHTEET	

1 LYHENTEET

EMC	Electromagnetic compatibility Sähkömagneettinen Yhteensopivuus
ESD	Electrostatic Discharge Sähköstaattinen Purkaus
ESP	Electrical System Protection Sähköjärjestelmän Suojaus
IEC	International Electrotechnical Commission Kansainvälinen Sähköalan Standardointiorganisaatio
LEMP	Lightning Electromagnetic Pulse Salaman Sähkömagneettinen Pulssi
LPL	Lightning Protection Level Salamasuojaustaso
LPS	Lightning Protection System Salamasuojausjärjestelmä
LPZ	Lightning Protection Zone Salamasuojausvyöhyke
SEMP	Switching Electromagnetic Pulse Kytkenähetken Sähkömagneettinen Pulssi
SFS	Suomen Standardisoimisliitto ry

JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Rejlers Oy, joka tarjoaa insinööripalveluja teollisuuden, energian, rakentamisen ja infran asiakaskunnille. Tarkoituksena on toimeksiantajan kanssa tehdä riskiarvioinnin laskentatyökalu tämän opinnäytetyön pohjalta, käyttäen Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmaa. Laskentatyökalua ei julkaista tässä opinnäytetyössä.

Suomessa havaitaan keskimäärin noin 130 000 maasalamaa vuodessa. Maasalamalla tarkoitetaan joko ilmasta alaspäin purkautuvia salamoita tai maasta ylöspäin purkautuvia salamoita. Pilvisalamalla tarkoitetaan salamaa mikä purkautuu taivaalla koskematta maahan. Suomessa pilvisalamoita on enemmän kuin maasalamoita. Ilmatieteenlaitoksen mukaan suomessa esiintyvistä salamoista 2/3 on pilvisalamoita. (Yle, 2022; Ilmatieteenlaitos, 2022.)

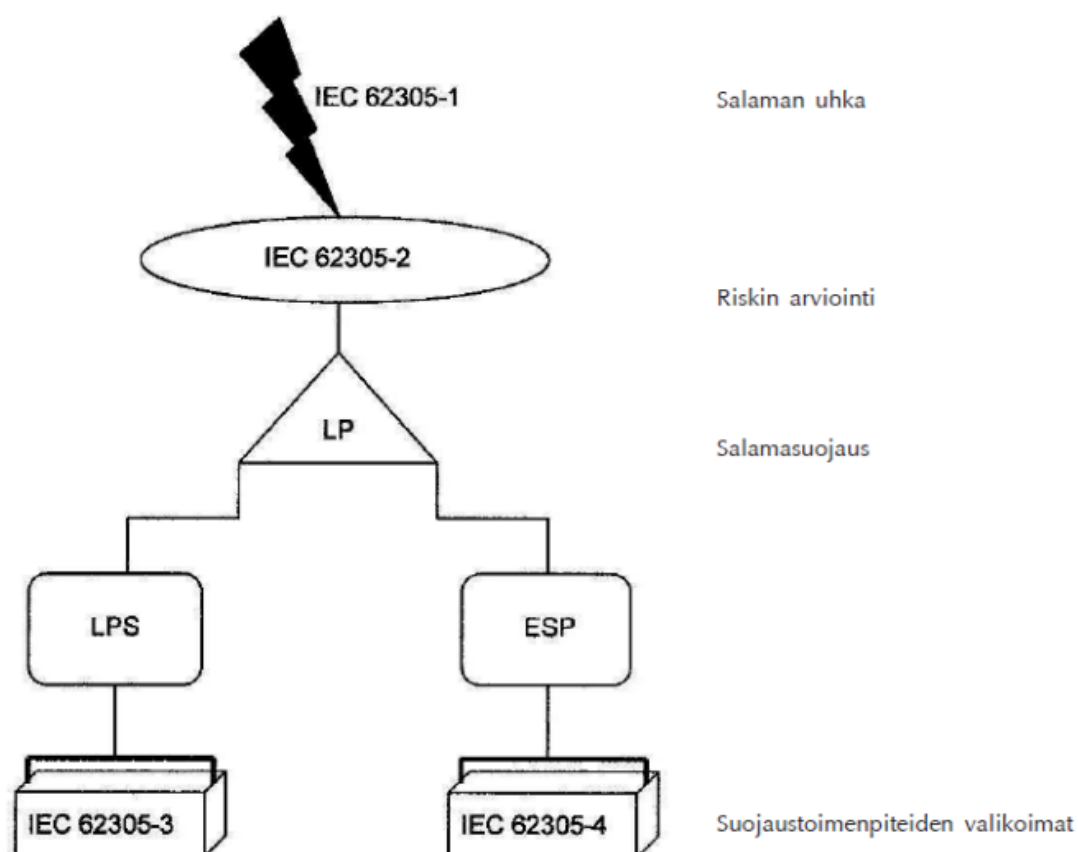
Salamasuojauksien tarve on viime vuosina lisääntynyt. Nykyään käytetään paljon enemmän herkkiä sähkö- ja elektroniikkalaitteita kotitalouksissa ja yrityksissä. Pois lukematta henkilövahinkoja. Erityisesti laitteet, jotka ovat liitetty tele- ja sähköverkkoon ovat herkkiä ylijännitevaurioille.

Opinnäytetyön alussa kerrotaan salamasuojauksen standardijärjestelmästä. Nämä standardit olisi hyvä olla suunnittelijalla käytössä, kun suunnitellaan kohteelle salamasuojausjärjestelmää. Kappaleessa on kerrottu lyhyesti mistä standardisarjan osasta löytyy mitäkin tietoa. Standardien jälkeen kerrotaan salaman synnystä, iskusta ja aiheuttamista vahingoista. Näiden jälkeen siirrytään ylijännitesuojauksen ohjeisiin, ja ylijännitesuojalaitteisiin.

Kuudes luku käsittelee salamasuojan maadoituksen ja potentiaalintasauksen vaatimuksia. Maadoituksen ja potentiaalintasauksen jälkeen kerrotaan salamasuojauksen suunnittelusta ja niiden vaatimuksista. Opinnäytetyön viimeisessä luvussa kerrotaan riskianalyysien vaatimuksista, ja riskianalyysin laskenta kaavoista. Huomioitava on, että laskukaavat ovat suuntaa antavia.

2 SALAMASUOJAUKSEN STANDARDIJÄRJESTELMÄ

Standardisarja IEC 62305 on useasta julkaistusta standardista täydennetty esitys, ja tämä standardisarja korvaa lähtökohtastandardit. Samaan aikaan kun IEC 62305 standardisarja hyväksyttiin, eurooppalainen standardisarja EN 62305 hyväksyttiin rinnakkaisäänestyksessä. IEC 62305 on neliosainen standardisarja. Standardisarjan ensimmäisessä osassa IEC 62305–1 kuvataan salamasuojauksen yleisiä periaatteita. Toisessa osassa IEC 62305–2 kuvataan riskianalyysin laskentamenetelmien kokonaisuutta ja kannattavuutta. Kolmas osa 62305–3 sisältää vaatimuksia suojaamiseksi rakennusten rakenteellisilta vaurioilta, sekä vaatimuksia ihmisten ja eläinten suojaamiseksi askel- ja kosketusjännitteiltä. Neljäs osa IEC 62305–4 sisältää ohjeita ja tietoa elektronisten- ja sähköjärjestelmien LEMP-suojauksen suunnittelulle, tarkastukselle, asennukselle, testaukselle ja ylläpidolle. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 40–41.)

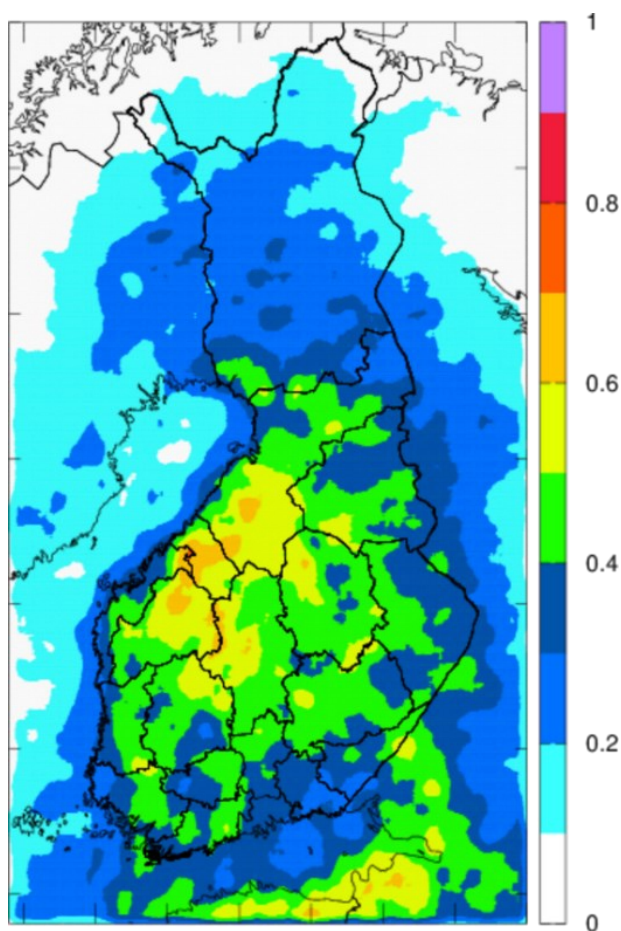


Kuva 1. Standardisarjan IEC 62305 sisällön lohkokaavio. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 40.)

3 SALAMA

Salaman sähkövirta vaihtelee 1–200 kA välillä, ja salaman ytimen lämpötila vaihtelee 20 000–30 000 °C välillä, samalla salaman jännite voi olla jopa sata miljoonaa voltia. Salamassa on yksi tai useampi osaisku, on mahdollista, että osaiskun jäljessä on jatkuvaa virtaa. Osaiskun aikana voi esiintyä heikompia lyhyitä purkauksia. Salaman kesto vaihtelee sadasta mikrosekunnista yli sekuntiin. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 21.)

Salamavirta ei ole riippuvainen iskukohteen impedanssista. Salaman iskukohteeseen muodostuva jännite on iskukohdan ja salamavirran impedanssin tulo. Salamassa on paljon energiaa, yhdellä salamalla voitaisiin lämmittää omakotitaloa jopa viikkoja. Salamassa on peräti 150 kWh energiaa, mutta salamoita on todella vaikea siepata, koska niitä ei voida ennakoida mihin ne iskevät. (Ilmatieteenlaitos, 2022; SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 21.)

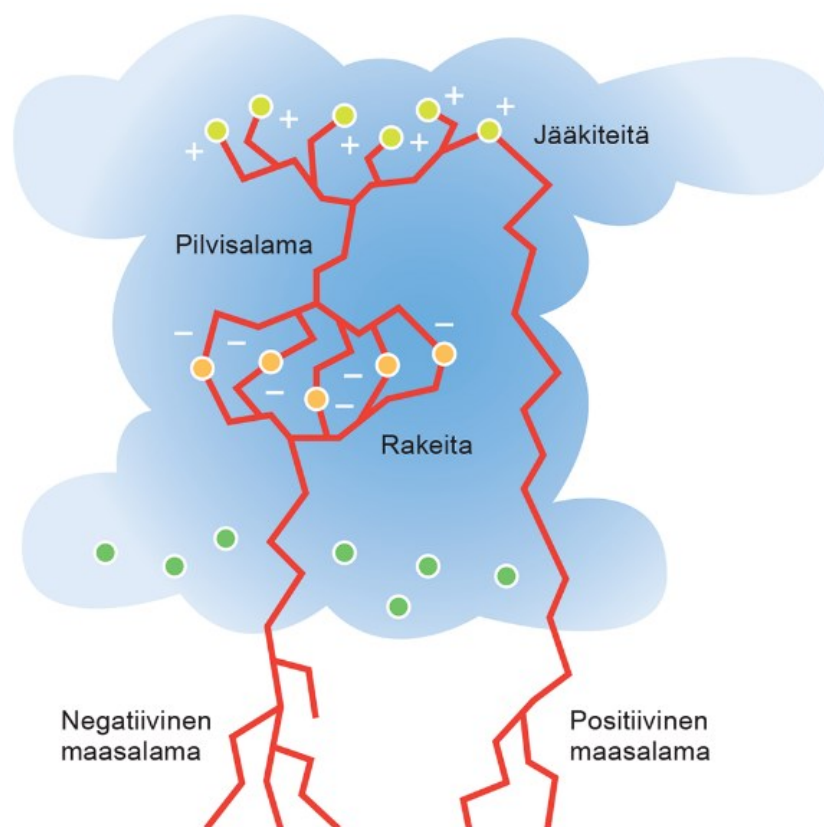


Kuva 2. Keskimääräinen vuotuinen maasalamiheys 1998–2018. Yksikkö maasalamoita neliökilometrille vuodessa. (Ilmatieteenlaitos, 2022.)

Suomessa 1960–2007 aikavälillä salamatiheys on ollut keskimäärin 39 maasalamaa/100 km² vuodessa. Tässä mittauksessa on myös otettu huomioon havaintotehokkuuskorjaus. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 22.)

3.1.1 Salaman synty

Ukkospilvi on edellytys, että syntyy todellinen salama. Ukkospilvi syntyy lämpötilaeroista, ja kun saavutetaan suuria lämpötilaeroja, syntyy lumirakeita ja kiteitä. Pilvää nostattava nousuvirtaus liikuttaa jääkiteitä ylöspäin, joista syntyy törmäyksiä kiteiden ja rakeiden välillä. Törmäyksissä lumirakeet varautuvat negatiivisesti ja jääkiteet varautuvat positiivisesti. Lumirakeet ovat raskaampia kuin lumikiteet, joten ne painuvat pilven alapuolelle ja jäävät nousuvirran kannattelemiksi. Lumikiteet nousevat ukkospilven yläpuolelle ilmavirtojen avulla. (Ilmatieteenlaitos, 2022.)



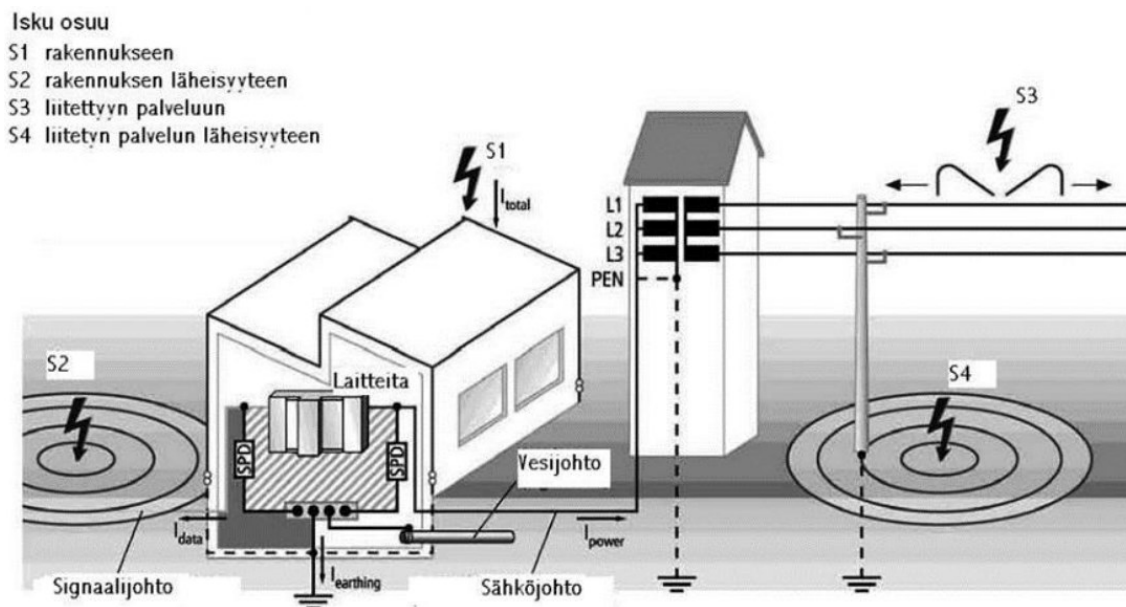
Kuva 3. Ukkospilven rakenne. (Ilmatieteenlaitos, 2022.)

3.1.2 Salaman isku

Salama voi iskeä maastoon, puihin, matkapuhelintukiasemiin, rakennuksiin tai pahimmassa tapauksessa ihmiseen. Taajamaan osuvat salamat eivät tavallisesti aiheuta isoja vahinkoja, koska televerkoissa ja sähköverkoissa on hyvät potentiaalitasaukset. Maa-seudulla salama voi aiheuttaa laajalla alueella maaperään suuren maapotentiaalinnousun. Esimerkiksi jos tällä alueella olisi metallijohtoja, salamavirta ja maapotentiaali hakeutuvat niihin, ja etenevät koko verkostoon. (Annanpalo ym., 2012, s. 29.)

Salaman isku asuinrakennukseen tai muuhun kohteeseen voi aiheuttaa merkittäviä tuhoja, kuten tulipaloja, elektroniikan hajoamista ja laitteiden räjähtelyä. Salaman iskuilta ei voida välttyä, mutta niiltä voidaan suojautua. Yleisin suojausmenetelmä ylijännitteiltä ja salamavaurioilta, on käyttää rakennuksessa salama- ja ylijännitesuojausta. (Annanpalo ym., 2012, s. 29.)

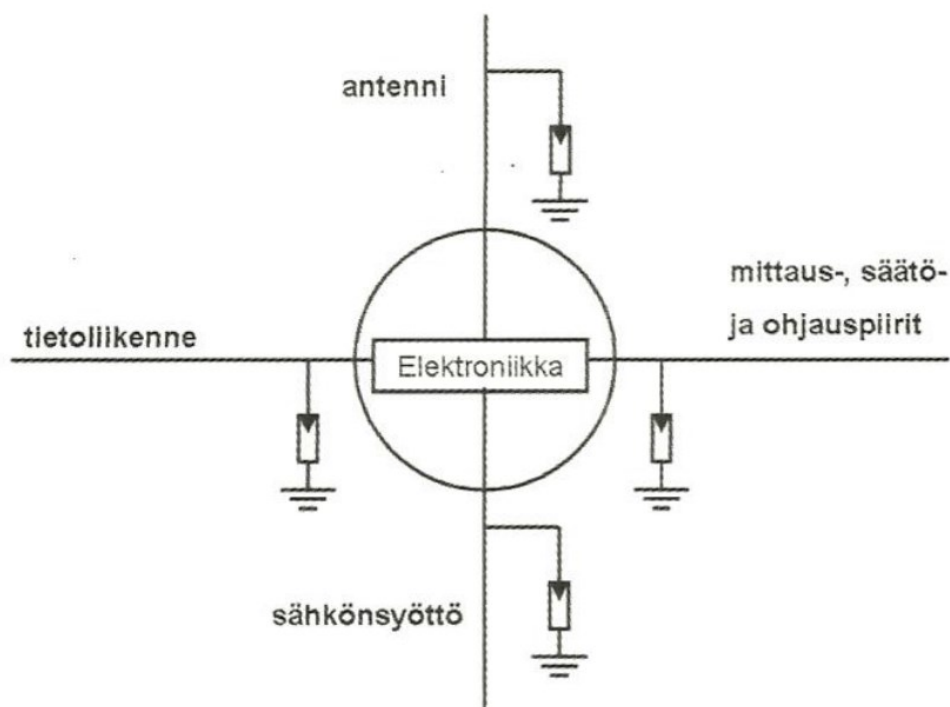
SFS 609 käsikirjan mukaan suojaamattomille elektronisille laitteille salama voi aiheuttaa vaurioita jopa 2–3 km etäisyydeltä iskukohteesta. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 25.)



Kuva 4. Virran jakautuminen salaman osuessa eri kohtiin. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 25.)

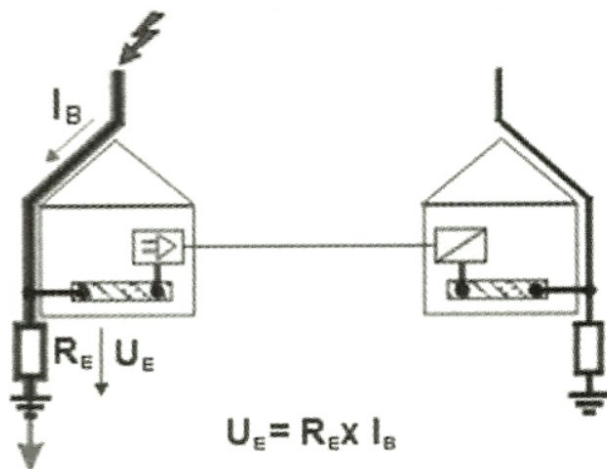
4 YLIJÄNNITTEET

Ylijännitteet jaetaan kahteen eri luokkaan, lyhytaikaisiin ylijännitteisiin ja pitkäaikaisiin ylijännitteisiin. Pitkäaikaisissa jännitetaso on matala, mutta kuitenkin ylittää sallitun jännitetoleranssin maksimiarvon. Lyhytaikaisissa eli transienteissa on äkillisen virran, jännitteen tai taajuuden muutos. Ylijännitteitä kutsutaan myös transienteiksi, koska ne kestävät vain sekunnin murto-osan ja voivat nousta yli 90 megavolttiin. Ylijännitteet kytkeytyvät sähkölaitteisiin galvaanisesti, kapasitiivisesti tai induktiivisesti. Ylijännitteitä kytkeytyy järjestelmään myös mittaus-, tieto-, ja antenniliikenneliitännöjen kautta. (Annanpalo ym., 2012, s. 103, 106.)



Kuva 5. Tehokas laitteiston suojaus. (Annanpalo ym., 2012, s. 103.)

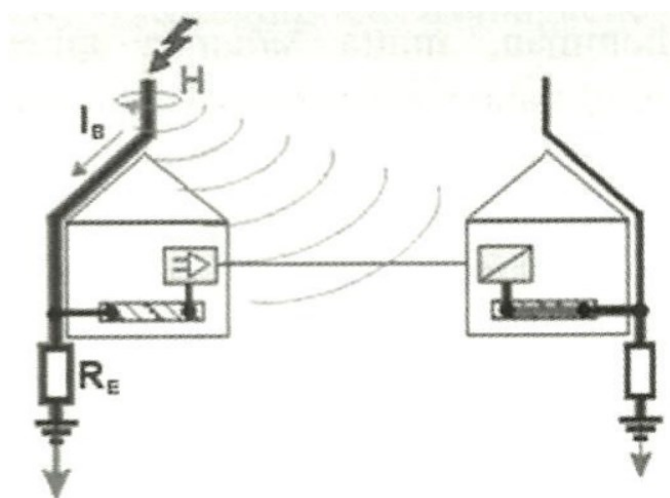
4.1 Galvaaninen kytkeytyminen



Kuva 6. Galvaaninen kytkeytyminen. (Annanpalo ym., 2012, s. 106.)

Galvaanisella kytkeytymisellä tarkoitetaan suoraa virtapiiriin kytkeytyviä ylijännitteitä. Galvaaniset ylijännitteet syntyvät, kun salama iskee joko rakennukseen tai ilmajohtoon. Salamasuojajärjestelmään iskenyt salama nostaa maapotentiaalin vaihejännitettä suuremmaksi, ja siitä syntyy takaperoinen ylijännite. (Annanpalo ym., 2012, s. 106.)

4.2 Induktiivinen kytkeytyminen

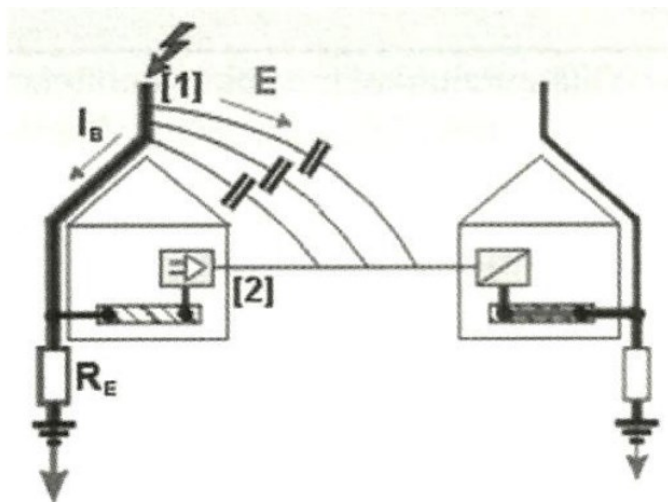


Kuva 7. Induktiivinen kytkeytyminen. (Annanpalo ym., 2012, s. 106.)

Induktiivinen kytkeytyminen aiheuttaa voimakkaan magneettikentän johtimen ympärille. Induktiivisessa kytkeytymisessä verkkoon tulee paljon indusoituneita transientti

jännitteitä. Nämä transientti jännitteet ovat haitallisia laitteille, jotka toimivat pienillä nimellisjännitteillä. (Annanpalo ym., 2012, s. 106.)

4.3 Kapasitiivinen kytkeytyminen

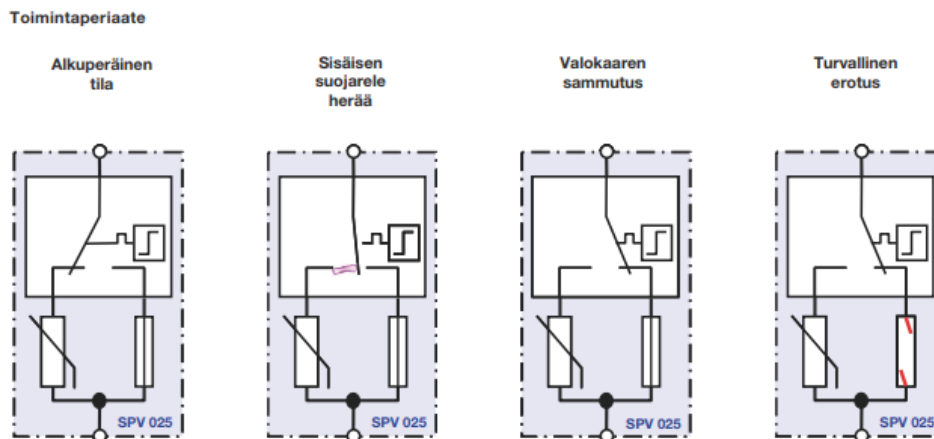


Kuva 8. Ylijännitteen kapasitiivinen kytkeytyminen. (Annanpalo ym., 2012, s. 107.)

Salaman iskussa ylijännitettä voi kytkeytyä kapasitiivisesti johtimien välisten kapasitanssien kautta. Tämä ilmiö tapahtuu, kun sähköjohto ja salamanvangitsija ovat liian lähellä toisiaan ja näiden kahden välinen potentiaaliero on liian suuri. (Annanpalo ym., 2012, s. 107.)

5 YLIJÄNNITESUOJA

Ylijännitesuoja on laite, joka suojaa sähköjärjestelmässä olevia laitteita. Jos ylijännitesuoja havaitsee järjestelmässä ylijännitettä sen koskettimet sulkeutuvat ja maadoittavat jokaisen vaiheen, jotta välttyttäisiin omaisuus- ja henkilövahingoilta. (Hager, 2022.)



Kuva 9. Ideaalisen ylijännitesuojan toimintaperiaate. (Hager, 2022.)

Ylijännitesuoja on nimensä mukainen laite, se suojaa järjestelmää ylijännitteiltä, eikä salamoilta. Ylijännitesuojat suojaavat myös tele- ja sähköjohtoja salaman iskiessä rakennukseen tai sen lähetyville. Suomen lainsäädännössä ylijännitesuojausta vaaditaan rakennuksiin, jotka ovat määritelty räjähdysvaarallisiksi tiloiksi. Tällaisia kohteita ovat yli 500 kg räjähdystarvikkeita sisältävät varastot. Myös rakennukset missä on yli 50 kg ympäristölle vaaraa aiheuttavia räjähdystarvikkeita on ylijännitesuojattava. Ylijännitesuojausta vaaditaan sähkökeskukseen, mikäli rakennuksen sähköliittymä on yhteydessä ilmalinjaan. Suunnitteluvaiheessa olisi syytä valita suojat hyvin, jotta suoja ei tarvitsisi myöhemmin vaihtaa. (Annanpalo ym., 2012, s. 51–52, 111.)

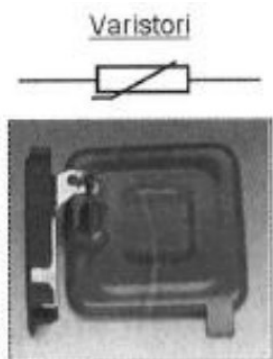


Kuva 10. Suojien yleispiirrosmerkki. (Annanpalo ym., 2012, s. 113.)

5.1 Ylijännitesuoja komponentit

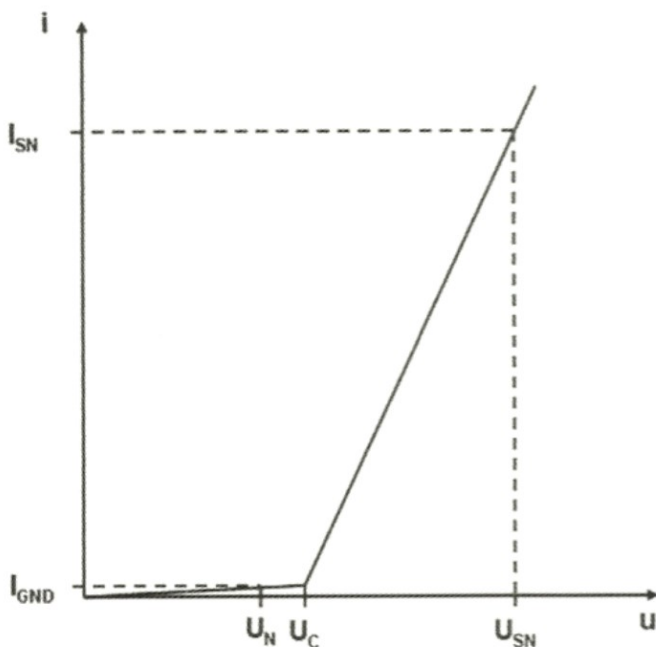
Eniten käytettyjä komponentteja ovat varistorit, kipinävälit, kaasupurkausputket ja purkausdioidit. Nämä komponentit toimivat kaksisuuntaisesti, eli näiden asennuksessa polariteetilla ei ole väliä. Näitä laitteita voidaan käyttää joko DC tai AC-järjestelmissä. Kuitenkaan ideaalista ylijännitesuoja komponenttia ei ole olemassa, mikä toimisi kaikissa olosuhteissa optimaalisesti. Kaikissa komponenteissa on hyvät ja huonot puolet, ja näitä suojakomponentteja yhdistelemällä saadaan aikaiseksi turvallinen ja hyvä ylijännitesuoja. (Annanpalo ym., 2012, s. 112.)

5.1.1 Varistori



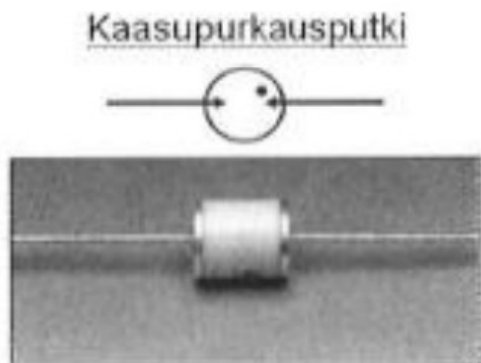
Kuva 11. Varistorin piirrosmerkki ja varistori. (Annanpalo ym., 2012, s. 113.)

Varistori on ylijännitesuojauksessa yksi neljästä eniten käytetty komponentti. Varistorin vastus muuttuu jännitteen funktiona. Jännitteen ja virran kasvaessa varistorin vastus kasvaa jyrkästi. Varistoreilla saadaan nopea jännitteen rajoitus sen nopean havah-tumisajan ansiosta. 50 kA varistorisuoja- jaks soveltuvat standardien mukaisesti tyy- pin I salamasuojaksi, aikaisemmin näitä ei käytetty kuin pääasiassa tyy- pin II toteutuksissa. (Annanpalo ym., 2012, s. 116–117.)



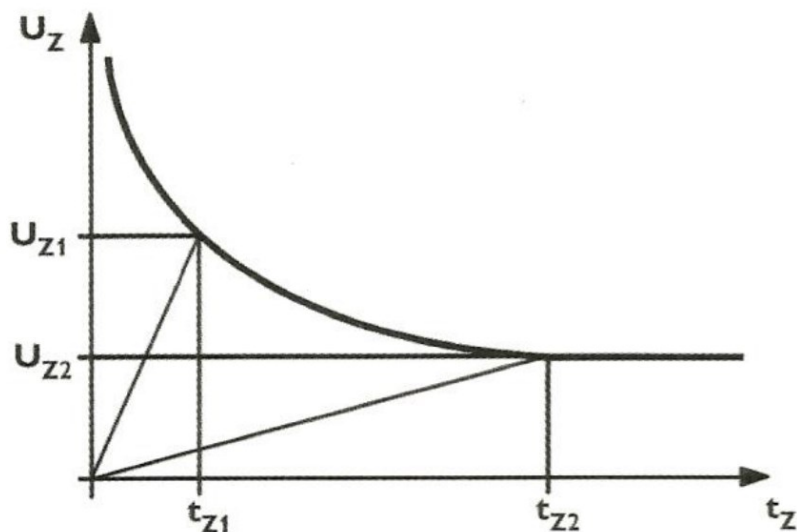
Kuva 12. Varistorin ominaiskäyrä. (Annanpalo ym., 2012, s. 118.)

5.1.2 Kaasupurkausputki



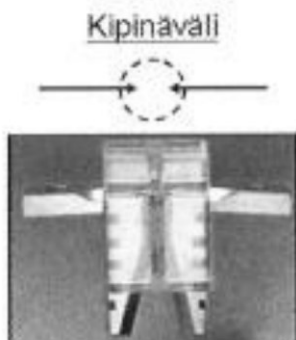
Kuva 13. Kaasupurkausputken piirrosmerkki ja kaasupurkausputki. (Annanpalo ym., 2012, s. 113.)

GDT eli kaasupurkausputki (Gas Discharge Tube tai Gas Filled Tube), on jalokaasulla täytetty ylijännitesuoja. Kaasupurkausputkea pidetään karkeana suojana, koska kaasupurkausputket ovat hitaita. Ylijännitepulssit pääsevät nousemaan nimellijännitteeseen verrattuna moninkertaiseksi, ennen kuin kaasupurkausputki ehtii reagoida. (Annanpalo ym., 2012, s. 119.)



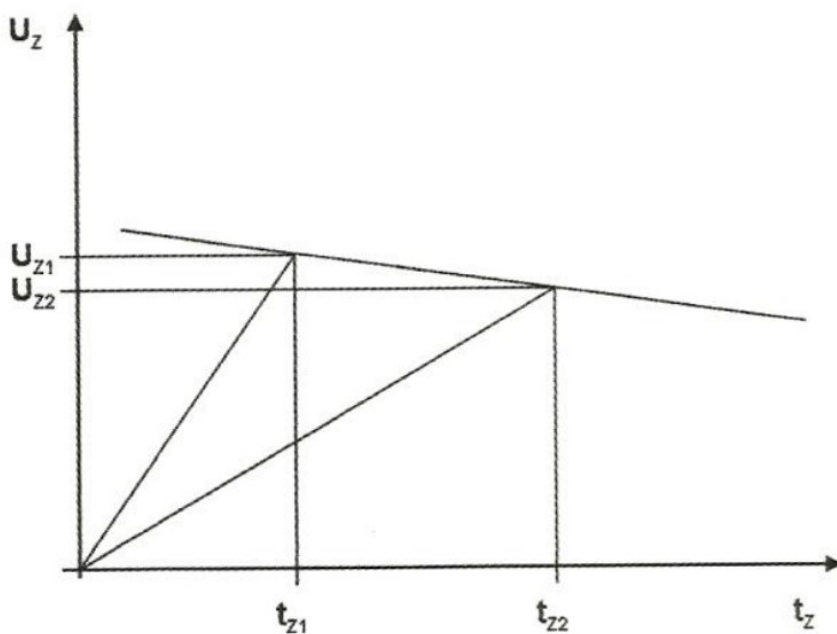
Kuva 14. Kaasupurkausputken ominaiskäyrä. (Annanpalo ym., 2012, s. 120.)

5.1.3 Kipinäväli



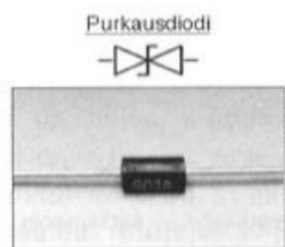
Kuva 15. Kipinävälin piirrosmerkki ja kipinäväli. (Annanpalo ym., 2012, s. 113.)

Sähköverkko puolella kipinävälit ovat yleisempiä ylijännitesuojia. Kun nimellisjännite nousee tarpeeksi korkealle, kipinävälin kärkiin syttyy valokaari, josta se purkaa ylijännitteen maadoitukseen. Kipinävälit ovat kuitenkin hitaita reagoimaan ylijännitteisiin. Valokaari ei syty kärkien välissä heti, joten ylijännite ehtii nousta korkealle, joka vaikuttaa sähköverkossa oleviin sähkölaitteisiin. Kipinäväliä kuitenkin voidaan käyttää laitteilla, joilla on suuri syöksyjännitekestoisuus. Kipinäväli voi olla avoin tai suljettu. Jos suojakomponentti on avoin, sen lähetyvillä ei saa olla paljaita johtimia, mutta näiden avoimien kipinävälien käyttö on vähentynyt. (Annanpalo ym., 2012, s. 114.)



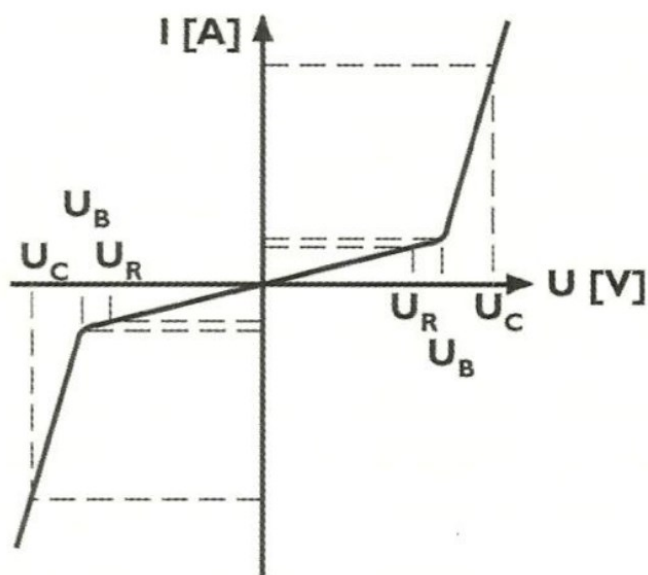
Kuva 16. Kipinävälin ominaiskäyrä. (Annanpalo ym., 2012, s. 115.)

5.1.4 Purkausdiodi



Kuva 17. Purkausdiodin piirrosmerkki ja purkausdiodi. (Annanpalo ym., 2012, s. 113.)

Purkausdiodi on tarkoitettu herkkien elektronisten piirien suojaukseen. Purkausdiodia kutsutaan myös hienosuojaksi. Purkausdiodi aiheuttaa piireissä vaimennusta, joka johtuu purkausdiodin kapasitanssista. Tämän takia kyseistä suojakomponenttia ei voida käyttää suuritaajuisessa tiedonsiirrossa. (Annanpalo ym., 2012, s. 121.)



Kuva 18. Purkausdiodin ominaiskäyrä. (Annanpalo ym., 2012, s. 120.)

5.2 Ylijännitesuojien asentaminen erityyppisiin verkkoihin

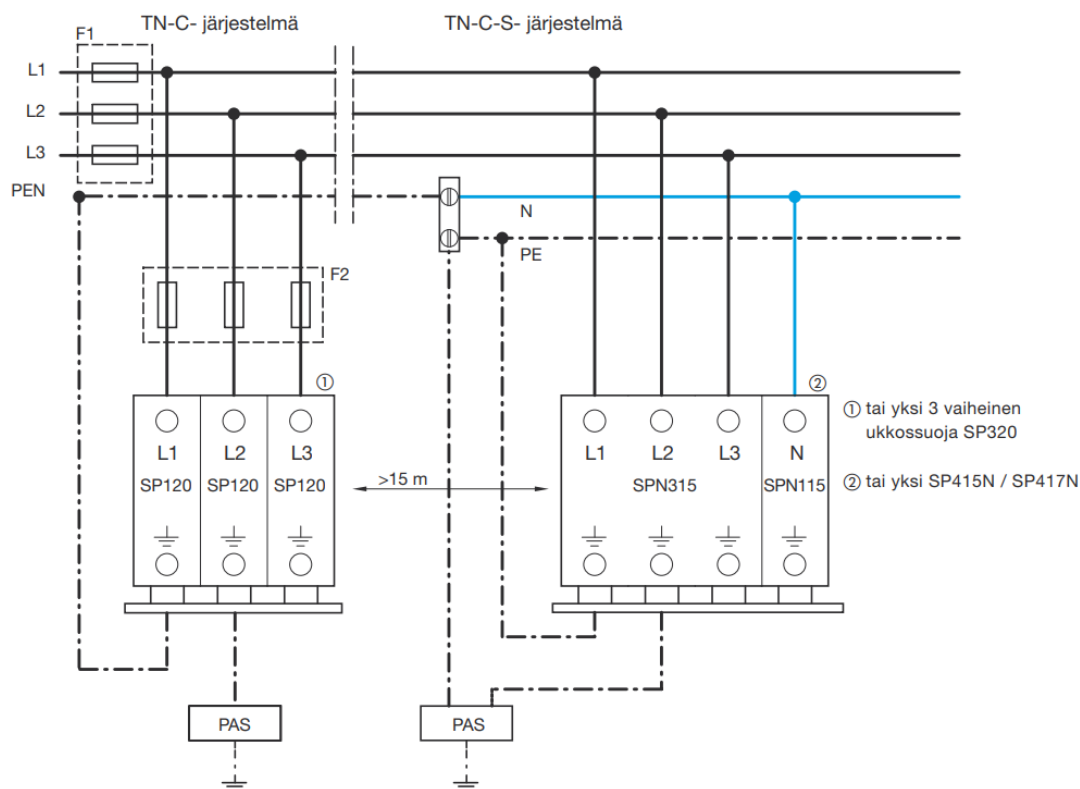
Euroopassa käytettäviä sähkönsyöttöjärjestelmiä. (Annanpalo ym., 2012, s. 122.)

- TN-C-järjestelmä
- TN-S-järjestelmä
- IT-järjestelmä
- TT-järjestelmä

Jännitesyötön maadoitus saadaan selville lyhenteiden ensimmäisestä kirjaimesta. Jos kyseinen järjestelmä on maadoitettu muuntajan tähtipisteessä, tulee lyhenteeseen ensimmäiseksi kirjaimeksi T. Jos järjestelmää ei ole maadoitettu muuntajan tähtipisteessä, on ensimmäinen kirjain I. Lyhenteen toinen kirjain tarkoittaa järjestelmässä muiden osien maadoitusta. Jos järjestelmässä muut osat ovat maadoitettu joko PE tai PEN-johtimen avulla syöttömuuntajaan, tulee lyhenteeseen toiseksi kirjaimeksi N. T tarkoittaa, että osat ovat maadoitettu paikallisesti, eikä niitä ole maadoitettu suojajoh- timen avulla muuntajan maadoitukseen. (Annanpalo ym., 2012, s. 123.)

Nollajohdin ja PE kulkevat TN-C järjestelmässä yhdistettynä PEN-johtimenä, siksi TN-C järjestelmä on huono EMC-suojauksen kannalta. TN-S järjestelmä on parempi vaihtoehto salamasuojaukseen koska siinä on PE- ja N-johdin erotettu toisistaan. TT järjestelmä ei ole suomessa käytössä, mutta sitä käytetään monissa muissa Euroopan maissa. IT järjestelmä on ns. kelluva järjestelmä, eli tässä järjestelmässä ei ole nol- lajohdinta. Erityiset kohteet IT järjestelmälle suomessa ovat tuulivoimalat, laivat ja teollisuuskäytöt. (Annanpalo ym., 2012, s. 123, 125, 127.)

**Asentaminen erityyppisiin verkkoihin
TN-C ja TN-C-S -järjestelmät erillissuojilla**



Kuva 19. TN-C ja TN-S järjestelmien asennus. (Hager, 2022.)

6 MAADOITUS

Maadoitus on osa sähkölaitteiden häiriösuojausta. Maadoituksen tarkoitus on saada vioittuneen laitteen vikavirta ohjattua johtimella maahan. Jos laite vioittuu ja sitä ei ole oikein maadoitettu, on laite sen jälkeen hengenvaarallinen. Kyseisen laitteen runko voi olla jännitteinen, josta voi saada sähköiskun. Salamasuojauksessa maadoituksella on kolme tärkeää tehtävää, jotka ovat salamavirran johtaminen maahan, alastulojohtimien välinen potentiaalintasaus ja potentiaalinojaus seinän johtavien osien läheisyydessä. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 73; Tiainen ym., 2014, s. 16–17.)

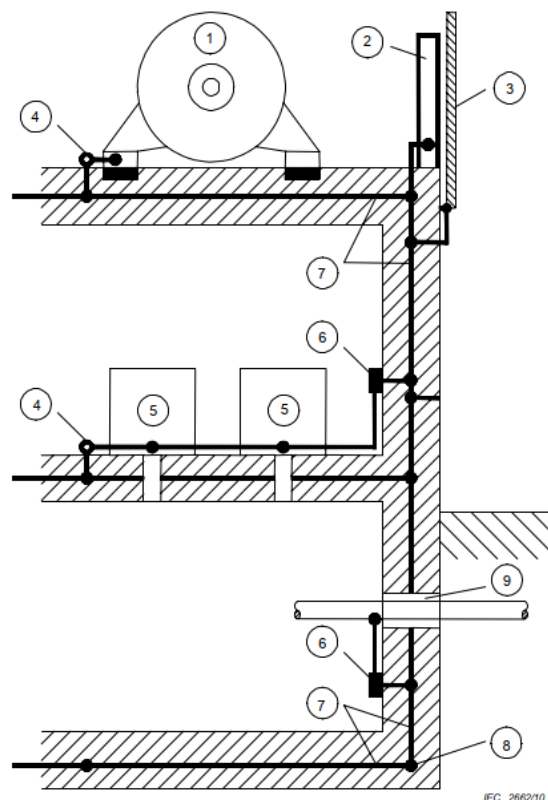
6.1 Potentiaalintasaus

Pääpotentiaalintasaus on tehtävä jokaiseen rakennukseen. Potentiaalintasauksen tehtävänä on tasata järjestelmän jännite-eroja. Potentiaalintasaus on tärkeää, jotta kaikki sähkölaitteet ja sähköjärjestelmät pysyvät turvallisina. Potentiaalintasaus varmistaa kyseisten laitteiden toiminnan. Pieneen aaltoimpedanssiin ja potentiaalintasaukseen kiinnitetään enemmän huomiota, joiden tarkoitus on hajottaa salamavirta maahan. Tällä saadaan vaaralliset jännitteet itse rakennuksesta ja sen läheisyydestä minimoitua. (Annanpalo ym., 2012, s. 71; Tiainen ym., 2014, s. 37.)

Potentiaalintasausjohtimet ovat jännitteettömiä ja virrattomia normaalissa käytössä. Huomioitavaa on, jos syntyy eristysvikaa jännitteisten osien tai muiden johtavien osien välillä, voi potentiaalintasausjohtimessa kulkea virtaa. Potentiaalintasaus on keskeinen osa sähkölaitteiston suojausta, ja se vaaditaan kaikissa rakennuksissa. Potentiaalintasaus voi olla maadoittamaton tai maadoitettu. Jos potentiaalintasaus on maadoitettu, silloin potentiaalintasaus on osa maadoitusjärjestelmää. Maadoittamattomia potentiaalintasauksia käytetään esimerkiksi sähköisesti erotetuista laitteistoissa. (Tiainen ym., 2014, s. 21.)

Potentiaalintasaus jaetaan kolmeen eri lohkoon. (Tiainen ym., 2014, s. 21.)

- Pääpotentiaalintasaukseen
- Maadoittamattomaan potentiaalintasaukseen
- Lisäpotentiaalintasaukseen



Key

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1 electrical power equipment | 6 bonding bar |
| 2 steel girder | 7 steel reinforcement in concrete (with superimposed mesh conductors) |
| 3 metal covering of the facade | 8 foundation earth electrode |
| 4 bonding joint | 9 common inlet for different services |
| 5 electrical or electronic equipment | |

Kuva 20. Potentiaalitasaus.

1. Sähkölaite 2. Teräspalkki 3. Julkisivun metallipäällyste 4. Yhdistysliitin 5. Sähkö- tai elektroniikkalaite 6. Tasapotentiaalirikko 7. Betoniraudoitus lisätyn silmukkejohdotin 8. Perustusmaadoituselektrodi 9. Eri palvelujen yhteinen tulo rakennukseen. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 113; SFS-EN 62305-3, 2011, s. 70.)

6.2 Maadoituselektrodit

Salamasuojausjärjestelmissä maadoituselektrodin tarkoitus on johtaa maahan haitallisten ylijännitteiden aiheuttamat vaarat. Maadoituselektrodi on myös muistettava liittää rakennuksen potentiaalitasaukseen. Maadoituselektrodi voidaan asentaa rakennuksen perustuksiin tai kiertää perustuksien ympäri johtavalla ja korroosiota kestävällä materiaalilla. Suomessa yleisin maadoituselektrodi materiaali on kupari. (Annanpalo ym., 2012, s. 97; SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 75.)

Taulukko 1. Maadoituselektrodin vahvuustaulukko. (SFS 6000-5-54, 2022, s. 9.)

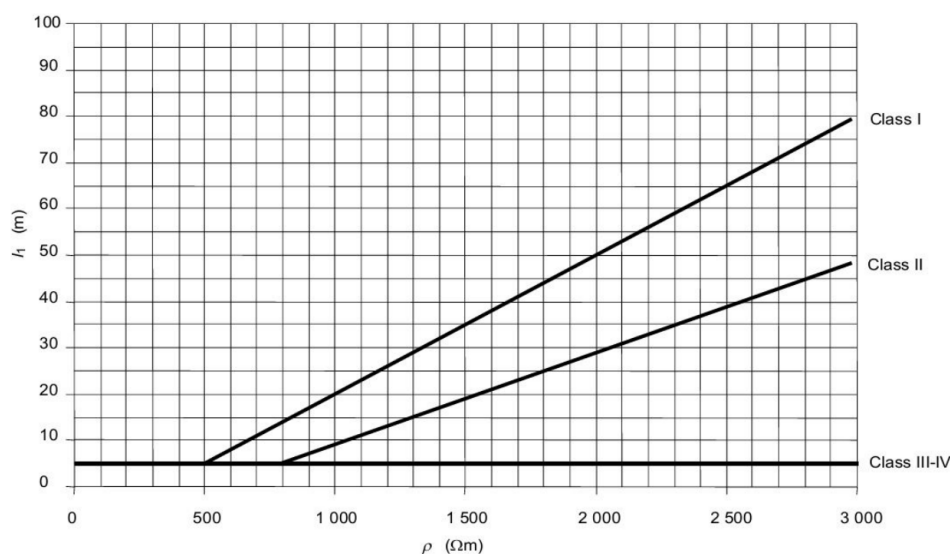
Materiaali	Poikkipinta-ala mm ²	Halkaisija \varnothing mm	Minimipaksuus mm ^a	Korroosiosuojauskerroksen paksuus μ m
Kupari	16		1,6	-
Kuumasinkitty teräs	90	10	3	45
Ruostumaton teräs	90	10	3	-
Betoniin upotettu teräs	90	10	3	. ^b
Kuparivaipalla varustettu teräs		15		2000
Sähköisesti kuparilla päällystetty teräs		14 (vaakatasossa 10)		250 (vaakaelektrodilla 70)

^a Nauhan tai levyn paksuus tai köyden yksittäisen langan halkaisija \varnothing

^b Betoniin upotetulla perustusmaadoituselektrodilla ei tarvita korroosiosuojausta

Rakennusta kiertävä maadoituselektrodi on oltava vähintään 16 mm² kuparia, mutta jos maadoituselektrodia käytetään myös salamasuojauksessa, elektrodin poikkipinta-ala on oltava suurempi, joka löytyy SFS-EN 62305-3 standardista. Jos maadoitusresistanssi on enintään 10 Ω , maadoituselektrodin pituudelle ei aseteta minimivaatimusta. Jos maadoitusresistanssi ylittää kyseisen resistanssin, käytetään sen jälkeen kuvaa 21. apuna maadoituselektrodin minimipituuteen. (SFS 6000-5-54, 2022, s. 9; SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 75.)

Rakennuksen ympäri kulkevan elektrodin on oltava vähintään 0,5 m syvyydessä ja noin 1 m etäisyydellä rakennuksen perustuksista. Asennuksissa on huomioitava kaikki liitoskohdat. Huonosti kiinnitetyt johtimet / raudoitukset voivat kipinöidä salaman iskiessä sähköjärjestelmään. (SFS-EN 62305-3, 2011, s. 26, 31.)



Kuva 21. Minimipituus maadoituselektrodille maanperän resistiivisyyden ja salamasuojausluokkien mukaan. (SFS-EN 62305-3, 2011, s. 25.)

Taulukko 2. Ylijännitteille maadoituselektrodin vahvuustaulukko. (SFS-EN 62305-3, 2011, s. 31.)

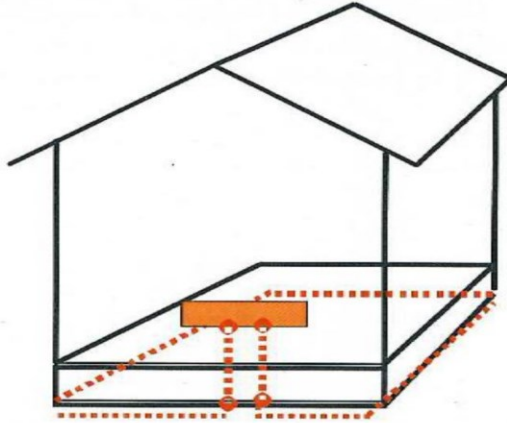
Table 7 – Material, configuration and minimum dimensions of earth electrodes^{a, e}

Material	Configuration	Dimensions		
		Earth rod diameter mm	Earth conductor mm ²	Earth plate mm
Copper Tin plated copper	Stranded		50	
	Solid round	15	50	
	Solid tape		50	
	Pipe	20		
	Solid plate			500 × 500
	Lattice plate ^c			600 × 600
Hot dipped galvanized steel	Solid round	14	78	
	Pipe	25		
	Solid tape		90	
	Solid plate			500 × 500
	Lattice plate ^c			600 × 600
	Profile	^d		
Bare steel ^b	Stranded		70	
	Solid round		78	
	Solid tape		75	
Copper coated steel	Solid round	14 ^f	50	
	Solid tape		90	
Stainless steel	Solid round	15 ^f	78	
	Solid tape		100	
<p>^a Mechanical and electrical characteristics as well as corrosion resistance properties shall meet the requirements of the future IEC 62561 series.</p> <p>^b Shall be embedded in concrete for a minimum depth of 50 mm.</p> <p>^c Lattice plate constructed with a minimum total length of the conductor of 4,8 m.</p> <p>^d Different profiles are permitted with a cross-section of 290 mm² and a minimum thickness of 3 mm, e.g. cross profile.</p> <p>^e In case of a Type B arrangement foundation earthing system, the earth electrode shall be correctly connected at least every 5 m with the reinforcement steel.</p> <p>^f In some countries the diameter may be reduced to 12,7 mm.</p>				

6.2.1 Maadoitustyyppit A ja B

Tyyppi A ja B ovat IEC määrittelemät maadoitustyyppit. Tyyppi A on rakennuksen ulkopuolisesta alastulojohtimesta asennettu maadoitus. Kustakin alastulojohtimesta erikseen kytketään pysty- ja/tai vaakaelektrodi. Näitä elektrodeja on oltava vähintään kaksi. Jos kohteella on enemmän alastulojohtimia kuin kaksi, on suositeltavaa asentaa jokaiseen alastulojohtimeen oma maadoituselektrodi. Tyyppi B on rakennuksen

ulkupuolella kulkeva rengasjohdin, joka on kosketuksissa maahan yli 80 % yli omasta pituudestaan. Perustusmaadoitus myös luokitellaan tyyppi B maadoitukseen. Samoin tyyppi B maadoitukset voivat olla verkkoja. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 75–76.)



Kuva 22. Perustusmaadoituselektrodin sijoittaminen perustusten alle. (Tiainen ym., 2014, s. 122.)

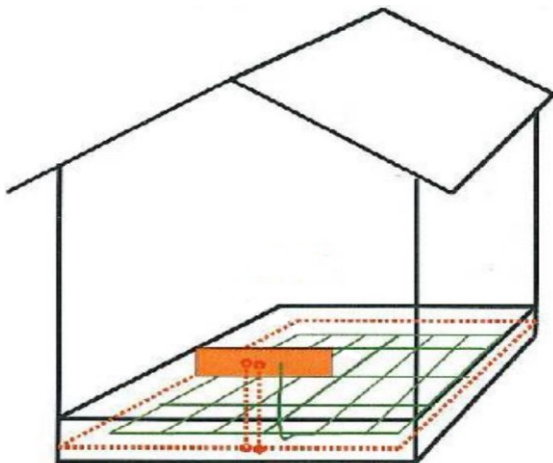
6.2.2 Perustusmaadoitus

Suosittelua maadoituselektrodi on perustusmaadoituselektrodi, koska se on hyvä salamasuojauksen kannalta. Tämä maadoitus myös tarjoaa rakennustyömaalle turvallisen ympäristön, koska perustusmaadoitus tarjoaa hyvän maadoituksen koko työmaan ajaksi. Teräs on oltava upotettu vähintään 5 cm betonin sisään. Kun tämä kriteeri täyttyy, betoniin upotettua elektrodia ei tarvitse erikseen korroosiosuojata. Tämä takaa sen, että rakennuksessa on koko sen elinajan turvallinen maadoitus. (SFS 6000-5-54, 2022, s. 26; SFS-EN 62305-3, 2011, s. 26.)

Betoniraudoitus toimii potentiaalitsaajana ja magneettisena suojana indusoituneisiin ylijännitteisiin. Huomioitava on, että betonista ei saa viedä elektrodia suoraan maahan tai ulos. Ellei elektrodia ole tehty ruostumattomasta teräksestä tai galvanoidusta teräksestä. Salaman iskiessä rakennukseen missä on käytetty perustusmaadoitusta, on tarkistettava perustusmaadoitus salaman aiheuttamilta vahingoilta. Salama voi halkaista tai muuten vaurioittaa rakennuksen perustusta. (SFS-EN 62305-3, 2011, s. 26–27.)

On myös huomioitava, jos perustukset eristetään kokonaan maasta paksulla muovilla (+ 0,5 mm) lämpövuotojen estämiseksi, tai estämällä maasta nousevan kosteuden

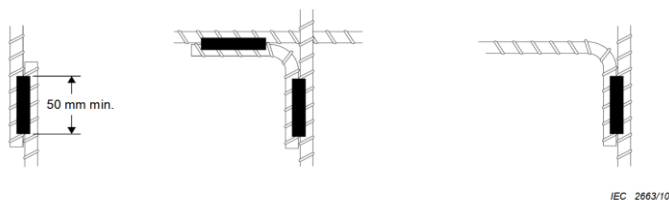
kapilaari ilmiön. Silloin perustuksen betonia ei voida käyttää maadoituksena. Näissä tilanteissa on potentiaalitasattava betonin sisällä olevista raudoituksista SFS 6000-4-41 standardin mukaisesti, ja käyttämällä muuta standardin mukaista maadoitusta. (SFS 6000-5-54, 2022, s. 26.)



Kuva 23. Perustusmaadoituselektrodin sijoittaminen perustuksiin. (Tiainen ym., 2014, s. 122.)

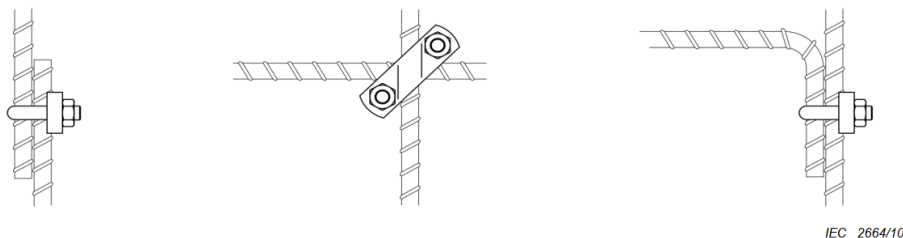
6.2.3 Perustusmaadoituksen raudoituksen kiinnitys

Perustusmaadoituksen raudoitukset voidaan joko hitsata, kiinnittää rautakiinnityksillä tai kiinnittää käyttäen rautalankaa. Ylijännite- ja salamasuojaus kohteissa suositelluin tapa on hitsaus. Huomioitavaa on, että hitsaus on Suomessa sallittua, mutta vaatii tähän tarkoitukseen valmistettua materiaalia. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 44.)



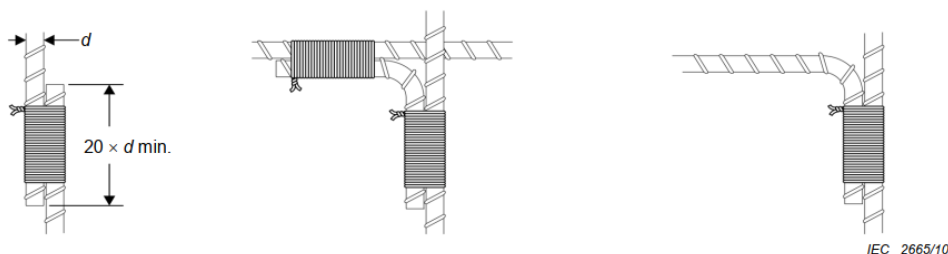
Kuva 24. Betoniraudoituksen hitsaus vaatimukset. (SFS-EN 62305-3, 2011, s. 71.)

Kun betoniraudoitusta hitsataan, on sauman pituus oltava vähintään 50 mm. Tällä saadaan raudoitukseen paras mahdollinen johtavuus, ja mekaaninen kestävyys. (SFS-EN 62305-3, 2011, s. 71.)



Kuva 25. Betoniraudoituksen rautakiinnitys vaatimukset. (SFS-EN 62305-3, 2011, s. 71.)

Raudoitus voidaan kiinnittää niihin tarkoitetuilla rautakiinnikkeillä. Tämä on myös hyvä tapa, jos työmaalla ei ole mahdollista hitsata. Esimerkiksi jos työmaalla on lähettyvillä palavia aineita. (SFS-EN 62305-3, 2011, s. 71.)



Kuva 26. Betoniraudoituksen rautalangan kiinnitys vaatimukset. (SFS-EN 62305-3, 2011, s. 71.)

Raudoituksen kiinnityksessä voidaan myös käyttää rautalankaa, mutta täytyy huomioida raudoituksen paksuus. Jotta saadaan hyvä maadoitus aikaiseksi, on lanka kierrettävä jokaisen liitoksen ympäri 20 x raudan halkaisija. Huomioitavaa on myös, että hitsatut ja metallisilla kiinnikkeillä kiinnitetyt raudoitukset ovat parempia ja niitä suositellaan enemmän kuin tätä tapaa. (SFS-EN 62305-3, 2011, s. 71.)

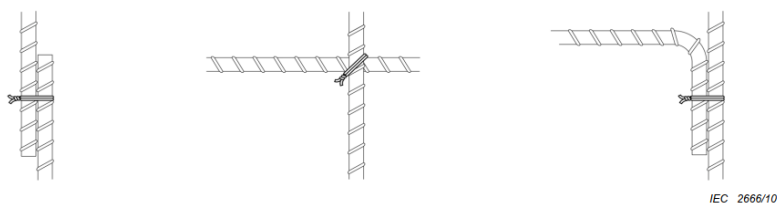
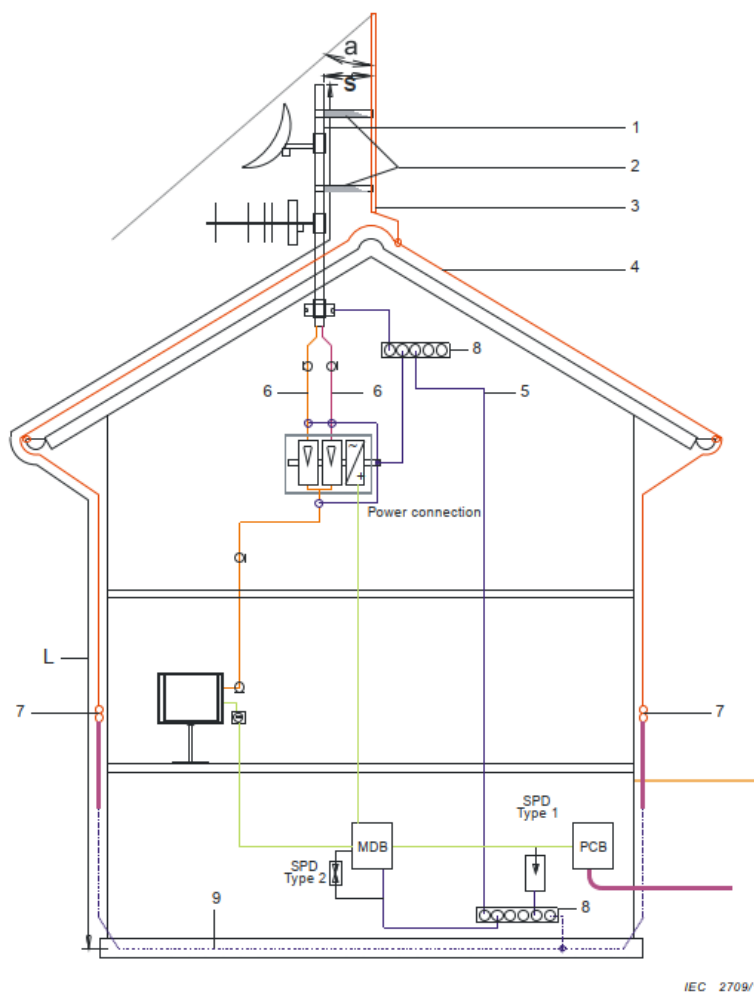


Figure E.5d – Lashed joints (suitable for EMC purposes only)

Kuva 27. Betoniraudoituksen rautalangan kiinnitys vaatimukset. Tämä tapa riittää ai-noastaan EMC suojaukseen. (SFS-EN 62305-3, 2011, s. 71.)

7 SALAMASUOJUKSEN SUUNNITTELU

**Key**

- 1 metallic mast
- 2 isolator
- 3 air-termination rod
- 4 air-termination conductor
- 5 bonding conductor
- 6 antenna cable
- 7 test joint
- 8 equipotential bonding bar
- 9 foundation earth electrode
- α protection angle
- s separation distance
- l length to be considered for separation distance calculation

MDB main distribution box
PCB power connection box

Kuva 28. Salamasuojaus.

1. Metallinen tanko 2. Eristin 3. Sieppaustanko 4. Alastulojohdin 5. Potentialintasausjohdin 6. Antennikaapeli 7. Testausliitos 8. Potentialintasauskisko 9. Perustusmaadoitus. (SFS-EN 62305-3, 2011, s. 114.)

Ulkoisen salamasuojauksen voidaan toteuttaa eristettynä tai eristämättömällä suojauskulmalla. Eristetyllä salamasuojauksen menetelmällä salamavirta johdetaan rakennuksen ulkopuolelle kokonaan tai osittain maapotentiaaliin. Yleisin suojaustapa on eristämätön salamasuojauksen menetelmä. Salama ohjataan sieppaustangosta alastulojohtimia pitkin maapotentiaaliin, mitkä ovat yhteydessä rakennuksessa olevaan sähköjärjestelmän maadoituskiskoon. (Annanpalo ym., 2012, s. 66.)

Salamasuojauksen suunnittelussa käytetään kolmea menetelmää. Verkko-, suojauskulma-, ja pallomenetelmää. Niitä voidaan käyttää itsenäisesti tai soveltaen kaikkia yhdistellen. Ulkoisen salamasuojauksen suunnittelussa, suunnitellaan kohteelle tarvittavat toimenpiteet. Salamasuojauksen suunnittelun alkuvaiheessa on tärkeää ottaa selvää maaperän resistiivisyydestä. Maaperän resistiivisyydessä on huomioitava myös kausivaihtelut. LPS-suunnittelijan vastuulla on selvittää ja arvioida komponenttien fyysiset ja sähköiset ominaisuudet, sekä varmistaa että komponentit täyttävät IEC EN 62305 standardisarjan minimivaatimukset. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 59.)

Taulukosta 3. saadaan pallomenetelmässä käytetylle pallolle säde, verkkomenetelmään silmukkokoko. Suojauskulmamenetelmään kulma α , saadaan kuvasta 30. (Annanpalo ym., 2012, s. 60.)

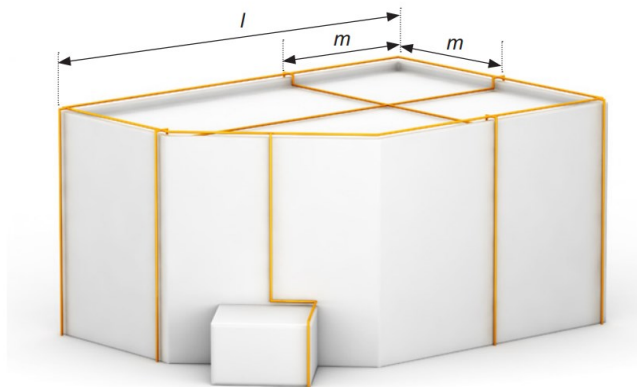
Taulukko 3. Suojausluokan mukaiset etäisyydet. (Annanpalo ym., 2012, s. 60.)

Suojausluokka	Suojausmenetelmä		
	Pallon säde r m	Verkon silmäkoko w_m m	Suojauskulma α °
I	20	5 × 5	Katso kuva 4
II	30	10 × 10	
III	45	15 × 15	
IV	60	20 × 20	

LPS-suunnittelijan on otettava huomioon, että salaman aiheuttamia riskejä voidaan pienentää käyttämällä kohteessa olevia johtavia rakenteita. Esimerkiksi kytkemällä metallipilarit, raudoitukset, metallilevyt jne. maadoituksiin ja toisiinsa. Salamasuojauksessa on otettava huomioon betoniin, maahan ja muualle asennettujen metallien korroosion riski, ja erityisesti sähkökemiallisen korroosion riskit. Nämä korroosiot

vaikuttavat salamasuojauksen toimintaan ja turvallisuuteen. (SFS-Käsikirja 609 2009, s. 57, 61.)

7.1.1 Verkkomenetelmä

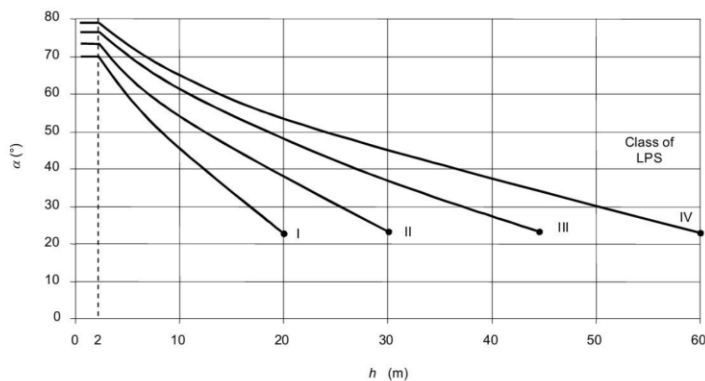


Kuva 29. Verkkomenetelmän rakenne. (Obo, 2022.)

Tämä menetelmä on yleispätevä. Kattojohtimia asennetaan talonrakennuksen katolle tekemällä ruudukoita. Verkkomenetelmä on helppo asentaa ja tarvittaessa voidaan lisätä suojausta asentamalla lisää poikittaisia kattojohtimia. Verkkomenetelmä suojaa koko pintaa, jos verkkosuojaus on sijoitettu katon reunoihin, räystäisiin ja harjalle, ja katon kaltevuus on yli 1/10. Verkkomenetelmää voidaan myös käyttää rakennuksen seinäpinnoilla, jos halutaan suojautua salaman sivuiskulta. Jos rakennuksen katon kaltevuus on yli 1/10, suositellaan käytettäväksi rinnakkaisia johtimia verkon sijaan. (Annanpalo ym., 2012, s. 82; SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 70, 74.)

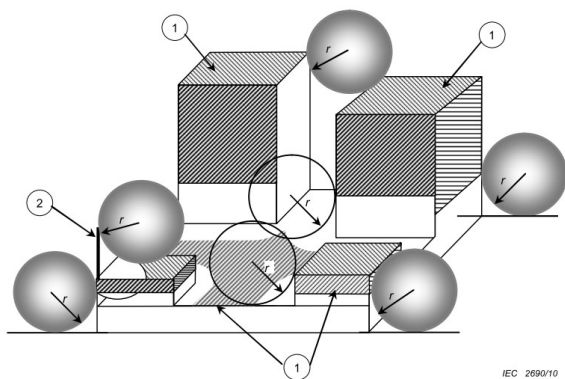
7.1.2 Suojaskulmamenetelmä

Kuvassa 30. määritellään sieppaustangon korkeus pystytangon referenssitasosta mitatun korkeuden h funktiona. Mitä pienempi virta tai mitä korkeampi tanko on, sitä pienempi on tangon suojakulma. Suojakulma suojaa salamaniskuilta sen kartion sisällä olevia salamaniskuun kohdistuvia kohteita/laitteita. Huomioitavaa on kuvassa 30. että käyrät eivät jatku pisteen alapuolelle. Silloin on sovellettava verkko- tai pallomenetelmää. (SFS-Käsikirja 609, 2009, 64–65.)



Kuva 30. Suojauskulmamenetelmän α kulman määrittäminen. (SFS-EN 62305-3, 2011, s. 19.)

7.1.3 Pallosuojusmenetelmä



Kuva 31. Pallosuojusmenetelmä. (SFS-EN 62305-3, 2011, s. 93.)

Tällä menetelmällä voidaan suunnitella ylijännitesuojus kaikkiin rakennuksiin. Jos kohteella on kattorakenteissa suuria korkeuseroja tai kattorakenteet ovat erillään toisistaan, tämä on helppo ratkaisu siihen. Pallosuojusmenetelmässä vieritetään palloja suojattavan rakennuksen eri kohteisiin. Pallon vieritys aloitetaan maasta ja palloa vieritetään niin kauan rakennuksen ylitse, jotta pallo koskettaa uudeksi maata. Potentiaalisia salamaniskukohteita ovat ne kohdat, joissa pallo koskettaa suojattavaa rakennusta. (Annanpalo ym., 2012, s. 84; SFS-EN 62305-3, 2011, s. 93.)

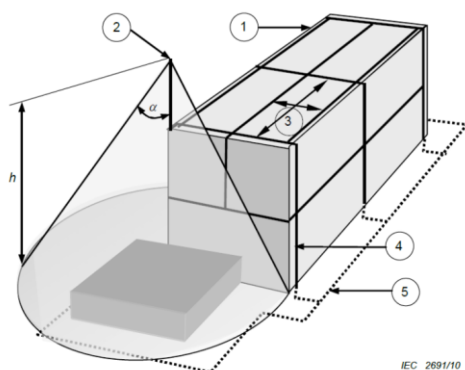
8 SALAMASUOJAUS

Salamasuojauksen idea on suojata rakennusta suorilta salaman iskuilta, ja lähistölle osuvien salamaiskujen vaikutuksilta. Salamasuojaus tarvitsee myös ylijännitesuojan järjestelmään toimiakseen täydellisesti. Salamasuoja ei siis poista ylijännitteitä sähköverkosta. Esimerkiksi kansataloudellisesti arvokkaat, kulttuurihistoriallisesti tärkeät ja paljon ihmisiä sisältävät rakennukset suositellaan salamasuojattavaksi. Myös korkeat rakennukset, kirkot ja piiput yms. suositellaan salamasuojattavaksi. Ulkoiseen salamasuojaukseen kuuluu 3 pääkomponenttia, jotka ovat salamanvangitsija, alastulojohtimet ja maadoituselektrodi. Salamasuojauksessa on myös tärkeää tietää, mitä sähkönsyöttöjärjestelmää käytetään suojattavassa kohteessa. Esimerkiksi valittaessa keski- ja salamasuojia on tiedettävä mikä sähkösyöttöjärjestelmä on käytössä kohteessa. (Annanpalo ym., 2012, s. 51–52, 84, 122.)

8.1 Salamanvangitsija

Salamanvangitsijana voi käyttää salaman sieppaustankoja, ripustettuja johtimia (kattojohtimet) tai antennimastoja. Salamanvangitsijan tehtävä on ohjata salaman alastulojohtimia pitkin maapotentiaaliin. Näiden laitteiden huolellinen suunnittelu vähentää huomattavasti salaman vahinkomahdollisuuksia rakennuskohteissa. (Annanpalo ym., 2012, s. 85.)

8.1.1 Sieppaustangot



Kuva 32. Havainnekuva sieppaustangon suojauskulmamenetelmästä. (SFS-EN 62305-3, 2011, s. 94.)

Sieppaustangoilla käytetään suojauskulmamenetelmää. Näiden avulla voidaan suojata katolla sellaisia laitteita tai rakenteita, jotka sijaintinsa tai mittojensa takia eivät ole suojattavissa esimerkiksi verkkorakenteella. Yleisempiä suojauskohteita ovat huippumurit tai ilmanvaihtokanavat, jotka ovat suoraan yhteydessä rakennuksen sähköjärjestelmään. Sieppaustankoja on myös käytetty savupiippujen suojauksessa, koska kuiva noki on sähköä johtavaa. (Annanpalo ym., 2012, s.87.)

8.1.2 Antennimastot

Jos rakennuksessa on antenniputki, se tulee yhdistää salamasuojaukseen, eli maadoittaa kattojohtimiin. Salamaniskuille alttiit antennit on maadoitettava käyttämällä maadoitusjohdinta. Johtimen poikkipinta on oltava vähintään 16 mm² kuparia, 25 mm² alumiinia tai 50 mm² terästä. Maadoitusjohdin asennetaan suoraan päämaadoituskiskoon tai maadoituselektrodiin. Salaman iskiessä sähköjärjestelmään antennikaapeli, sähköverkko ja maadoitusjohto muodostavat induktiosilmukan. Sen takia salama voi indusoida monien kilovolttien jännitteen sähköjärjestelmään. (Annanpalo ym., 2012, s. 87; SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 74.)

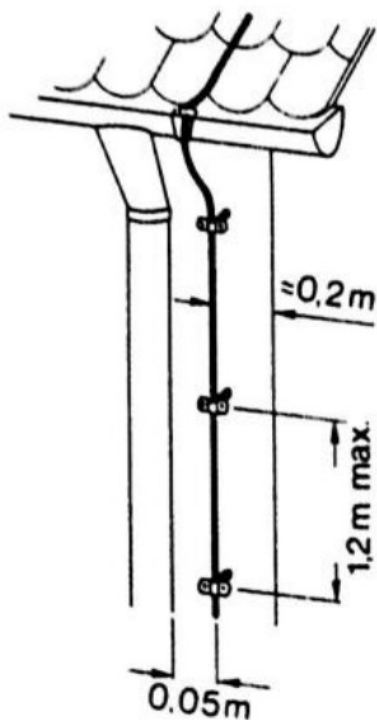
8.2 Alastulojohdin

Alastulojohdin on kaapeli, joka johtaa salamaniskun osuessa salaman sieppaustangosta maapotentiaaliin. Alastulojohdin on asennettava niin että, sillä olisi mahdollisimman lyhyt matka maapotentiaaliin. Salamavirralla on oltava myös useita rinnakkaisia kulkureittejä. Asennettaessa alastulojohtimia tulisi välttää ylimääräisiä mutkia, jotta impedanssi pysyisi pienenä. Alastulojohtimia on aina oltava vähintään kaksi, mutta suurissa rakennuksissa olisi syytä käyttää sisäpuolisia johtimia enintään 40 m välein. (Annanpalo ym., 2012, s. 61–62.)

Vaakasuorajohdin asennuksessa tarvitaan salamanvangitsijasta molempiin päihin oma alastulojohdin. Verkkomenetelmässä tarvitaan yksi alastulojohdin jokaista kannatusrakennetta kohden. Huomioitavaa on, että alastulojohdinta ei saa asentaa päin palavaa materiaalia. Palavan materiaalin ja alastulojohtimen etäisyys toisistaan on oltava

vähintään 10 cm. Lisäksi suojattavien metalliesineiden ja alastulojohtimien välille on määritelty suojaetäisyydet. Jokaiseen alastulojohtimeen on asennettava testausliitin maadoituksen mittaamiseen. Testausliittimet on oltava työkaluilla avattavia liittimiä. (Annanpalo ym., 2012, s. 93, 96; SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 73.)

IEC sallii alastulojohtimina rakennusten metallikehikot, yhteen kytketyt teräsrakenteet, betoniraidoitus ja kestävät metallirakenteet. Jotka kestävät vähintään standardin mukaiset vaatimukset. Jos rakennuksen korkeus ylittyy yli 20 m, on alastulojohtimet asennettava vaakasuoralla johtimella 20 metrin välein korkeussuunnassa. (Annanpalo ym., 2012, s. 94–95.)



Kuva 33. Alastulojohtimen kiinnitys. (Annanpalo ym., 2012, s. 93.)

On myös mahdollista käyttää betoniseinien ja betonipilareiden harjateräksiä alastulojohtimina. Kunhan harjateräkset ovat asiallisesti ja kunnolla standardin mukaisesti kiinnitetty toisiinsa. Tämä alastulojohtin on hyvä, koska liitettyjen harjaterästen muodostama verkkoimpedanssi on pieni. (Annanpalo ym., 2012, s. 96.)

Taulukko 4. Kansainvälisen ja paikalliset olosuhteet huomioivan kansallisen standardin vertailua. (Annanpalo ym., 2012, s. 63.)

Materiaali (pyörömuotoinen)		Kupari (mm ²)	Alumiini (mm ²)	Teräs (mm ²)
Kattojohdin	SFS	25	35	50
	IEC	50	50	50
Alastulojohdin	SFS	16	25	50
	IEC	50	50	50
Maadoituselektrodi	SFS	25	Ei sallittu	50
	IEC	50	Ei sallittu	78

1 50 mm² (8 mm halkaisija) pienentää 28 mm² (6 mm halkaisija) soveluksissa, joissa mekaaninen lujuus ei ole olennainen vaatimus. Tällöin on harkittava kiinnitysvälin lyhentämistä.

2 Pienin poikkipinta-ala, jolla vältytään sulamiselta on 16 mm² kuparille, 25 mm² alumiinille ja 50 mm² teräkselle ominaisenergialla 10000 kJ/Ω.

3 SFS 609:n mukaan 25 mm² kuparijohdin tai -lanka on riittävä poikkipinta Suomen olosuhteissa, mikäli maadoituselektrodiin liitetään salamasuoja.

8.3 Salaman sähkömagneettinen pulssi suojaus

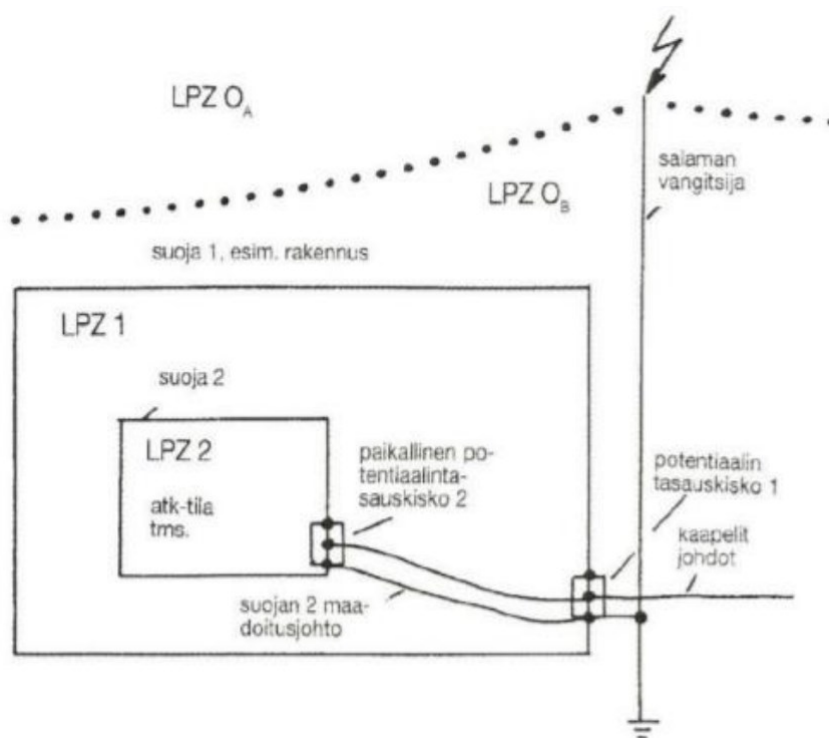
LEMP-suojaus tarkoittaa suojattavaan tilaan tunkeutuvan sähkömagneettisen kentän suuruuden rajoittamista. Putket, kaapelivaipat, potentiaalintasauskiskot ja kaikki rakenteissa olevat aukot (kuten ovet ja ikkunat) vaikuttavat sähkömagneettisen häiriökentän suuruuteen. (Annanpalo ym., 2012, s. 71.)

IEC on jakanut nämä salamasuojausvyöhykkeet (LPZ) kolmeen eri luokkaan. (Annanpalo ym., 2012, s. 72.)

- LPZ 0A: Tämän vyöhykkeen sisällä olevat kohteet altistuvat suoraan salamaniskulle. Nämä kohteet joutuvat kestämään täyden salamavirran vaikutuksen. Sähkömagneettinen kenttä vaikuttaa tällä vyöhykkeellä vaimentumattomana.
- LPZ 0B: Tämän vyöhykkeen sisällä olevat kohteet eivät ole alttiita suoraan salamaniskulle. Kuitenkin salamauskun purkauksesta vaikuttava sähkömagneettinen kenttä vaikuttaa alueella vaimentumattomana.

- LPZ 1: Tämän vyöhykkeen sisällä olevat kohteet eivät ole alttiita suoraan salamaniskulle ja johtavissa osissa kulkevat virrat ovat pienempiä kuin vyöhykkeissä LPZ 0A ja LPZ 0B. Purkauksesta johtuva sähkömagneettinen kenttä voi olla tällä vyöhykkeellä vaimentunut, tämä riippuu kuitenkin häiriösuojastoimenpiteistä.

LPZ 0A vyöhykkeeseen kuuluu ulkona olevat antennit, salamanvangitsijat jne. LPZ 0B voi ulottua kohteen sisäpuolellekin, esimerkiksi ikkunoiden läheisyydet. IEC sallii useamman suojausvyöhykkeen määrittelemisen. Jos saadaan virtojen suurikokoisuuksia ja sähkömagneettisen kentän intensiivisyyttä pienennettyä (LPZ 2 jne.). (Annanpalo ym., 2012, s. 72.)



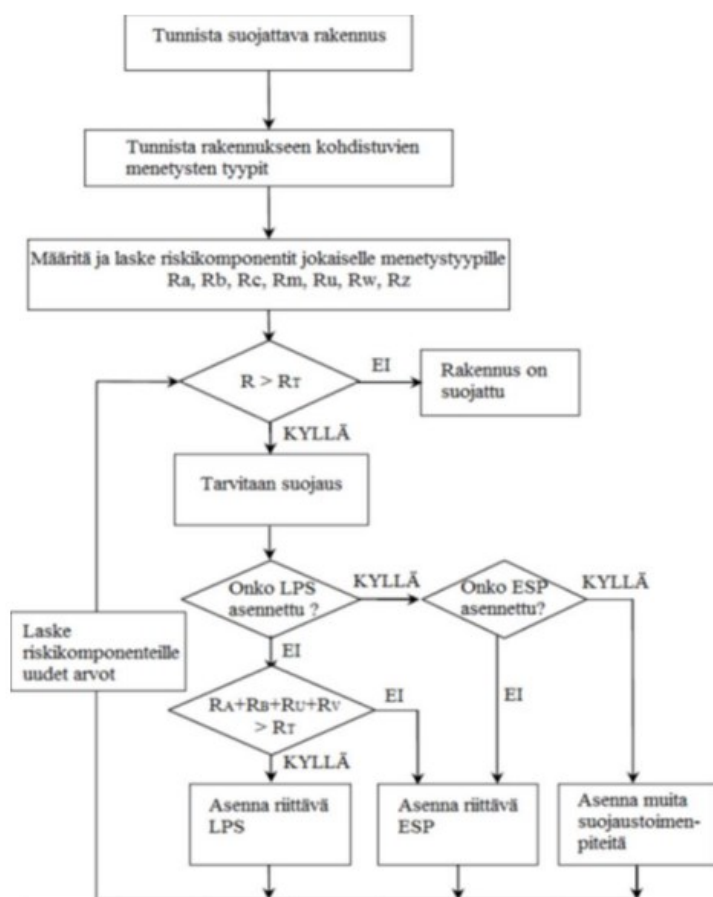
Kuva 34. Esimerkki suojattavan tilan jakamisesta erilaisiin suojavyöhykkeisiin. (Annanpalo ym., 2012, s. 73.)

Jokaisen vyöhykkeen rajapinnassa on tehtävä potentiaalintasaus kaikkien kohteiden välillä, sekä huolehdittava häiriösuojastoimenpiteistä. LPZ 0A ja LPZ 1 rajapinnassa käytetyt laitteet ja liittimet on mitoitettava taulukon 5. mukaan, mutta LPZ 0B ja LPZ 1 vyöhykkeiden rajapinnoissa hyväksytään lievennyksiä, koska vain osa salamavirrasta johtuu näille alueille. (Annanpalo ym., 2012, s. 74.)

9 RISKIARVIOINTI

Salamasuojauksen riskiarvioinnissa on otettava monta asiaa huomioon. Alla mainitut kohdat vaikuttavat siihen, onko kohteelle tarvetta asentaa salamasuojausta.

- Rakennukseen kohdistuvat maasalamoiden määrät
- Ympärillä olevat rakennukset ja rakennusten korkeussuhteet
- Salamien aiheuttamat vauriot ja menetysten todennäköisyys
- Paniikin vaara, mikä vaikeuttaa evakuointia
- Onnettomuudesta ympäristöön leviävät myrkyt



Kuva 35. Salamasuojauksen ja riskiarvioinnin vaiheet. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 47.)

9.1 Salamasuojausluokka

IEC standardisarja EN 62305 määrittelee LPL salamasuojausluokat neljälle tasolle. Salamasuojausluokassa sovelletaan salamanparametrejä. Taulukko 5. vaatii suunnittelijan syventymistä asiaan. Taulukossa käydään läpi salamavirran, varauksen, jouleintegraalin ja keskimääräisen jyrkkyyden arvoja. Salamasuojausluokalla pienennetään suojattavaan rakennukseen salaman iskun aiheuttamat vahinkoriskit. Suunnittelija tekee laskelmat, onko kohteelle järkevää asentaa salamasuojausta. Riskianalyysin jälkeen katsotaan mitä pidetään hyväksyttävänä riskinä. Jos riski on suurempi kuin hyväksyttävä arvo (Taulukko 6.), suojaus on toteutettava. Luokka I on vaativin suojausluokka. Luokka I on kestettävä 3–200 kA, luokka II 5–150 kA, luokka III 10–100 kA ja luokka IV 16–100 kA. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 22–23.)

Taulukko 5. Salamaparametrien minimiarvot ja maksimiarvot eri suojaustasoilla. (Annanpalo ym., 2012, s. 57.)

Ensimmäisen positiivisen impulssin maksimiarvot			Salamasuojaustaso			
Virtaparametrit	Symboli	Yksikkö	I	II	III	IV
Virran huippuarvo	I	kA	200	150	100	
Impulssivaraus	Q_{SHORT}	C	100	75	50	
Ominaisenergia	W/R	MJ/ Ω	10	5,6	2,5	
Aikaparametrit	T_1 / T_2	$\mu s / \mu s$	10 / 350			
Ensimmäisen negatiivisen impulssin maksimiarvot			Salamasuojaustaso			
Virtaparametrit	Symboli	Yksikkö	I	II	III	IV
Virran huippuarvo	I	kA	100	75	50	
Keskimääräinen jyrkkyys	di/dt	kA/ μs	100	75	50	
Aikaparametrit	T_1 / T_2	$\mu s / \mu s$	1 / 200			
Seuraavan impulssin maksimiarvot			Salamasuojaustaso			
Virtaparametrit	Symboli	Yksikkö	I	II	III	IV
Virran huippuarvo	I	kA	50	37,5	25	
Keskimääräinen jyrkkyys	di/dt	kA/ μs	200	150	100	
Aikaparametrit	T_1 / T_2	$\mu s / \mu s$	0,25 / 100			
Pitkän iskun maksimiarvot			Salamasuojaustaso			
Virtaparametrit	Symboli	Yksikkö	I	II	III	IV
Pitkän iskun varaus	Q_{LONG}	C	200	150	100	
Aikaparametrit	T_{LONG}	s	0,5			
Salaman maksimiarvot			Salamasuojaustaso			
Virtaparametrit	Symboli	Yksikkö	I	II	III	IV
Salaman varaus	Q_{FLASH}	C	300	225	150	
Salamavirran minimiarvot			Salamasuojaustaso			
Virtaparametrit	Symboli	Yksikkö	I	II	III	IV
Virran huippuarvo	I_{min}	kA	3	5	10	16

9.2 Salamasuojauksen tarpeen laskeminen

Riskiarvioinnissa käytetään matemaattista kaavaa, josta riski R lasketaan. Jokainen riski on määritelty omaan riskikomponenttiin, ja jokainen riskikomponentti lasketaan käyttäen kaavaa (1). (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 46.)

R: Riski

$$R = N * P * L * t \quad (1)$$

N = Salamaiskujen lukumäärä rakenteeseen tai lähietäisyyteen.

P = Todennäköisyys salamaniskusta aiheutuva menetys tai vaurio

L = Keskimääräinen vaurion tai menetyksen määrä

t = Tarkastelu-aika, yleensä yksi vuosi t = 1 a

R₁: Hengen menetyksen riski

$$R_1 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z \quad (2)$$

R_A = Hengen menetyksen riski

R_B = Rakenteellisten vaurioiden riski

R_U = Hengen menetyksen riski iskusta liittyvään johtoon

R_V = Rakenteellisten vaurioiden riski iskusta liittyvään johtoon

R_C, R_M, R_W, R_Z = Sisäisten järjestelmien vaurioitumisen riskejä

R₂: Julkisen palvelun menetyksen riski

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \quad (3)$$

R_B = Rakenteellisten vaurioiden riski

R_V = Rakenteellisten vaurioiden riski iskusta liittyvään johtoon

R_C, R_M, R_W, R_Z = Sisäisten järjestelmien vaurioitumisen riskejä

R₃: Kulttuuriperinnön menetyksen riski

$$R_3 = R_B + R_V \quad (4)$$

R_B = Rakenteellisten vaurioiden riski

$R_V =$ Rakenteellisten vaurioiden riski iskusta liittyvään johtoon

R4: Taloudellisen menetyksen riski

$$R_4 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z \quad (5)$$

$R_A =$ Hengen menetyksen riski

$R_B =$ Rakenteellisten vaurioiden riski

$R_U =$ Hengen menetyksen riski iskusta liittyvään johtoon

$R_V =$ Rakenteellisten vaurioiden riski iskusta liittyvään johtoon

$R_C, R_M, R_W, R_Z =$ Sisäisten järjestelmien vaurioitumisen riskejä

Salamasuojaus on toteutettava, jos R tulos ylittää taulukko 6. arvot.

Taulukko 6. Hyväksyttävän riskitason arvot. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 45.)

Hyväksyttävän riskitason arvot	R_T
R_1 : Hengen menetyksen riski	0,00001
R_2 : Julkisen palvelun menetyksen riski	0,001
R_3 : Kulttuuriperinnön menetyksen riski	0,001

Huomioitava.

Riskien R_C, R_M, R_W ja R_Z vaikutus otetaan huomioon vasta kun elektroniikka- ja sähköjärjestelmien vikaantuminen aiheuttaa hengenvaaran. Esimerkiksi näitä tiloja ovat sairaalat ja räjähdysvaaralliset tilat. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 49.)

Taulukko 7. Erilaisten vaurioiden riskikomponentit rakennuksessa. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 48.)

	S1 isku rakennukseen	S2 isku rakennuksen lähelle	S3 isku rakennukseen liitettyyn palveluun (johtoon) tai naapurirakennukseen	S4 isku liitetyn palvelun (johdon) lähelle
D1 sähköisku ihmiselle tai eläimelle	$R_A = N_D * P_A * L_A$		$R_U = (N_L + N_{D_2}) * P_U * L_U$	
D2 rakennuksen vaurio	$R_B = N_D * P_B * L_B$		$R_V = (N_L + N_{D_2}) * P_V * L_V$	
D3 sisäisen järjestelmän vaurio	$R_C = N_D * P_C * L_C$	$R_M = N_M * P_M * L_M$	$R_W = (N_L + N_{D_2}) * P_W * L_W$	$R_Z = N_I * P_Z * L_Z$

9.2.1 Salamaiskujen lukumäärän arviointi

Tasaisella maalla olevan yksittäisen rakennuksen salamaniskujen keskimääräinen lukumäärä ratkaistaan alla olevalla kaavalla. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 49.)

N_D : Iskujen määrä rakennukseen

$$N_D = N_g * A_d \quad (6)$$

N_g = Keskimääräinen maasalamatiheys

A_d = Salamaniskujen keruupinta-ala

Salamaniskujen keruupinta-ala saadaan rakennuksen mitoista. Alla olevalla kaavalla saadaan ratkaistua A_d . (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 49.)

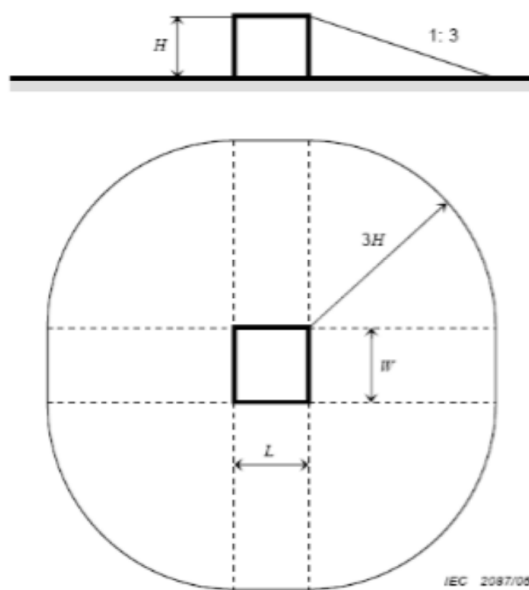
A_d : Keruupinta-ala

$$A_d = L * W + 6H * (L + W) + 9\pi H^2 \quad (7)$$

L = Rakennuksen pituus

W = Rakennuksen leveys

H = Rakennuksen korkeus



Kuva 36. Yksittäisen rakennuksen salamoiden keruupinta-ala. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 49.)

Jos kyseessä on rakennus missä on korkeutta huomattavasti enemmän, kuin leveyttä ja pituutta, käytetään alla olevaa kaavaa (kuten masto- ja tornirakenteet). (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 50.)

A_d : Keruupinta-ala

$$A_d = 9\pi H^2 \quad (8)$$

H = Rakennuksen korkeus

Rakennuksen ympäristö huomioidaan alla olevilla kertoimilla, jos rakennuksen korkeus kerrottuna kolmen sisällä sijaistaa esimerkiksi puita tai muita salamaniskukohteita. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 50.)

- Salamakohteita, jotka ovat korkeampia kuin itse rakennus 0,25
- Salamakohteita, jotka ovat noin saman korkuisia 0,5
- Salamakohteita, jotka ovat vuoren tai kukkulan huipulla 2

Riskikomponentteina otetaan huomioon rakennukseen liitettyjen johdoista tuleva ylijännite tai salamavirta. Alla olevalla kaavalla saadaan laskettua ilmajohtoon osuvien salamoiden keruupinta-ala A_I . (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 50.)

A_I : Ilmajohtoon osuvien salamoiden keruupinta-ala

$$A_I = 6L_C * H_C \quad (9)$$

L_C = Seuraavaan solmukohtaan ilmajohdon pituus (maksimi 1000 m)

H_C = Ilmajohdon korkeus maasta

On otettava myös huomioon 500 m säteellä olevat salamaniskut, jotka kohdistuvat ilmajohtojen lähelle. Alla olevalla kaavalla saadaan ratkaistua keruupinta-ala A_i . (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 51.)

A_i : Keruupinta-ala

$$A_i = (1000 \text{ m}) * L_C \quad (10)$$

L_C = Seuraavaan solmukohtaan ilmajohdon pituus (maksimi 1000 m)

Maakaapeleihin on sama periaate, alla olevalla kaavalla saadaan maakaapeliin iskevien salamoiden keruupinta-ala A_I . (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 51.)

A_I : Maakaapeliin iskevien salamoiden keruupinta-ala

$$A_I = 3L_C * \rho^{1/2} \quad (11)$$

L_C = Seuraavaan solmukohtaan ilmajohdon pituus (maksimi 1000 m)

ρ = Maan ominaisresistanssi (500 Ωm maksimi)

Maakaapelin lähelle iskevien salamoiden keruupinta-ala saadaan alla olevalla kaavalla A_i . (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 51.)

A_I : Maakaapelin lähelle iskevien salamoiden keruupinta-ala

$$A_i = 25L_C * \rho^{1/2} \quad (12)$$

L_C = Kaapelin pituus seuraavaan solmukohtaan

ρ = Maan ominaisresistanssi (500 Ω m maksimi)

9.3 Salamasuojauksen kannattavuus

Riskikomponenttien jälkeen voidaan myös arvioida taloudelliset hyödyt. Laittevauriokustannukset voivat olla pieniä, mutta laitteiden keskeytymisestä ja palauttamisesta voi syntyä suuria kustannuksia. Esimerkiksi salamasta johtuvat tiedostojen menetykset tai prosessin pysähtyminen teollisuudessa. Kun säästö S on positiivinen, on suojaus kannattava. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 52.)

Suojauksella saatava todennäköinen säästö S on. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 53.)

S : Todennäköinen säästö

$$S = C_L - (C_{PM} + C_{RL}) \quad (13)$$

C_L = Kokonaismenetykset

C_{PM} = Salamasuojauksen vuosikustannus

C_{RL} = Jäljelle jäävien salamariskien vuosikustannukset

Salamasuojauksen vuosikustannus C_{PM} on. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 53.)

C_{PM} : Salamasuojauksen vuosikustannus

$$C_{PM} = C_P * (i + a + m)$$

C_P = Salamasuojauksen hankintakustannus

i = Korkokanta

a = Vuosittainen pääoman kuoletus/hankintakustannus

m = Vuosittainen kunnossapitokustannus/hankintakustannus

C_{RL} = Jäljelle jäävien salamariskien vuosikustannukset

9.4 Riskiarvioinnin epävarmuus

Riskiarvioinnissa on paljon vaikuttavia tekijöitä. Esimerkiksi salamatiheys vaihtelee joka vuosi paljon. Joka vaikuttaa riskiarviointiin huomattavasti. Ilmatieteenlaitos onneksi rekisteröi jokaisen maasalaman Suomessa, josta saadaan monen vuoden ajanjakso. Kymmenen vuoden ajanjakson keskimääräisen salamatiheyden avulla saadaan hyvät arviot Suomen salamatiheydestä. Perusteellisen riskiarvioinnin tekeminen on suuri työ, jonka takia tähän riskianalyysiin sisältyy aina suuria epävarmuuksia. Näiden riskianalyyseiden avulla saadaan riskitaso, minkä tekijät vaikuttavat eniten tulokseen. (SFS-Käsikirja 609, 2009, s. 53.)

10 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli luoda työ mistä saadaan salama- ja ylijännitesuojauksen perustiedot helposti käyttöön suunnittelijalle. Aihealue oli minulle uusi, enkä ollut ennen tätä työtä opiskellut salama- ja ylijännitteistä mitään. Tämä työ tuli itselleni ja todennäköisesti muille hyödylliseksi. Alkuun oli hankalaa löytää tietoa tästä aiheesta, koska Suomenkielisiä julkaisuja oli hyvin vähän. Sain hyviä ohjeita tiedonhakuun työkaluista ja opinnäytetyö ohjaajalta.

Työn haastavimmaksi osuudeksi osoittautui ylijännitesuojalaitteiden tiedon puute, esimerkiksi noista varistoreista ja kipinäväleistä oli hankala löytää tietoa niiden toiminnallisuudesta.

Työ onnistui mielestäni hyvin, sain kerrottua ytimekkäästi ylijännite- ja salamasuojauksesta ja opein todella paljon tästä aiheesta, tämän työn aikana.

LÄHTEET

ABB www-sivut. 2022. Viitattu 24.10.2022. <https://new.abb.com/products/2CTB803873R2400/ovr-t2-3l-40-275-p-qs>

Annanpalo, J., Ikävalko, M., Koponen, J., Mäkelä, A., Ristilä, J., Sjögren, H., Taimisto, S. & Tiainen, E. 2012. Rakennusten salama- ja ylijännitesuojaus. 2. p. Espoo: Tammerprint.

Hager www-sivut. 2022. Viitattu 25.10.2022 https://kesko-onninen-pim-resources-production.s3-eu-west-1.amazonaws.com/pimdocuments/FISTK_5803215_323950.pdf

Ilmatieteenlaitoksen www-sivut. 2022. Viitattu 17.10.2022. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/perustietoa-ukkosesta>

OBO www-sivut. 2022. Viitattu 26.10.2022. https://www.obo.fi/fileadmin/DMS/Broschueren/02_TBS/Rakennusten_salama-_ja_ylijaennitesuojaus.pdf

SFS 6000-5-54. Pienjännitesähkösennukset. osa 5.54: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Maadoittaminen ja suojajohtimet. 2022. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki: SFS.

SFS-EN 62305-3. Protection against lightning – part 3: physical damage to structures and life hazard. 2011. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki: SFS.

SFS-Käsikirja 609. Rakennusten ja rakenteiden salamasuojaus. Lightning protection for buildings and structures. 2009. 1. p. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki: SFS.

Tiainen, E., Nurmi, T. & Koivisto, P. 2014. Maadoituskirja. 6. p. Helsinki: Painokurki.

Yle www-sivut. 2022. Viitattu 17.10.2022. <https://yle.fi/uutiset/3-11724593>