

SÄHKÖASEMARAKENNUSTEN SALAMASUOJAUS

Kuukasjärvi Tommi

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Tommi Kuukasjärvi	Vuosi	2018
Ohjaaja	Ins. Seppo Penttinen		
Toimeksiantaja	ABB Oy		
Työn nimi	Sähköasemarakennusten salamasuojaus		
Sivu- ja liitemäärä	54+42		

Kiinnostus salamasuojausta kohtaan on lisääntynyt viime vuosina huomattavasti, mutta esimerkiksi Suomessa päätökset salamasuojauksesta ovat syntyneet enemmän tai vähemmän sattumanvaraisesti. Varsinaista systemaattista metodia riskienarviointiin ei ole käytetty ja tästä johtuen suojaustoimenpiteiden kohdistaminen juuri suojattavan kohteen vaatimiin riskeihin ei välttämättä ole ollut kovin optimaalista. Tällä opinnäytetyöllä pyrittiin ratkaisemaan mainittu ongelma.

Opinnäytetyössä perehdyttiin rakennusten salamasuojaukseen ja erityisesti tarkoituksena oli keskittyä tutkimaan sähköasemarakennuksien salamasuojaustarvetta ja itse suojausta. Materiaalina käytettiin suurimmaksi osaksi IEC-62305 standardisarjaa rakennusten salamasuojauksesta ja sen ymmärtämiseksi kirjoitettua SFS-609 käsikirjaa. Viimeksi mainittu mahdollisti esimerkiksi viranomaismääräysten osalta enemmän kansallisen näkökulman huomioonottamisen.

Työn lopputuloksena sille asetetut tavoitteet saavutettiin eli sähköasemarakennusten suojaustarpeen arviointi sekä itse suojauskeinot tulivat perusperiaatteiltaan selviksi. Myös erilaisten Excel- ja Microstation- pohjaisten salamasuojaustyökalujen toteutus onnistui mielestäni hyvin, ja tämän työkalupaketin avulla sähköasemat saadaan suojattua sekä Suomessa että maailmalla yllä mainittujen standardien määrittämien suositusten mukaisesti.

Avainsanat Salamasuojaus, IEC – 62305, SFS-609

Muita tietoja Työhön liittyvät Excel ja Microstation pohjaiset työkalut eivät kuulu julkiseen versioon

Technology, Communication and Transport
Electrical and Automation Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Tommi Kuukasjärvi	Year	2018
Supervisor(s)	Seppo Penttinen BEng		
Commissioned by	ABB Ltd		
Subject of thesis	Lightning Protection of Substation Buildings		
Number of pages	54+42		

Interest in lightning protection has increased significantly in the past few years but for example in Finland the protection decision has usually not been based on a deeper understanding of the standards governing it. Systematic methods for assessing risks caused by lightning have not been used and the protection decision has been reached in a more or less arbitrary manner. This thesis aims at curing the defect.

The objective of this work was to look into the ways that allow a designer of a lightning protection scheme for electrical substations to determine what kind of protection is required and design the protection system accordingly. As to the reference material, a choice was made to use both IEC-62305 lightning protection standard as well SFS-609 lightning protection standard of which the latter brings forth a more nationally oriented point of view.

The objectives that were set out to be achieved were met and as a result the risk assessment and required protection measures are now condensed in a compact, easy to use form. The work includes various tools in the form of Excel calculators and Microstation design templates that are not included in the published version.

Keywords

Lightning protection, IEC-62305, SFS-609

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	STANDARDIT JA VIRANOMAISET.....	7
3	PERUSTIETOA SALAMASTA JA SEN AIHEUTTAMISTA VAHINGOISTA ...	9
3.1	Salaman ominaisuudet	9
3.2	Salamoiden esiintyvyys.....	10
3.3	Salaman vaikutukset.....	12
3.4	Salamoiden aiheuttamat vahingot.....	13
3.5	Vahinkoesimerkkejä.....	14
4	RISKIARVIOINTI JA SUOJAUSPÄÄTÖS.....	16
4.1	Hengenmenetyksen riski.....	17
4.2	Julkisen palvelun menetyksen riski.....	20
4.3	Taloudellisen menetyksen riski	24
5	SALAMASUOJAUSJÄRJESTELMÄ.....	25
5.1	Ulkoisen salamasuojajärjestelmä.....	26
5.1.1	Salaman vastaanottorakenne.....	26
5.1.2	Alastulojohtimet	36
5.1.3	Maadoitusjärjestelmä	38
5.1.4	Ulkoisen salamasuojauksen rakennusmateriaalit.....	38
5.1.5	Suojaus kosketus- ja askeljäännitteitä vastaan alastulojohtimien läheisyydessä.....	38
5.2	Sisäinen salamasuojajärjestelmä.....	39
5.3	Salamasuojajärjestelmän huolto ja tarkastukset	40
6	SUOJAUSESIMERKKI JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	43
7	POHDINTA	46
	LÄHTEET.....	48
	LIITTEET	49
	TAULUKOT.....	83

ALKUSANAT

Haluan kiittää erityisesti Juha-Matti Huhtasta sekä Seppo Pastoa, jotka antoivat mahdollisuuden päästä työstämään opinnäytetyötä mielenkiintoisesta ja ajan-kohtaisesta aiheesta sekä lisäksi mahdollisuuden tutustua ABB Vaasa Power Grids- yksikön toimintaan kesätyön muodossa.

Kemissä 13.12.2018

Tommi Kuukasjärvi

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö sähköasemarakennusten salamasuojauksesta tehdään ABB Oy:n Vaasan Power Grids- yksikköön. Tavoitteena on selvittää viimeisimpiin pääasiassa IEC/EN - standardeihin perustuva menetelmä, jolla sähköasemarakennusten suojaustarve voidaan arvioida ja jolla voidaan suojata itse rakennukset sekä niissä työskentelevät henkilöt ja laitteet erilaisten salamaniskujen aiheuttamilta vahingoilta. Työ aloitetaan tarkoituksena käyttää sitä ohjeena lähinnä Suomessa sijaitsevien sähköasemarakennusten suojaamiseen, mutta siihen pyritään kuitenkin sisällyttämään riittävästi tietoa myös ulkomailla toimimisen kannalta. Tarkoituksena on esittää suojaustarpeen arviointi ja suojausperiaatteet niin selkokielisesti, organisoidusti ja tiiviisti, että suunnittelija saa työtä seuraamalla helposti aikaan toimivan suojaussuunnitelman, joka täyttää tarvittavat standardi-, viranomais- ja asiakasvaatimukset.

Työhön sisällytetään suojausesimerkki sähköasemarakennuksen suojauksesta. Tämä auttaa suunnittelijaa ymmärtämään standardien mukaiset suojaustarpeen arvioinnin ja itse suojauksen pääperiaatteet ja toimii käytännöllisenä ohjeena suunnittelutyölle. Esimerkin esitystapa valitaan siten, että suunnittelija pystyy soveltamaan sitä myös silloin kun rakennuksen sisältö sekä sen koko, muodot, materiaalit, ympäristö ja maantieteellinen sijainti muuttuvat. Suunnittelutyön avuksi tehdään Excel-ohjelma, joka mahdollistaa manuaalisen laskentatyön minimoinnin ja säästää sitä kautta aikaa ja vaivaa. Ohjelma myös minimoi virheellisen suojauspäätöksen ja mitoituksen mahdollisuuden kiireisessä työympäristössä ja auttaa suojauksesta vastaavaa henkilöä perustelevaan suojaustarpeen tai sen tarpeettomuuden asiakkaalle.

2 STANDARDIT JA VIRANOMAISET

Tämä opinnäytetyö perustuu suurimmaksi osaksi standardisarjaan IEC/EN 62305 sekä sen ymmärtämistä avustamaan kirjoitetun SFS 609-käsikirjan tietoihin. IEC/EN 62305 standardi koskee rakennusten, siellä olevien kohteiden sekä sinne tulevien ja sieltä lähtevien palvelujen (sähkö- ja telejohdot) suojaamista salamaukusten vaikutuksilta. SFS 609 -käsikirjan mukaan IEC:n standardit sekä niiden perusteella vahvistetut EN-standardit ovat suosituksia ja niissä esitetyt suojausohjeet eivät ole velvoittavia, vaikka teksteistä niin saatetaan ymmärtää. Viranomaiset voivat kuitenkin velvoittaa noudattamaan standardin ohjeita tehden siten niistä suunnittelu- ja asennustyötä sitovia. Ohjeet standardeissa on tehty laajalla asiantuntemuksella ja niitä noudattamalla saadaan aikaan toimiva ratkaisu rakennusten salamasuojaukselle, joka edustaa standardien kirjoittamishetkellä yleisesti hyväksyttyä tekniikan tasoa. (SFS 609-käsikirja 2009, 4.)

Huomioon otettavia viranomaisia salamasuojausta suunniteltaessa ovat sähköasennusalan, telealan ja rakennusalan viranomaiset. Suomessa velvoittavia sähköalan viranomaissäädöksiä antavat sähköasennusalan lainsäädännön valmistelusta ja sovelluksesta vastaava työ- ja elinkeinoministeriö TEM sekä telealasta vastaava viestintävirasto. Rakennusalan viranomaisten kanssa mahdollisesti neuvoteltavia asioita ovat betoniraidoitusten hitsaaminen ja perustusmaadoitusten käyttö. Lisäksi perustusten ja pohjan sekä kattorakenteiden kosteus- ja vesieristyksen mahdollisesta lävistämisestä tulee myös tarvittaessa keskustella rakennusviranomaisten kanssa. Tarve näille toimille voi tulla eteen maadoituksia ja muita suojauskomponentteja kytkiessä siten, että salamasuojauksen reitti muodostuu mahdollisimman lyhyeksi. (SFS 609-käsikirja 2009, 42-44.)

Säköturvallisuudesta määrää sähköturvallisuuslaki 1135/2016, mutta johtuen alla esitetystä lain toisen momentin (2§ lain soveltamisala) määrittelystä, se ei koske esimerkiksi rakennuksen suojaamista suoralta salamaniskulta.

” Tätä lakia sovelletaan sähkölaitteisiin ja -laitteistoihin, joita käytetään sähkön tuottamisessa, siirrossa, jakelussa tai käytössä ja joiden sähköisistä tai sähkömagneettisista ominaisuuksista voi aiheutua vahingon vaara tai häiriötä.” (Sähköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135)

Velvoittavasti salamasuojauksen toteutus määrätään Suomessa TEM:n säädöksillä ainoastaan kohteille, joissa valmistetaan, käsitellään tai varastoidaan palavia kaasuja, nesteitä tai räjähteitä. Sähköturvallisuusalan valvontaviranomainen TUKES valvoo salamasuojauksen toteuttamista näissä kohteissa. (SFS 609-käsikirja 2009, 42-44.) Maailmalla toimiessa tulee toimialueen säädökset selvittää erikseen ja noudattaa niitä.

3 PERUSTIETOA SALAMASTA JA SEN AIHEUTTAMISTA VAHINGOISTA

Moderni salatutkimus sai alkunsa 1800-luvun loppupuolella, mutta ilmiötä oli kuitenkin alettu tutkia tieteellisesti jo vuosisata aiemmin Benjamin Franklinin toimesta. Franklin kehitti ensimmäisen salamasuojauskomponentin, Franklinin maston, jota sovellettiin käytännössä hyvin tuloksin. Esimerkiksi St Marcon kello-torni Italian Venetsiassa vahingoittui salamaniskun seurauksena pahoin vuonna 1388 ja paloi poroksi vuonna 1417 sekä 1489. Myöhemmin vuosina 1548, 1565, 1653 ja 1745 se vahingoittui enemmän tai vähemmän vakavasti, jälleen salamaniskun seurauksena. Kun vuonna 1766 torni suojattiin Franklinin maadoitetulla mastolla, ei se enää kärsinyt vahinkoja. (Uman 2012, 12-15.)

3.1 Salaman ominaisuudet

Salama on lyhytaikainen ja suurivirtainen sähköpurkaus, jonka pituus mitataan tyypillisesti kilometreissä. Se syntyy, kun jokin ilmakehän osa saavuttaa sähkövarauksen tason, jossa varauksen sähkökenttien voimakkuus ylittää ilman eristyskyvyn. Yleisin salamoiden aiheuttaja on ukkospilvi, mutta salamoita esiintyy myös lumi- ja hiekkamyrskyissä sekä tulivuorten purkausten ylle muodostuvissa pilvissä. Salama voi syntyä jopa selkeällä säällä, josta on peräisin ilmaisu ”isku kirkkaalta taivaalta”. (Uman 2012, 15-17.)

Tässä työssä keskitytään nimenomaan suojaukseen maasalamoilta, eli salamoilta, joiden suunta on joko pilvestä maahan tai maasta pilveen. Näitä kuvataan termeillä negatiivinen ja positiivinen salama, mainitsemisjärjestyksessä. Muita mahdollisia salamoita ovat pilvien sisäiset ja niiden väliset salamat sekä pilvien ja niitä ympäröivän ilman väliset salamat.

Noin 90% maasalamoista on negatiivisia ja 10% positiivisia. Negatiiviset maasalamat ovat siis huomattavasti yleisempiä, mutta positiiviset voimakkaampia. Salamanvirran huippuarvot vaihtelevat joistakin sadoista ampeereista aina satoihin kiloampeereihin. (SFS 609-käsikirja 2009, 21.)

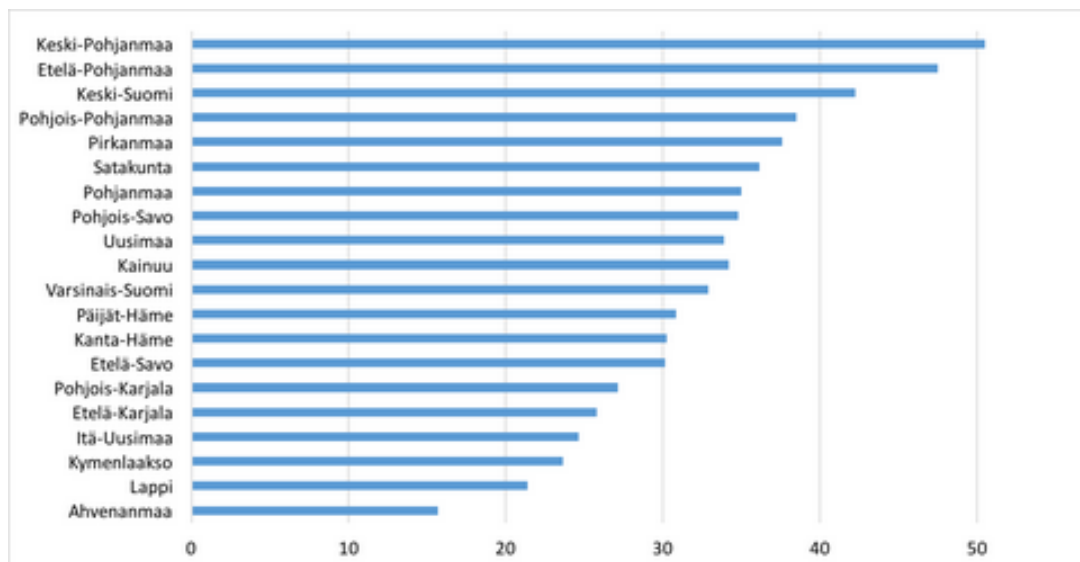
Salaman aiheuttamien vahinkojen kannalta sen tärkeimmät ominaisuudet ovat virran huippuarvo, virran muutosnopeus, varaus, ominaisenergia ja esiintymisti-

heys. Näitä ominaisuuksia käytetään suojausrakenteiden testauksen, mitoituksen ja valinnan pohjana sekä suojattavien kohteiden suojaustarpeen määrittelyyn ja suojaustason valintaan. (SFS 609-käsikirja 2009, 21.)

3.2 Salamoiden esiintyvyys

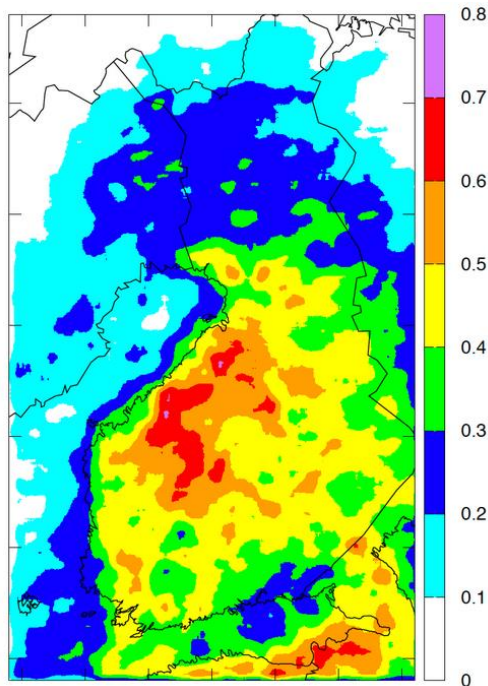
Maasalamoiden esiintymistiheydelle saadaan hyvin erilaisia arvoja riippuen tutkittavan alueen maantieteellisestä sijainnista. Seuraavassa on esitetty salamoiden esiintyvyys sekä Suomessa että maailmalla. Salaman aiheuttamien vahinkojen ja vaaratilanteiden kannalta suurempi salamatiheys tarkoittaa suurempaa todennäköisyyttä iskulle ja sitä kautta suurempaa vahinkojen mahdollisuutta.

Suomessa keskimääräinen maasalamatiheys on matala, vuodessa noin 0,4 salamaa neliökilometriä kohti. Maakuntakohtainen salamatiheys jakautuu alla olevan kuvion 1 mukaisesti. Siinä esiintyvyys on merkitty salamoita/100km², joten neliökilometriä vastaava tiheys saadaan, kun tämä jaetaan sadalla. Esimerkiksi Keski-Pohjanmaalla se on 50/100 eli 0,5 maasalamaa neliökilometriä kohti vuodessa. (Ilmatieteen laitos 2018.)



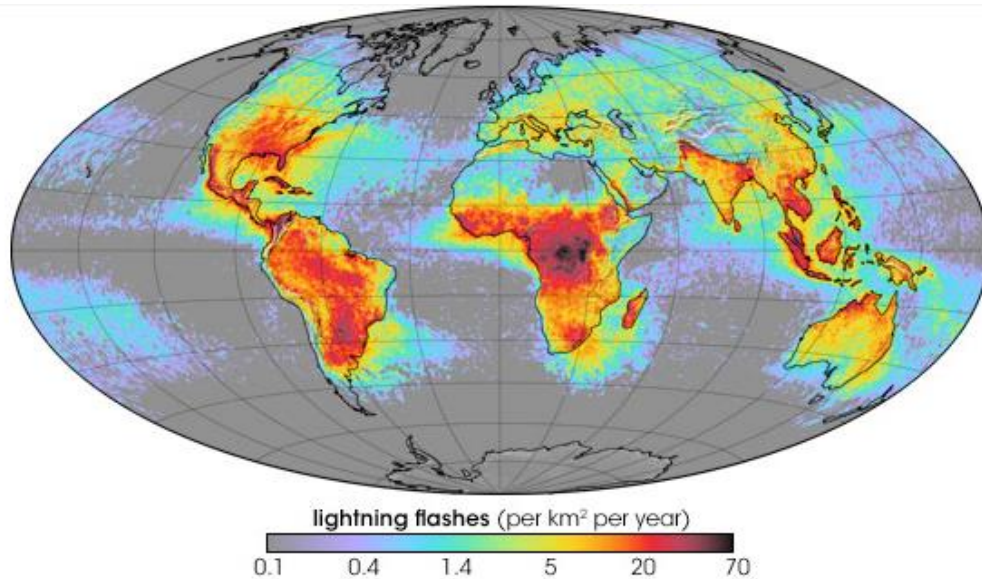
Kuvio 1. Maakuntakohtaiset keskimääräiset maasalamatiheydet. Yksikkö maasalamoita sadalla neliökilometrillä vuodessa (Ilmatieteen laitos 2018)

Kuviossa 2 on esitetty Suomen ilmatieteenlaitoksen kartta keskimääräisestä vuotuisesta maasalamiheydestä, josta voidaan määrittää halutun alueen salamoinnin määrä tarkemmin (Ilmatieteen laitos 2018).



Kuvio 2. Keskimääräinen vuotuinen maasalamiheys 1998-2016. Yksikkö maasalamiheys neliökilometrillä vuodessa (Ilmatieteen laitos 2018)

Ukkospilviä ja niiden aiheuttamia salamoita esiintyy eniten kosteilla ja lämpimillä alueilla. Suurimmat maasalamiheydet löytyvät siis tropiikista, jossa salammat voivat olla lähes päivittäinen ilmiö. Maapallolla on joka hetki käynnissä yli 2000 ukonilmaa ja joka sekunti salamoita iskee yhteensä yli sata jossakin päin maailmaa. Jo Keski- ja Etelä-Euroopassa keskimääräinen maasalamiheys on selvästi Suomea suurempi, esimerkiksi Saksassa noin 10-kertainen (SFS 609-käsikirja 2009, 7). Alla olevasta kuvioista nähdään koko maapallon maasalamiheydet samalla kartalla. Jos tarkempia maakohtaisia tilastoja ei ole saatavilla, voidaan lauhkealla vyöhykkeellä keskimääräinen maasalamiheys laskea IEC 62305-osan 2 mukaan vuosittaisista ukkospäivistä seuraavasti: maasalamiheys = 0.1 x vuosittaiset ukkospäivät (IEC 62305 – 2, 2010, 34). Eli jos vuosittaisia ukkospäiviä on esimerkiksi 50, muodostuu maasalamiheydeksi tällöin viisi salamaa vuodessa neliökilometriä kohti.



Kuvio 3. Keskimääräinen vuosittainen salamatiheys 1995-2002 (salamaa neliökilometriä kohden) (Lightning Guard 2018)

3.3 Salaman vaikutukset

Salamaniskun erilaiset vaikutusmekanismit ovat seuraavat:

- lämpövaikutukset (iskukohteen kuumentuminen ja sulaminen)
- lämpövaikutusten, kipinän tai valokaaren aiheuttama räjähdys-/syttymisherkän kaasun/muun materiaalin syttyminen tai räjähdys
- virtatielle osuvan melko huonosti johtavan materiaalin pirstoutuminen
- rakenteiden tai eristysten läpilyönti salaman virtatiellä
- salamavirran sähködynaamisten voimien aiheuttamat mekaaniset vauriot
- kosketus- ja askeljännitteiden muodostuminen ja sitä kautta ihmisten ja eläinten hengenvaara
- sähkö- ja elektroniikkalaitteiden rikkoontuminen salamavirran tai sen aiheuttamien sähkömagneettisten kenttien ja ylijännitteiden vaikutuksesta. (IEC 62305 – 2, 2010, 16.)

Rakennusten pääominaisuudet salaman vaikutusten kannalta ovat:

- rakenne (puu, tiili, betoni, teräsbetoni, teräsrunko)
- rakennuksen käyttötarkoitus (asuintalo, toimisto, maatila, teatteri, hotelli, koulu, sairaala, museo, kirkko, vankila, tavaratalo, pankki, tehdas, urheilualue)
- asukkaat ja sisältö (ihmiset ja eläimet, palavat tai palamattomat materiaalit, räjähtävät tai räjähtämättömät materiaalit, sähkö- ja elektroniikkajärjestelmien jännitekestoisuudet)
- rakennukseen liitetyt palvelut (sähkö- ja tietoliikennejohdot)
- toteutetut suojaustoimenpiteet (suojaustoimenpiteet fyysisten vahinkojen ja hengenvaaran vähentämiseksi sekä sisäisten järjestelmien vaurioiden vähentämiseksi)
- vaaran leviämisen uhka (evakuointivaikeudet, paniikinuhka, vaara ympäristölle ja ympäristön saastumisuhka). (IEC 62305 – 2, 2010, 14-15.)

Yllä mainitut rakennuksiin liittyvät ominaisuudet otetaan huomioon salamaniskun riskiä ja mahdollisia tuhoja arvioitaessa. Työn luvussa 4 (Riskiarviointi ja suojauspäätös) nähdään tarkemmin erilaisten kertoimien muodossa rakennuksen ominaispiirteiden vaikutus salamaniskun riskiin, mahdollisiin tuhoihin sekä sitä kautta itse suojaukseen.

3.4 Salamoiden aiheuttamat vahingot

Maasalamat aiheuttavat monenlaisia vahinkoja ja vaaratilanteita iskupaikastaan riippuen. Vahingon kohteita voivat olla niin rakennukset kuin niiden sisältämät tai ulkopuoliset sähkö- ja elektroniikka-laitteet, erilaiset sähkö- ja telekaapelit, veden-, kaasun- ja öljynjakeluun käytettävät putket sekä ihmiset ja eläimet. Vahingot voivat ulottua laajallekin iskupaikan ympäristöön riippuen salamaniskun ominaisuuksista ja iskukohteen ominaispiirteistä. Yleisimpiä vahinkoja ovat tulipalot

sekä sähkö- ja elektroniikkalaitteiden rikkoontumiset. Henkilövahingot ovat mahdollisia, mutta Suomessa ja maailmallaakin maakohtaisesti tarkasteltuna tilastojen mukaan suhteellisen harvinaisia. Karjaa ja kotieläimiä kuolee tai vahingoittuu vuosittain jonkin verran. Kokonaisuutena salamaniskut aiheuttavat kuitenkin maailman mittakaavassa vuosittain suuria tuhoja ja useita tuhansia ihmishengen menetyksiä. (Holle 2016, 1)

3.5 Vahinkoesimerkkejä

Salama on aiheuttanut Suomessa 10-vuotiskauden (1998-2007) aikana seuraavia vahinkoja:

- noin 1110 rakennuspaloa
- paloissa kuolleita 1
- paloissa loukkaantuneita 11
- puihin kohdistuneiden salamaniskujen aiheuttamia kuolemantapauksia 3
- savupiippuun kohdistuneiden salamaniskujen aiheuttamia kuolemantapauksia 1
- rakennuksiin kohdistuneiden salamaniskujen aiheuttamia kuolemantapauksia 2
- ukkospuuskissa on sattunut 4 hukkumista
- karjaa ja kotieläimiä arvioidaan kuolleen kymmeniä (ei pidetä tarkempia tilastoja). (SFS 609-käsikirja 2009, 31.)

Kaikkiaan ukkospuuskissa ja salamaniskuissa on kuollut keskimäärin noin 1 henkilö ja loukkaantunut 10 henkilöä vuodessa. Palojen aiheuttamat vahingot olivat palomiesten arvioimina vuosittain 3,6 miljoonaa euroa eli noin 2,5 % kaikkien rakennuspalojen vuosittaisista kokonaisvahingoista. Kokonaisvahingoilla tarkoitetaan tässä yhteydessä rakennus-, irtaimisto- ja keskeytysvahinkoja. Noin kaksi prosenttia Suomessa tapahtuvista suurvahingoista (korvaus yli 200 k€) vuodessa on salaman aiheuttamia, joka tarkoittaa keskimäärin kolmea salaman aiheutta-

maa suurpaloa vuosittain. Taloudellisesti 10-vuotiskauden aikana salaman aiheuttamat suurpalot ovat tulleet maksamaan noin 14 miljoonaa euroa, mikä on 1,5 % kaikkien suurpalojen korvauksista kyseisenä aikana. (SFS 609-käsikirja 2009, 31.)

SFS 609 -käsikirja antaa yhtenä hyvänä esimerkkinä salaman aiheuttamista vahingoista erään Suomessa sijaitsevan salamasuojaamattoman voimalan, jonka läheisyyteen osunut voimakas salamanisku tuhosi kolmen taajuusmuuttajan I/O-kortit, varastosäiliöiden mittauslaitteita, maakaasun paineenvähennysaseman mittausantureita sekä lankapuhelin-, paloilmoitin-, kulunvalvonta-, keskuskello- ja valvontakamerajärjestelmät. Myös kaasuturbiinien ohjausautomaation kortteja vaurioitui useita, eikä turbiineja saatu käynnistettyä. Hinnaksi pelkille varaosille arvioitiin 150k€. Todennäköisesti salamavirta löysi reitin voimalan elektroniikkalaitteisiin maadoitusten kautta. (SFS 609-käsikirja 2009, 32.)

4 RISKIARVIOINTI JA SUOJAUSPÄÄTÖS

Salamasuojauksen tarvetta pohdittaessa tulee huomioon ottaa monia asioita. Tätä varten standardisarja IEC/EN 62305 osa 2 esittää hyvin kokonaisvaltaisen riskialanyysimenetelmän, jonka avulla voidaan määritellä pitääkö tai kannattaako salamasuojaus toteuttaa. Suojauspäätös voi perustua myös ainoastaan siihen, että asiakas haluaa kohteelleen salamasuojauksen, vaikka viranomaiset tai riskianalyysi eivät sitä edellytäkään. Yleensä jos viranomaiset tai esimerkiksi joissakin tilanteissa vakuutusyhtiöt määräävät salamasuojauksesta, heillä on siihen määriteltynä riskiarviot ja tietynlainen suojausjärjestelmä, jonka asentajat vain toteuttavat. Suomessa salamasuojaus on viranomaismääräyksen mukaan pakollinen ainoastaan räjähdysvaarallisissa tiloissa, joten useimmissa tilanteissa päätös suojauksesta perustuu suunnittelijan arvioon suojauksen tarpeellisuudesta ja kannattavuudesta tai asiakkaan haluun salamasuojata rakennus. (SFS 609-käsikirja 2009, 42-44.)

Riskienarviointi voidaan standardin mukaan jakaa neljään erikseen tarkasteltavaan osioon, jotka sisältävät vuosittaisten vaarallisten tapahtumien lukumäärän arvioinnin, vahinkojen todennäköisyyden arvioinnin, menetysten arvioinnin sekä menetysten taloudellisen arvioinnin (IEC 62305-2, 44-60). Kokonaisvaltainen riskien arviointi on erittäin suuri työ ja siihen liittyy aina melko suuria epävarmuuksia. SFS 609- käsikirjassa sanotaankin, että riskianalyysin tärkein tulos ei ole siitä saatavat lukuarvot vaan järjestelmän toiminnan, sen eri tekijöiden ja niiden välisen kytkösten selvittäminen. Käymällä analyysi systemaattisesti lävitse opitaan näkemään mitkä tekijät vaikuttavat riskeihin eniten ja näin helpotetaan tulevaisuuden päätöksentekoa. Tähän mennessä riskianalyysiä ei ole Suomessa käytetty ja päätökset salamasuojauksesta ja sen tasosta ovat syntyneet sattumanvaraisesti. (SFS 609-käsikirja 2009, 53-55.)

Johtuen analyysiin liittyvistä lukuisista muuttujista on sen suorittamiseksi laadittava käytännössä jonkinlainen laskentaohjelma esimerkiksi Exceliä hyväksikäyttäen. Tällöin on helppo kokeilla mikä on minkäkin muuttujan vaikutus arvioitaviin R1, R2 ja R4 riskeihin (määritellään alla). Ohjelman avulla on myös kätevä luoda itselle tietynlainen yleiskuva aiheesta ja oppia näkemään millä riskikomponenteilla on suurin vaikutus yllä mainittuihin riskeihin.

Työn osiossa 4 pyritään esittämään IEC/EN 62305 – standardin osan 2 riskianalyysimenetelmä muodossa, jossa sitä voidaan käytännöllisesti soveltaa sähköasemarakennuksien riskianalyysin tekoon. Jos halutaan syvempi ymmärrys siitä, miten seuraavassa luvussa esitetyt yhtälöt on johdettu, onnistuu se parhaiten tutustumalla suoraan mainittuun standardin osaan. Alla on yleiskuvaus tässä osiossa määriteltävistä riskeistä.

Salamaniskun aiheuttamat riskit voidaan jakaa neljään luokkaan:

- R1 Hengen menetyksen riski
- R2 Julkisen palvelun menetyksen riski
- R3 Kulttuuriperinnön menetyksen riski
- R4 Taloudellisen menetyksen riski

Sähköasemarakennuksien kohdalla näistä kyseeseen tulevat riskit R1, R2 ja R4. Kun riskit on laskettu, verrataan tuloksia hyväksyttävään riskiarvoon R_T . Hyväksyttävät riskiarvot (R_T) nähdään taulukosta 1.

Jos jokin riskeistä on riskiarvion perusteella yli hyväksyttävän suositusarvon, suosittelee standardi toimenpiteitä sen alentamiseksi hyväksyttävälle tasolle keinoin, jotka käydään läpi työn myöhemmissä osissa. Pakollista tämä kuitenkin on vain viranomaisen niin määrätessä.

4.1 Hengenmenetyksen riski

Hengenmenetyksen riski (R1) voidaan laskea alla esitetystä kuviosta 4 nähtävän kaavan perusteella, joka on johdettu IEC-62305 standardin osan 2 tietojen pohjalta. Riski R1 koostuu osariskikomponenteista RA, RB, RU ja RV, jotka puolestaan koostuvat eri muuttujista alla olevan kuvion 4 mukaisesti. Hengenmenetyksen riskin kokonaisriskitaso muodostuu osariskikomponenttien yhteenlaskun tuloksena. Opinnäytetyön liiteosioista nähdään, miten arvot kuviossa 4 oleville muuttujille määritetään, ja kuvion alta voidaan lukea selitykset termeille. Jos esimerkiksi halutaan määrittää arvo muuttujalle Ads1, mennään liitteiden kohtaan Ads1 ja lasketaan arvo sen ohjeiden perusteella.

Huomioi, että itse liitteissä ei ole lähdeviitteitä vaan ne nähdään kuvion 5 alla olevien termien selitysten perästä.

$$R_A = A_{ds1} * C_D * N_G * P_A * r_t * L_T * \left(\frac{n_z}{n_t}\right) * \left(\frac{t_z}{8760}\right)$$

$$R_B = A_{ds1} * C_D * N_G * P_B * r_p * r_f * h_z * L_f * \left(\frac{n_z}{n_t}\right) * \left(\frac{t_z}{8760}\right)$$

$$R_U = A_{ds3} * N_G * P_U * r_t * L_T * \left(\frac{n_z}{n_t}\right) * \left(\frac{t_z}{8760}\right)$$

$$R_V = A_{ds3} * N_G * P_V * r_p * r_f * h_z * L_f * \left(\frac{n_z}{n_t}\right) * \left(\frac{t_z}{8760}\right)$$

$$R_I = R_A + R_B + R_U + R_V$$

Kuvio 4. Hengenmenetyksen riskin laskukaava

- R_A osariskikomponentti, joka kuvaa ihmisten ja eläinten loukkaantumisen ja hengenmenetyksen riskiä kosketus- ja askeljäännitteiden vuoksi rakennuksen sisällä ja kolmen metrin etäisyydellä salamasuojauksen alastulojohtimista. Osariskikomponentin R_A aiheuttaa salamanisku rakennukseen (IEC-62305 -2, 2010, 21)
- R_B osariskikomponentti, joka kuvaa fyysisen vahingon ja hengenmenetyksen riskiä salamaniskun aiheuttaman kipinöinnin ja siitä seuraavan tulipalon tai räjähdysen seurauksena. Osariskikomponentin R_B aiheuttaa salamanisku rakennukseen (IEC-62305 -2, 2010, 21)
- R_U osariskikomponentti, joka kuvaa ihmisten ja eläinten vahingoittumisriskiä rakennuksen sisälle muodostuvan kosketusjännitteen vaikutuksesta. Osariskikomponentin R_U aiheuttaa salamanisku rakennukseen liitettyyn johtoon (IEC-62305 -2, 2010, 21)
- R_V osariskikomponentti, joka kuvaa rakennuksen fyysisen vahingon riskiä, kun salamavirta kulkeutuu rakennukseen sähkö- ja/tai telejohtoja pitkin. Seurauksena voi olla palo tai räjähdys johtuen salaman aiheuttamasta vaarallisesta kipinöinnistä yleensä sähkö- ja/tai telejoh-

	don liittymispisteessä rakennukseen. Osariskikomponentin R_V aiheuttaa salamanisku rakennukseen liitettyyn johtoon. (IEC-62305 - 2, 2010, 21)
A_{DS1}	rakennuksen salamoiden keruupinta-ala, joka voidaan laskea liitteen 1 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 34; SFS 609-käsikirja 2009, 49)
A_{DS3}	rakennukseen liitetyn sähkö- tai telejohdon salamoiden keruupinta-ala, joka voidaan laskea liitteen 3 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 40)
C_D	rakennuksen ympäristön huomioon ottava kerroin, joka voidaan määrittää liitteen 5 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 38-39)
N_G	alueen keskimääräinen maasalamiheys, joka voidaan määrittää liitteen 6 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 34)
P_A	tarkoittaa kosketus- ja askeljäännitteistä aiheutuvaa sähköiskun todennäköisyyttä ja voidaan määrittää liitteen 15 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 42)
P_B	todennäköisyys P_B riippuu siitä, onko salamasuojausjärjestelmää asennettu ja mikä sen luokka on. Todennäköisyys P_B voidaan määrittää liitteen 16 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 43)
P_U	todennäköisyys P_U kuvaa rakennukseen liitettyyn johtoon iskevän salaman aiheuttamaa sähköiskun ja siitä seuraavan vamman todennäköisyyttä. Todennäköisyys P_U voidaan määrittää liitteen 19 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 46-47)
P_V	todennäköisyys P_V kuvaa fyysisen vahingon todennäköisyyttä rakennukselle, kun salama iskee rakennukseen liittyvään johtoon. Todennäköisyys P_V voidaan määrittää liitteen 20 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 48)
r_t	lattian tai maan johtavuudesta riippuva kerroin, joka voidaan määrittää liitteen 7 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 52)
L_T	tyypillinen hengenmenetykseen sähköiskusta, joka voidaan määrittää liitteen 10 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 51)
n_z/n_t	tutkittavan alueen henkilöiden osuus koko rakennuksen henkilökunnasta. Arvo voidaan määrittää liitteen 13 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 51)
t_z	paikallaoloaika tuntia vuodessa. (IEC 62305 – 2, 2010, 51)

r_p	sammutusjärjestelmän tulipalon riskiä alentava kerroin, joka voidaan määrittää liitteen 8 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 52)
r_f	rakenteiden palavuuden ja palokuorman kerroin, joka voidaan määrittää liitteen 9 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 52)
h_z	erityisiä vaaroja huomioonottava kerroin, joka voidaan määrittää liitteen 14 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 53)
L_F	tyypillinen hengenmenetyks rakennuksen vahingoittuessa fyysisesti esimerkiksi tulipalossa. Arvo voidaan määrittää liitteen 11 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 54)

4.2 Julkisen palvelun menetyksen riski

Julkisen palvelun menetyksen riski (R2) voidaan laskea alla esitetystä kuviosta 5 nähtävän kaavan perusteella, joka on johdettu IEC-62305 standardin osan kaksi tietojen pohjalta. Riski R2 koostuu osariskikomponenteista RB, RC, RM, RV, RW ja RZ, jotka puolestaan koostuvat eri muuttujista kuvion 5 mukaisesti. Julkisen palvelun riskin kokonaisriskitaso muodostuu osariskikomponenttien yhteenlaskun tuloksena. Opinnäytetyön liitteistä nähdään, miten arvot kuviossa 5 oleville muuttujille määritetään, ja kuvion alta voidaan lukea selitykset termeille. Jos esimerkiksi halutaan määrittää arvo muuttujalle Ads1, mennään liitteiden kohtaan Ads1 ja lasketaan arvo sen ohjeiden perusteella.

Huomioi, että itse liitteissä ei ole lähdeviitteitä vaan ne nähdään kuvion 5 alla olevien termien selitysten perästä.

$$R_B = A_{ds1} * C_D * N_G * P_B * r_p * r_f * L_f * \left(\frac{n_z}{n_t}\right)$$

$$R_C = A_{ds1} * C_D * N_G * P_C * L_O * \left(\frac{n_z}{n_t}\right)$$

$$R_M = A_{ds2} * N_G * P_M * L_O * \left(\frac{n_z}{n_t}\right)$$

$$R_V = A_{ds3} * N_G * P_V * r_p * r_f * L_f * \left(\frac{n_z}{n_t}\right)$$

$$R_W = A_{ds3} * N_G * P_W * L_O * \left(\frac{n_z}{n_t}\right)$$

$$R_Z = A_{ds4} * N_G * P_Z * L_O * \left(\frac{n_z}{n_t}\right)$$

$$R2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z$$

Kuvio 5. Julkisen palvelun menetyksen laskukaava

- R_B osariskikomponentti, joka kuvaa julkisen palvelun menetyksen riskiä salamaniskun aiheuttaman kipinöinnin ja siitä seuraavan tulipalon tai räjähdysten seurauksena. R_B riskin aiheuttaa suora salamanisku rakennukseen. (IEC-62305 -2, 2010, 21)
- R_C osariskikomponentti, joka kuvaa sisäisten järjestelmien rikkoontumisen riskiä salaman aiheuttaman sähkömagneettisen pulssin vaikutuksesta. R_C riskin aiheuttaa suora salamanisku rakennukseen. (IEC-62305 -2, 2010, 21)
- R_M osariskikomponentti, joka kuvaa sisäisten järjestelmien rikkoontumisen riskiä salaman aiheuttaman sähkömagneettisen pulssin vaikutuksesta. R_M riskin aiheuttaa salamanisku rakennuksen lähialueelle jopa 2km päässä rakennuksesta. (IEC-62305 -2, 2010, 21)
- R_V osariskikomponentti, joka kuvaa fyysisen vahingon riskiä, kun salamavirta kulkeutuu rakennukseen sähkö- ja/tai telejohtoja tai putkistoja pitkin. Seurauksena voi olla palo tai räjähdys johtuen salaman

- aiheuttamasta vaarallisesta kipinöinnistä yleensä sähkö- ja/tai telejohdon tai putkiston liittymispisteessä rakennukseen. R_V riskin aiheuttaa salamanisku rakennukseen liitettyyn sähkö- tai telejohtoon tai putkistoon. Huomaa, että, jos putkistot maadoitettu niitä ei tarvitse ottaa huomioon (pätee myös alla oleviin osariskikomponentteihin. (IEC-62305 -2, 2010, 21)
- R_W osariskikomponentti, joka kuvaa sisäisten järjestelmien rikkoontumisen riskiä rakennukseen liittyviin johtoihin indusoituneiden ja sitä kautta rakennukseen siirtyvien ylijännitteiden vuoksi. R_W riskin aiheuttaa salamanisku rakennukseen liitettyyn sähkö- tai telejohtoon tai putkistoon. (IEC-62305 -2, 2010, 21)
- R_Z osariskikomponentti, joka kuvaa sisäisten järjestelmien rikkoontumista rakennukseen liittyviin johtoihin indusoituneiden ylijännitteiden vuoksi. R_Z riskin aiheuttaa salamanisku rakennukseen liitetyn sähkö- tai telejohdon tai putkiston lähialueelle. (IEC-62305 -2, 2010, 21)
- A_{DS1} rakennuksen salamoiden keruupinta-ala voidaan laskea liitteen 1 perusteella (IEC-62305 -2, 2010, 34; SFS 609-käsikirja 2009, 49)
- A_{DS2} rakennuksen lähialueen salamoiden keruupinta-ala, joka voidaan laskea liitteen 2 perusteella. (IEC-62305 -2, 2010, 39)
- A_{DS3} rakennukseen liitetyn sähkö- tai telekaapelin salamoiden keruupinta-ala, joka voidaan laskea liitteen 3 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 40)
- A_{DS4} rakennukseen liitetyn sähkö- tai telekaapelin lähialueen salamoiden keruupinta-ala, joka voidaan laskea liitteen 4 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 41)
- C_D rakennuksen ympäristön huomioon ottava kerroin, joka voidaan määrittää liitteen 5 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 39)
- N_G alueen keskimääräinen maasalamaatiheys, joka voidaan määrittää liitteen 6 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 34)
- P_B todennäköisyys P_B riippuu siitä, onko salamasuojausjärjestelmää asennettu ja mikä sen luokka on. Todennäköisyyden P_B arvo voidaan laskea liitteen 16 perusteella. (IEC 62305-2, 2010, 43)
- P_C kuvaa todennäköisyyttä sille, että salaman isku rakennukseen aiheuttaa sisäisten järjestelmien rikkoontumisen. Todennäköisyyden

- P_C arvo voidaan määrittää liitteen 17 perusteella. (IEC 62305-2, 2010, 43-44)
- P_M todennäköisyys P_M kuvaa sisäisten järjestelmien rikkoontumisen todennäköisyyttä, kun salama iskee rakennuksen läheisyyteen. Arvo voidaan määrittää liitteen 18 perusteella. (IEC 62305-2, 2010, 45-46)
- P_V todennäköisyys P_V kuvaa fyysisen vahingon todennäköisyyttä rakennukselle, kun salama iskee rakennukseen liittyvään johtoon. Arvo voidaan määrittää liitteen 20 perusteella. (IEC 62305-2, 2010, 48)
- P_W todennäköisyys P_W kuvaa fyysisen vahingon todennäköisyyttä rakennukselle, kun salama iskee rakennukseen liittyvään johtoon. Arvo voidaan määrittää liitteen 21 perusteella. Huomaa, että P_V ja P_W eivät ole samoja, vaikka määritelmä on sama, koska ne kuuluvat eri osariskikomponenttiin, kuten kaavasta nähdään. (IEC 62305-2, 2010, 48)
- P_Z todennäköisyys P_Z kuvaa sisäisten järjestelmien rikkoontumisen todennäköisyyttä, kun salama iskee rakennukseen liitetyn johdon lähi-alueelle. Arvo voidaan määrittää liitteen 22 perusteella. (IEC 62305-2, 2010, 48)
- n_z suojausarvioinnin alla olevan rakennuksen osan palvelema asiakasmäärä (IEC 62305 – 2, 2010, 54)
- n_t suojattavan rakennuksen palvelema kokonaisasiakasmäärä (IEC 62305 – 2, 2010, 54)
- r_p sammutusjärjestelmän tulipalon riskiä alentava kerroin, joka voidaan määrittää liitteen 8 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 53)
- r_f rakenteiden palavuuden ja palokuorman kerroin, joka voidaan määrittää liitteen 9 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 54)
- L_F tyypillinen keskimääräinen lukumäärä palvelun menettäviä asiakkaita salaman aiheuttaman fyysisen vahingon seurauksena suhteellisuuservolla ilmaistuna. Arvo voidaan määrittää liitteen 11 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 53)
- L_o tyypillinen keskimääräinen lukumäärä palvelun menettäviä asiakkaita sisäisten järjestelmien rikkoontumisen seurauksena standardin mukaisella suhteellisuuservolla ilmaistuna. Arvo voidaan määrittää liitteen 12 perusteella. (IEC 62305 – 2, 2010, 53-54)

4.3 Taloudellisen menetyksen riski

Taloudellisen menetyksen riskiä voidaan arvioida yksinkertaisesti siten, että miettään, mitä erilaiset salamasuojauskeinot tulisivat maksamaan ja toisaalta mitä kustannuksia salamanisku voi aiheuttaa. Jos taloudelliselle riskille halutaan jokin lukuarvo, saadaan se automaattisesti edeltävän luvun (4.2) riskiarvioinnista. Suojaustoimenpiteet eivät muutu siitä, miten ne on hengen menetyksen- ja julkisen palvelun menetyksen riskin arvioinnin perusteella määritelty, jos halutaan vain päästä tilanteeseen, jossa riskitaso pysyy standardin suositusten alapuolella (SFS 609-käsikirja 2009, 52; IEC 62305-3, 2010, 24).

Luvuista 3.3-3.5 voidaan katsoa salaman erilaisia vaikutuksia sekä vahinkoesimerkkejä ja miettiä niiden avulla tapauskohtaisesti paljonko mahdollisille vahingoille voisi tulla hintaa. Koska asemilla on paljon kalliita laitteita, voi niiden rikkoontuessa salamaniskulle tulla hintaa reilustikin ja sen jälkeen voidaan vielä kysyä, paljonko mahdollinen siirron tai osittaisen siirron keskeytys vaikkapa viikon ajaksi tulisi maksamaan. Myös uusien laitteiden asennuskulut ja testaaminen maksavat ja jos oletetaan, että itse rakennukseen tulee jotakin vaurioita, saattavat kokonaiskustannukset salamaniskulle nousta yllättävän suuriksi.

5 SALAMASUOJAUSJÄRJESTELMÄ

Salamasuojaus voidaan jakaa ulkoiseen ja sisäiseen suojaukseen. Tässä luvussa selviää, miten nämä suunnitellaan sähköasemarakennuksiin sopivaksi sekä miten saadaan aikaan luokkien I, II, III ja IV mukaiset salamasuojausjärjestelmät.

Salamasuojausluokasta riippuvat tekijät ovat lueteltu alla:

- salamaparametrit
- vastaanottorakenteen asemointiin käytetyn pallomenetelmän pallon säde, vastaanottorakenteena käytetyn johdinverkon silmukkokoko sekä vastaanottorakenteena käytetyn metallitangon suojakulma tangon pituuden funktiona
- tyypilliset suositeltavat etäisyydet alastulojohtimien välillä
- erotusväli vaarallisen kipinöinnin estämiseksi. (IEC-62305 -3, 2010, 16.)

Salamasuojausluokasta riippumattomat tekijät ovat lueteltu alla:

- potentiaalintasaus
- vastaanottorakenteena käytettyjen metallilevyjen tai metalliputkien seinämien tai umpitangon minimi poikkipinta-ala
- salamasuojausmateriaalit ja niiden käyttöolosuhteet
- vastaanottorakenteen, alastulojohtimien ja maadoituselektrodien rakenne, minimi poikkipinta-ala ja minimi etäisyydet
- yhdistysjohtimien minimi poikkipinta-ala. (IEC-62305 -3, 2010,16.)

5.1 Ulkoinen salamasuojajärjestelmä

Ulkoisen salamasuojajärjestelmän tarkoitus on ottaa vastaan rakennukseen kohdistuva salamanisku sekä johtaa ja hajottaa salamavirta maahan aiheuttamatta lämpövaurioita, mekaanisia vaurioita tai vaarallista kipinöintiä, joka voi johtaa tulipaloon tai räjähdykseen. (IEC-62305 -3, 2010, 17)

Useimmissa tapauksissa ulkoinen salamasuojajärjestelmä voidaan kiinnittää suojattavaan rakennukseen. Jos rakennus on paloherkkää materiaalia tai kohteeseen liittyy räjähdyksen vaaraa, pitää harkinnan alle ottaa rakennuksesta eristetyin ulkoisen salamasuojajärjestelmän käyttö (IEC-62305 -3, 2010, 17). Tätä vaihtoehtoa ei käsitellä tässä työssä, sillä sähköasemarakennusten tapauksessa ulkoisen salamasuojajärjestelmän kiinnitys rakennukseen ei aiheuta yllä mainittuja ongelmia.

Ulkoinen salamasuojaus koostuu alla luetelluista osista:

- salaman vastaanottorakenne
- vastaanottorakenteesta maadoitukseen kytketyt alastulojohtimet
- maadoitusjärjestelmä. (IEC-62305 -3, 2010, 18.)

5.1.1 Salaman vastaanottorakenne

Kun rakennukseen asennetaan oikein suunniteltu vastaanottorakenne, pienenee riski salaman aiheuttamalle fyysiselle vahingolle huomattavasti. Vastaanottorakenteina voidaan käyttää mitä tahansa seuraavista komponenteista tai niiden yhdistelmistä:

- yksi tai useampi pystytanko/masto
- johdinverkko
- riippulanka. (IEC-62305 -3, 2010, 18.)

Standardi IEC-62305 ei ota kantaa siihen mikä näistä menetelmistä on paras tai mikä huonoin vaan kohtelee jokaista samanarvoisena. (IEC-62305 -3, 2010, 85)

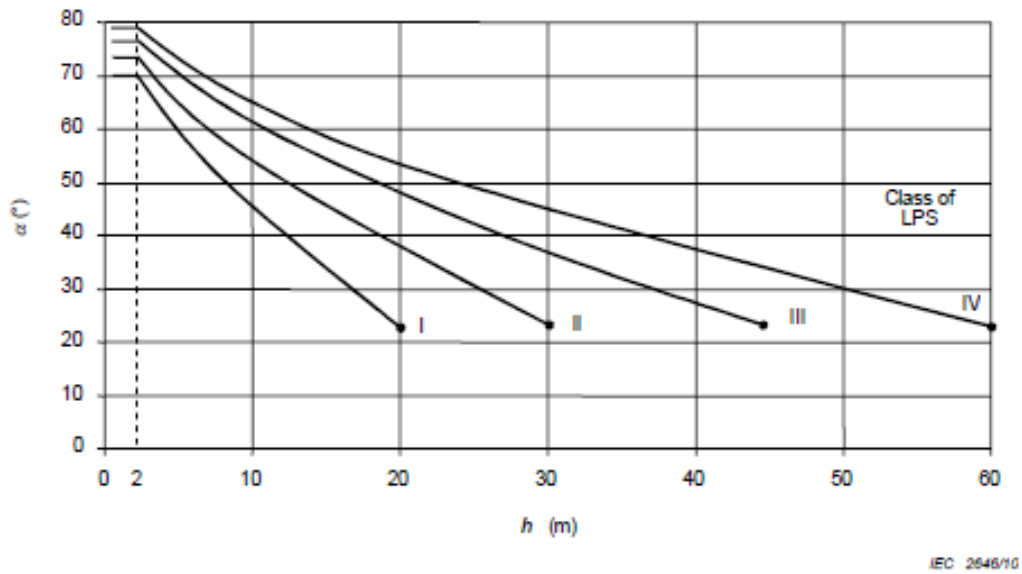
Alla esitetään, miten salaman vastaanottorakenne mitoitetaan ja asemoidaan kolmella eri menetelmällä, joita ovat:

- suojakulmamenetelmä
- pallomenetelmä
- johdinverkkomenetelmä. (IEC-62305 -3, 2010, 18.)

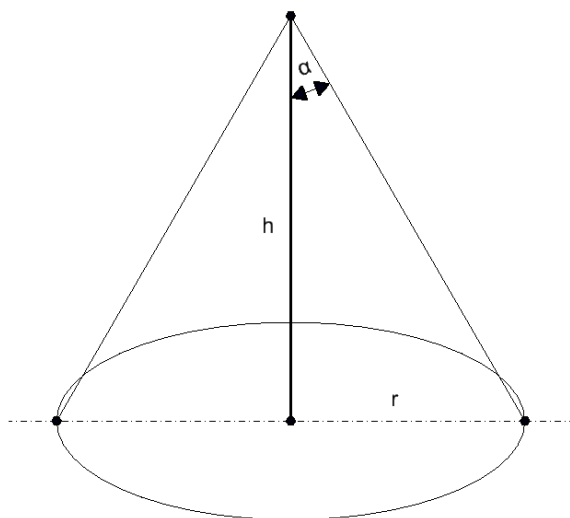
Standardin IEC-62305 mukaan jokaista menetelmää voidaan käyttää joko yksin tai yhdessä muiden menetelmien kanssa kohteen vastaanottorakenteen asemointiin (IEC-62305 -3, 2010, 85). Valinta riippuu siitä, mikä menetelmä on missäkin tilanteessa käytännöllisin. Todettakoon, että itse en ole vielä löytänyt sähköasemaa, jonka vastaanottorakennetta ei voitaisi mitoittaa ja asemoida pelkästään suojakulmamenetelmän avulla tai johdinverkkojen mitoitus- ja asemointiperiaatteita käyttäen. Jos rakennus on alle 60 metriä korkea, ei rakennuksen seiniin osuvia iskuja tarvitse ottaa huomioon, koska käytännössä on todettu, että iskun mahdollisuus seiniin on näissä tilanteissa mitätön. (IEC-62305 -3, 2010, 19; SFS 609-käsikirja 2009, 71)

Suojakulmamenetelmä

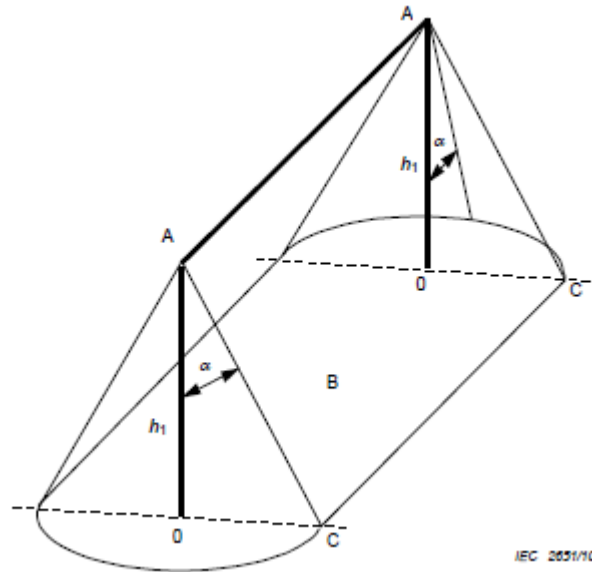
Suojakulmamenetelmällä voidaan määrittää sekä ukkosmastojen että riippulankojen suojausalue. Ideana on, että määritetty suojausalue peittää suojattavat rakenteet. Suojaustangon suojausalue sekä riippulangan suojaama alue voidaan määrittää alla olevien kuvioiden 6,7,8 avulla. Kuvien jälkeen annetaan esimerkki siitä, miten suojausalueen määrittäminen niiden avulla tapahtuu.



Kuvio 6. Suojakulmamenetelmän suojaustangon pituus ja sitä vastaava suoja- kulma eri suojausluokissa (IEC 62305-2, 2010, 19)



Kuvio 7. Suojakulmamenetelmällä asemoidun suojausmaston kartionmuotoinen suojausalue (IEC-62305-3, 2010, 39)



Kuvio 8. Suojausmastojen ja riippulangan muodostama suojausalue (IEC-62305-3, 2010, 40)

Ukkosmaston ja riippulangan suojausalueen määrittäminen:

Valitaan, halutaanko käyttää I, II, III vai IV suojausluokan perusteella mitoitettua ukkosmastoa ja katsotaan kuviosta 6 miten suojakulma muuttuu maston pituuteen eri luokissa.

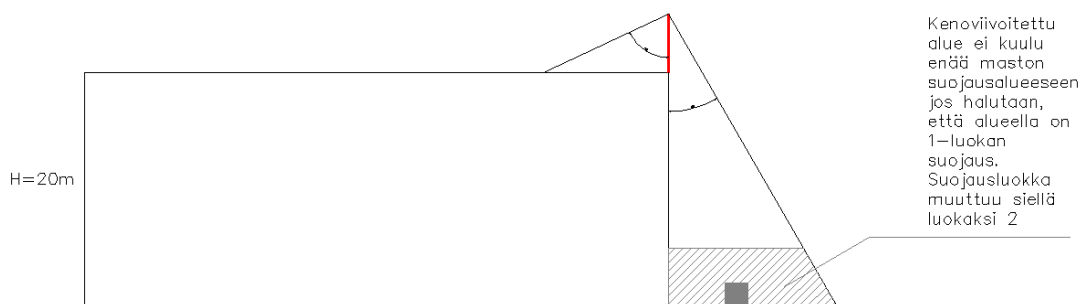
Esimerkiksi I-luokkaan mitoitettun pystytangon suojauskulma on 20 m korkealla tangolla noin 22 astetta ja I-luokkaan mitoitettun 2 m korkean tangon suojauskulma on noin 70 astetta. Jos taas käytetään mitoitukseen suojausluokkaa II, on suojauskulma 30 m korkealla tangolla noin 22 astetta ja 2 m korkealla tangolla noin 72 astetta. Luokkien III & IV suojaustangon pituuden ja suojakulman välinen riippuvuus voidaan lukea niiden käyristä samalla periaatteella. Suojauskulmat eivät muutu enää 2 m lyhyemmällä tangon pituuksilla. (IEC-62305-3, 2010, 19.)

Suojaustangon muodostama kartionmuotoinen suojausalue nähdään kuviosta 7. Suojausalueena toimivan kartion säde (r) voidaan määrittää seuraavasti:

$$r = \tan(\alpha^\circ) \times \text{tangon pituus (m)}$$

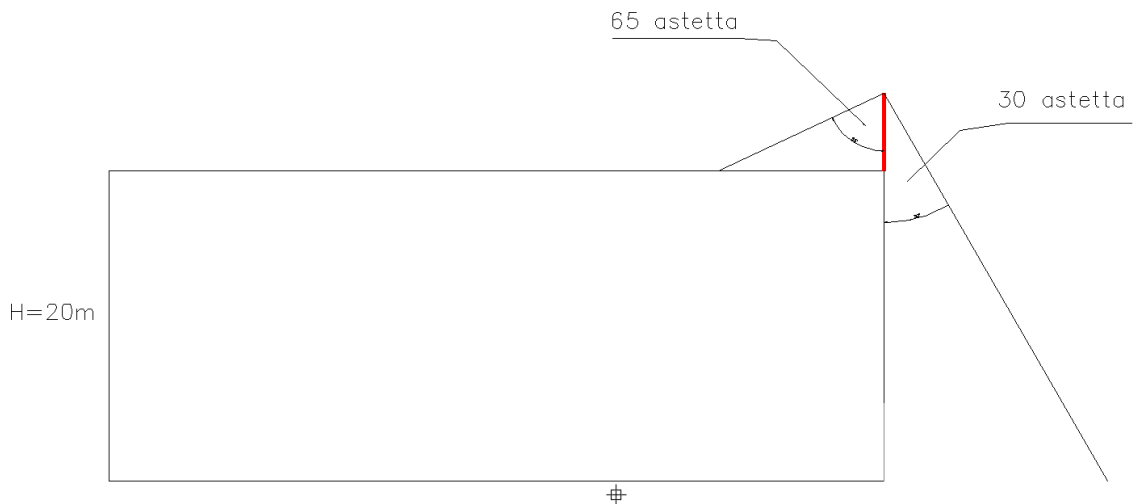
Esimerkiksi I-luokkaan mitoitettun 2 m korkean ukkosmaston muodostama kartionmuotoisen suojausalueen säde (r) = $\tan(70) \times 2 \text{ m} = 5,49 \text{ m}$.

Suojattavan kohteen katto voidaan aina suojata asemoimalla vastaanottorakenne suojakulmamenetelmän avulla, mutta jos halutaan käyttää katolle asennettua mastoa suojaamaan myös maassa olevia kohteita, tulee vastaan valitusta suojausluokasta riippuvat korkeuden rajoitukset tätä menetelmää käytettäessä. Esimerkiksi jos olisi päädytty suojaamaan osa rakennuksen katosta 1- luokan suojauksella käyttäen siihen ukkosmastoa ja haluttaisiin, että alla olevassa kuviossa 9 oikealla näkyvä 2 m korkea pienempi kohde suojattaisiin rakennukseen katolle sen päätyyn asennettavalla samalla 5 m korkealla 1-luokkaan mitoitetulla suojausmastolla, ei tämä olisi enää mahdollista, jos halutaan, että myös pienemmän kohteen suojausluokka on 1. Kuvioista 6 nähdään, että 1-luokan suojakulmamenetelmän mitoituskäyrä loppuu 20 m korkeuteen. Jos 5 m maston yläpäästä lasketaan 20 m alaspäin huomataan, että suojausalue loppuu 5 m:n korkeudelle maasta katsottuna ja näin ollen maassa oleva 2 m korkea suojattava kohde ei enää kuulu maston suojausalueeseen. Jos kuitenkin todettaisiin, että rakennuksen vieressä olevalle pienemmälle kohteelle riittää 2- luokan suojaus, olisi tämä yksi 5 m masto riittävä sen suojaamiseksi, sillä 2- luokan kuvioista 6 nähtävä käyrä ulottuu 30 m korkeuteen saakka. Toinen vaihtoehto on tietenkin suojata kohde omalla ukkosmastolla ja mitoittaa se luokan 1 mukaan, jos välttämättä katsotaan, että se vaatii näin hyvän suojauksen. (IEC-62305-3, 2010, 86-88.)



Kuvio 9. Suojakulmamenetelmän rajoitukset

Toinen huomioonotettava seikka suojakulmamenetelmää käyttäessä on se, että esimerkiksi alla olevan kuvion 10 mukaisesti rakennuksen katon päätyyn sijoitetun 5 m maston suojauskulma määräytyy maston korkeuden mukaan katolle päin katsottuna, mutta rakennuksen ulkopuolelle se määräytyy maasta maston yläpään mitatun korkeuden mukaan. Eli tässä esimerkissä suojauskulma olisi 2-luokan mastolla noin 65 astetta katto referenssitasona ja noin 30 astetta maa referenssitasona, kuten kuviosta 10 nähdään. Maston ei tarvitse olla kiinni rakennuksen reunassa vaan se voidaan sijoittaa myös keskeemmälle kattoa. Tällöin se luonnollisesti suojaa pienemmän alueen rakennuksen ulkopuolella, mutta toisaalta suuremman osan kattoa. (IEC-62305-3, 2010, 86-88.)

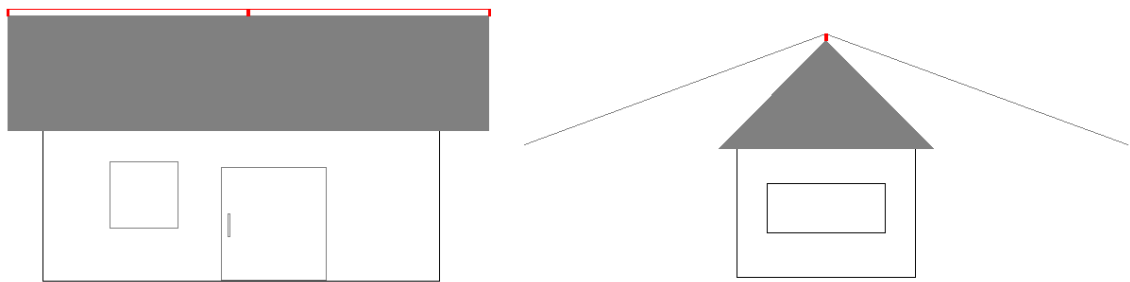


Kuvio 10. Maston suojakulman määrittäminen

Riippulangan suojausalueen muoto nähdään kuviosta 8. Suojausalueen määrittäminen tapahtuu edellisen kohdan kaltaisesti, sillä riippulanka vaatii aina kaksi pystytankoa, jonka yläosaan se kiinnitetään. Riippulankamenetelmän suojausluokka määräytyy pystytankojen pituuden perusteella ja se voidaan lukea kuviosta 6. Riippulangalla suojatessa on hyvä myös ottaa huomioon langan riippuma (IEC-62305-3, 2010, 89). Jos riippulanka on katon päissä mastojen eli vaikkapa 2 m korkeudella ja riippumaa on keskellä kattoa esimerkiksi 30 cm, pienenee suojauskartion säde katon keskellä noin 5,5 metrillä 4,7 metriin. Varsinkin jos pitkiä kattoja päädytään suojaamaan mastoilla ja riippulangalla, voi riippumaa katon keskellä tulla reilustikin, sillä voi olla vaikeaa pingottaa riippulankaa kovin kireälle

mastojen väliin johtuen tällöin mastojen kiinnityksiin kohdistuvista suurista voimista. Yksi vaihtoehto on asentaa riippuman estämiseksi välitukia riippulangan päätepisteiden väliin.

Alla kuviossa 11 on esitetty vielä yksi esimerkki ukkosmastojen ja riippulangan käytöstä, jolla saadaan ainakin omaan silmään ulkonäöltään melko siistin näköinen suojaus (IEC-62305-3, 2010, 91). Siinä katon päihin ja keskelle on asennettu esimerkiksi 10 cm korkeat ”mastot”, joihin on katon pitkittäissuunnassa kiinnitetty riippulanka. Esimerkissä katon kaltevuus on 45 astetta ja 10cm korkeilla mastoilla suojauskulma on noin 70 astetta. Muistetaan, että suojauskulmat eivät muutu enää 2 m lyhemmillä mastoilla. Suojauskulma määräytyy katon harjalta ylöspäin olevan tangon pituuden mukaan. Eli itse rakennuksen ulkoinen suojaus olisi nyt hoidettu kolmella 10 cm mastolla, niiden väliin kiinnitetyllä riippulangalla ja päätyjen mastoista maadoituksiin kytketyillä alastulojohtimilla. Tällä menetelmällä saadaan helposti suojattua 1-luokalla katto, jonka pienin kaltevuus on noin 19 astetta, 2-luokalla katto, jonka pienin kaltevuus on noin 16 astetta, 3-luokalla katto, jonka pienin kaltevuus on noin 13 astetta ja 4-luokalla katto, jonka pienin kaltevuus on noin 11 astetta. Kuvion 11 talon päätykuvassa ukkosmastosta oikealle ja vasemmalle lähtevät viivat kuvaavat 10 cm maston 70 asteen suojauskulmaa.



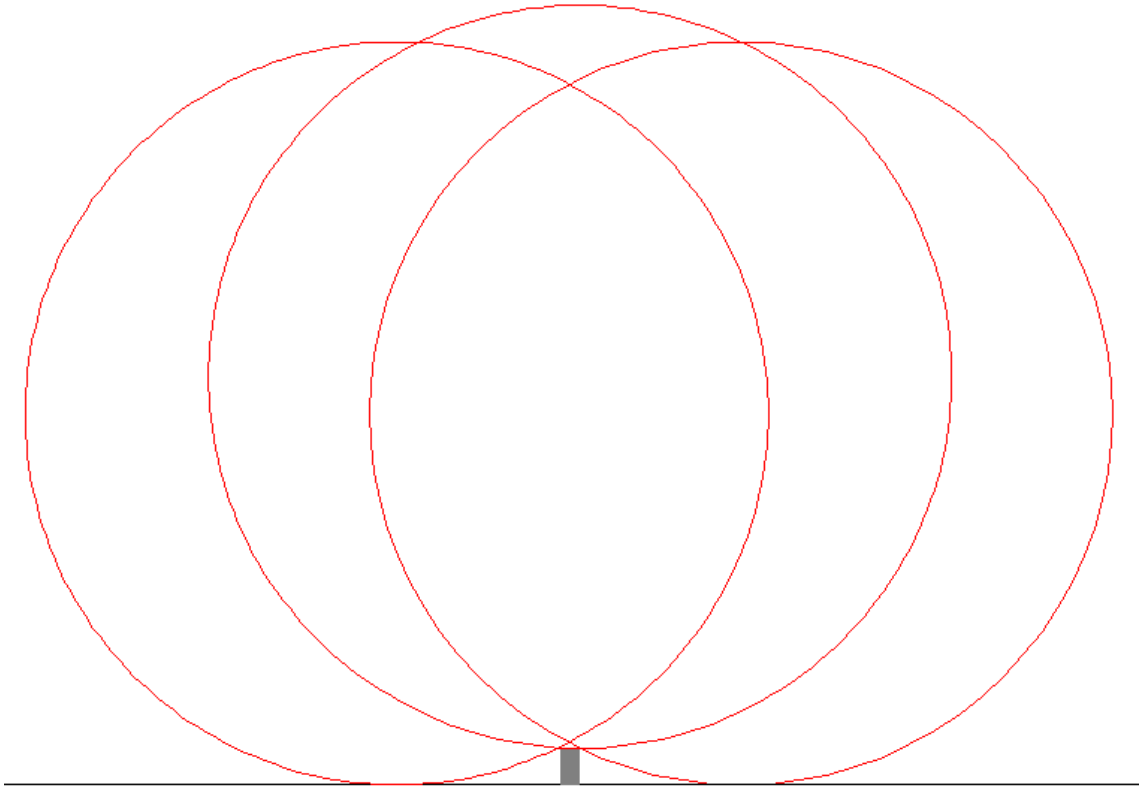
Kuvio11. Suojaus mastoilla ja riippulangalla

Pallomenetelmä

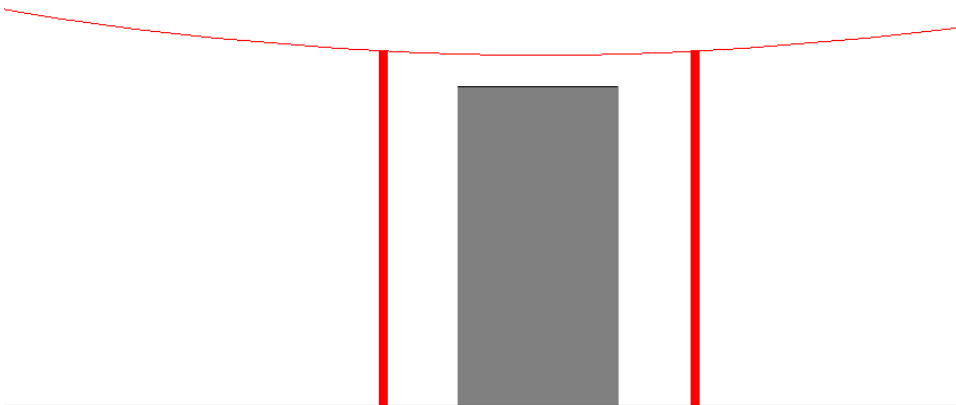
Pallomenetelmän käytön peruseräite vastaanottorakenteen asemointiin on seuraava:

Palloa, jonka säde määräytyy taulukon 25 mukaan, pyöritetään suojattavan kohteen ympäri jokaisesta mahdollisesta suunnasta ja jos mikään osa suojattavasta kohteesta ei kosketa pallon kehää, on se suojattu (IEC-62305-3, 2010, 92). Alla on esitetty kuviossa 12 yksinkertainen esimerkki pallomenetelmän käytöstä. Siinä tasolle on sijoitettu 1 x 1 x 2 (pituus, leveys, korkeus) metriä oleva suojattava kohde, jonka suojaus pitäisi määrittää käyttämällä pallomenetelmää. Halutaan, että kohde on suojattu luokalla 1, joka tarkoittaa, että pallon säteen täytyy olla 20 m. Kun palloa pyöritetään kohteen ympäri jokaisesta suunnasta huomataan, että kehä koskettaa jokaista suojattavan kohteen yläreunaa sekä sen kattotasoaa. Jos kohde olisi vaikkapa 25 metriä korkea niin muistetaan, että alle 60 m korkeiden kohteiden sivuiskuja ei tarvitse ottaa huomioon. Tästä seuraa, että pitäisi ainoastaan kohteen katto suojata, vaikka pallo osuisi myös osaan sen sivuista.

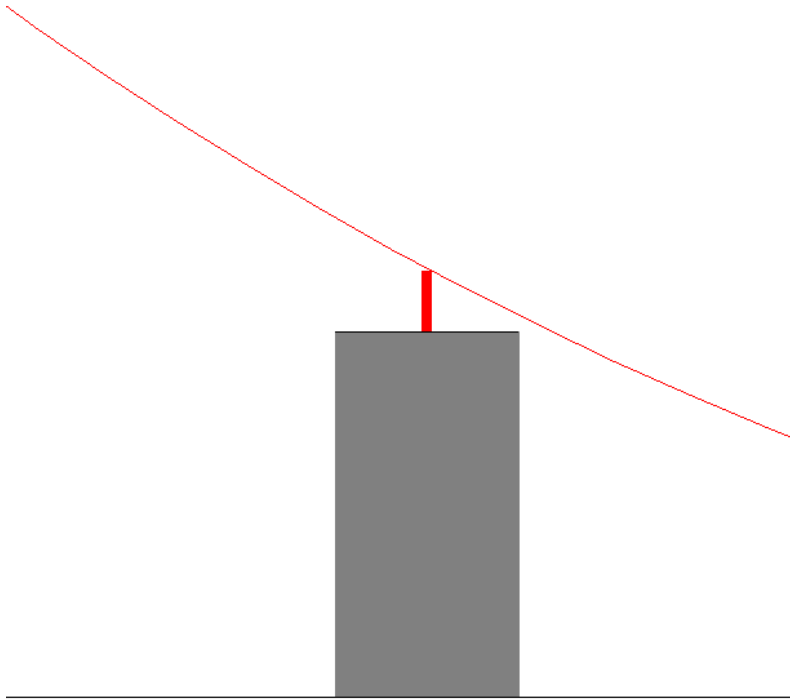
Jos päädytään siihen, että suojataan esimerkkikohteen katto ukkosmastolla tai -mastoilla, voidaan kuvioista 13 ja 14 nähdä miten mastot asemoidaan siten, että pallon kehä ei kosketa kohteen katon reunoja tai itse kattotasoaa. Mitoitukseen graafinen metodi cadin avulla on ehkä helpoin tapa. Pallomenetelmän käyttö on mielestäni työläs tapa suunnitella vastaanottorakenteen asemointi, eikä sitä välttämättä ainakaan sähköasemien tapauksessa tarvitse käyttää. Muistetaan, että asemointiin ja mitoitukseen voidaan käyttää parhaaksi nähtyä menetelmää, ottaen huomioon aiemmin mainitut suojakulmamenetelmän korkeuden rajoitukset.



Kuvio 12. Esimerkki pallomenetelmän käytöstä (piirretty oikeassa mittakaavassa).



Kuvio 13. Ukkosmastojen asemointi pallomenetelmän avulla (piirretty oikeassa mittakaavassa)

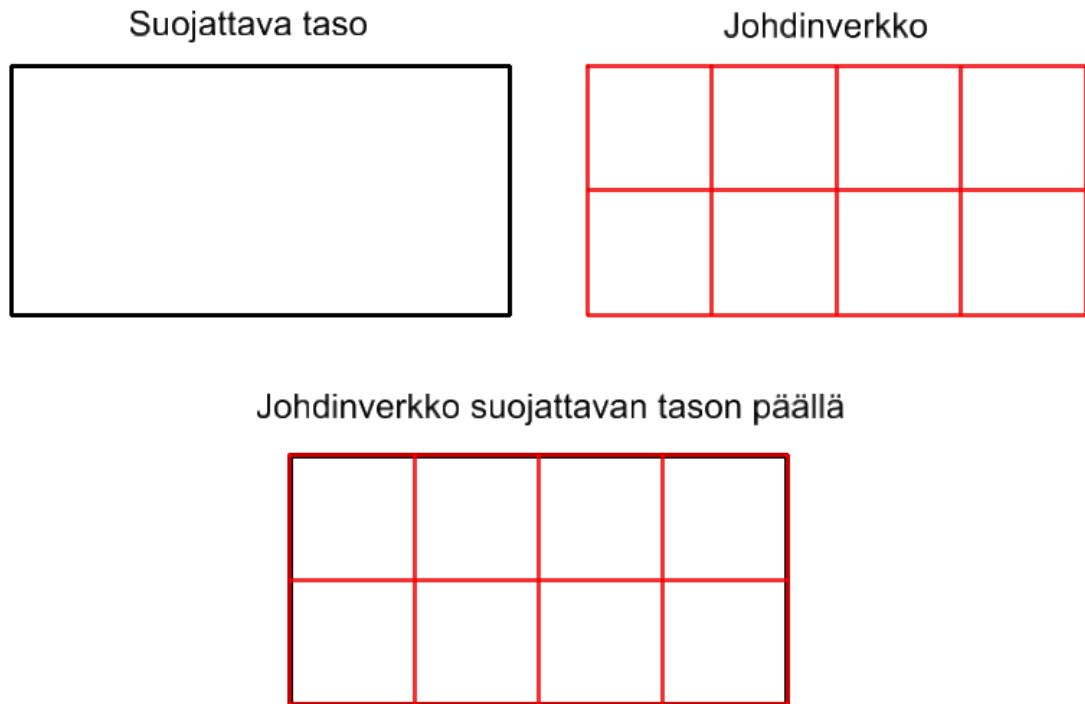


Kuvio 14. Ukkosmastojen asemointi pallomenetelmän avulla (piirretty oikeassa mittakaavassa)

Johdinverkkomenetelmä

Johdinverkkomenetelmää käytetään tasojen suojaamiseen ja sen silmukkokoko määräytyy salamasuojausluokan perusteella. Ylimmän luokan suojauksella, eli luokalla I, on verkon silmäkoko pienin, jolloin saman pinnan suojaamiseen tarvitaan enemmän johtoa kuin vaikkapa II-luokan johdinverkolla. (IEC-62305-3 2010,18-19,40-41,97-98.)

Jos esimerkiksi päädytään suojaamaan rakennuksen katto käyttämällä luokan I johdinverkkoa saa verkon silmukkokoko olla enintään 5 m x 5 m. Alla kuviossa 15 on esitetty, miten johdinverkko sijoitetaan katolle, jonka koko on 20 m x 10 m. Ensin kierretään johtimet katon kehän ympäri mahdollisimman läheltä sen ulko-reunaa. Tämän jälkeen muodostetaan kehän sisään johdinverkko, jonka maksimaalinen silmukan koko on 5 m x 5 m. Verkon tulee olla sähköisesti jatkuva. Opinnäytetyön taulukko-osion taulukosta 2 nähdään eri suojausluokkien johdinverkon maksimaalinen silmukkokoko.



Kuvio 15. Johdinverkon asennusperiaate

5.1.2 Alastulojohtimet

Alastulojohtimien tehtävä on johtaa salamavirta vastaanottorakenteesta maahan mahdollisimman suoraa reittiä.

- Jos vastaanottorakenteena käytetään pystytankoa, vedetään tangosta vähintään kaksi alastulojohdinta maadoitukseen.
- Jos vastaanottorakenteena käytetään kahta pystytankoa ja niiden välille pystytankojen yläosaan asennettua riippujohdinta, vedetään molemmista pystytangoista vähintään yksi alastulojohdin maadoitukseen.
- Jos vastaanottorakenteena käytetään johdinverkkoa, voidaan suositeltava alastulojohdinten välinen etäisyys katsoa taulukosta 3.
- Jokaiseen alastulojohtimeen tulee asentaa avattava liitos, joka mahdollistaa alastulojohtimien jatkuvuuden mittaamisen. (IEC-62305-3, 2010, 21-22.)

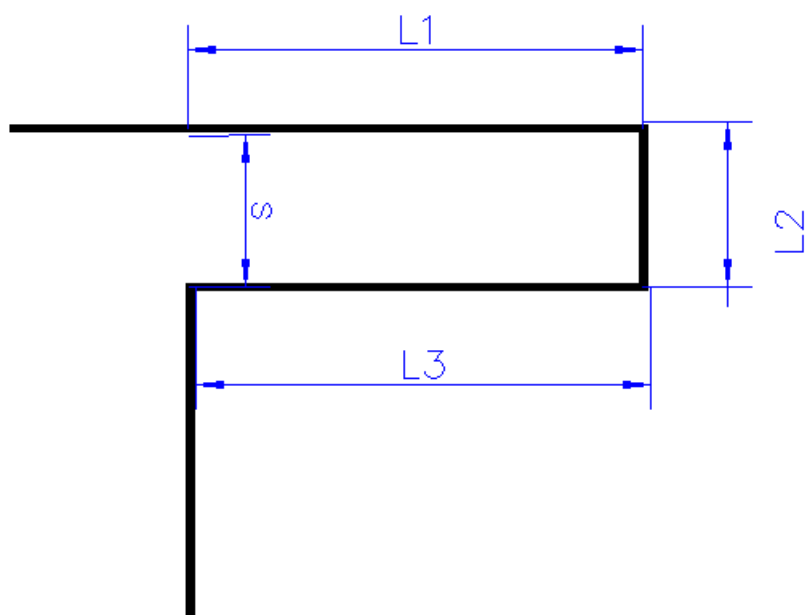
Huomioi, että alastulojohtimia ei saa vetää vesiränneissä, vaikka ne olisivat suojatut (korroosio). (IEC-62305-3, 2010, 23)

Jos alastulojohtimet joudutaan kierrättämään räystäään ympäri, voidaan tästä aiheutuvan johdinsilmukan minimi erotusväli s (kuvio 16) laskea alla olevalla kaavalla 1. (IEC-62305-3 2010, 23-24, 35-36)

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

missä,

k_i	on	kerroin, joka riippuu valitusta salamasuojausluokasta (taulukko 26)
k_m	on	kerroin, joka riippuu eristysmateriaalista (taulukko 27)
k_c	on	kerroin, joka riippuu alastulojohtimien määrästä (taulukko 28)
L	on	johdinsilmukan pituus metreissä ($L_1+L_2+L_3$)



Kuvio 16. Erotusväli johdinsilmukoissa

Jos esimerkiksi $L_1 = 0,5 \text{ m}$, $L_2 = 15 \text{ cm}$, $L_3 = 0,5 \text{ m}$, salamasuojaus luokka on 1, räystään materiaali on joko betonia, puuta tai tiiltä ja alastulojohtimia on 1kpl, muodostuu vaadittavaksi erotusväliksi tällöin:

$$s = \frac{0,08}{0,5} * 1 * 1,15\text{m} = \text{n.}19\text{cm}$$

Kuten huomataan ei erotusväli ole esimerkissä riittävä, joten pitäisi miettiä voidaananko alastulojohdin kiertää jotenkin eri tavalla niin, että vaadittava erotusväli täytyisi. Toinen vaihtoehto on lisätä yksi alastulojohdin lisää, jolloin kc kertoimeksi vaihtuisi 0,66 kertoimen 1 sijasta. Tällöin riittäisi noin 12 cm erotusväli.

5.1.3 Maadoitusjärjestelmä

Salamasuojauksen maadoitusjärjestelmänä voidaan käyttää sähköaseman maadoitusta. Standardi IEC 62305-3 suosittelee, että maadoitusresistanssi olisi alle 10Ω matalalla taajuudella mitattuna. Jos maadoitukseen käytetään erillisiä maadoitusjärjestelmiä, jotka on valmistettu eri materiaaleista, aiheutuu tästä vakavia korroosio-ongelmia. Koska maadoitus- ja korroosio-oirekysymykset ovat jo selvillä opinnäytetyön toimeksiantajan puolesta, niitä ei käsitellä tässä työssä sen enempää. Ulkoinen salamasuojausjärjestelmä ainoastaan liitetään jo valmiina olevaan sähköaseman maadoitusjärjestelmään. (IEC 62305-3, 2010, 24-27.)

5.1.4 Ulkoisen salamasuojauksen rakennusmateriaalit

Ulkoisen suojauksen rakennusmateriaalit ja minimipoikkipinnat nähdään taulukosta 4 (SFS 609-käsikirja 2009, 96; IEC 62305-3, 2010, 30).

5.1.5 Suojaus kosketus- ja askeljännitteitä vastaan alastulojohtimien läheisyydessä

Kosketus- ja askeljännitteiden aiheuttama riski alastulojohtimien läheisyydessä saadaan alennettua riittävällä tasolle, jos yksi alla olevista ehdoista täyttyy:

- Normaaleissa käyttöolosuhteissa alastulojohtimien läheisyydessä ei ole ihmisiä kolmen metrin etäisyydellä johtimista.
- Alastulojohtimia on asennettu vähintään 10 kpl.

- Maan kosketusresistanssi kolmen metrin etäisyydellä alastulojohtimista on vähintään 100 k Ω . (IEC 62305-3, 2010, 37-38.)

Jos mikään yllä mainituista ehdoista ei täyty, voidaan kosketus- ja askeljännitteiden riski alentaa riittävälle tasolle käyttämällä eristettyjä alastulojohtimia, joiden ominaisuudet ovat seuraavat:

- johtimen eristeellä 100kV, 1.2/50 μ S jännitekestoisuus (esimerkiksi vähintään 3 mm ristisidottua polyeteeniä). (IEC 62305-3, 2010, 37-38.)

Toinen vaihtoehto on estää pääsy alastulojohtinten läheisyyteen (etäisyys 3 m) tai ilmoittaa vaarasta varoituskilvillä.

Huomaa, että 5 cm:n kerros asfalttia tai 15 cm:n kerros soraa kolmen metrin etäisyydellä alastulojohtimista riittää yleensä alentamaan kosketus- ja askeljänniteriskin riittävän alhaiselle tasolle. (IEC 62305-3, 2010, 37-38)

5.2 Sisäinen salamasuojajärjestelmä

Sisäisen salamasuojajärjestelmän tavoitteena on estää vaarallinen kipinöinti suojaavan rakennuksen sisällä, kun salavirta kulkee ulkoisessa salamasuojajärjestelmässä tai muissa rakennuksen johtavissa osissa.

Vaarallista kipinöintiä voi esiintyä ulkoisen salamasuojajärjestelmän ja mm. rakennuksen seuraavien osien välillä:

- metalliset asennukset
- sisäiset järjestelmät
- ulkoiset johtavat osat ja rakennukseen liitetyt johdot. (IEC 62305-3, 2010, 31-32.)

Vaarallinen kipinöinti voidaan estää potentiaalintasauksella. Potentiaalintasaus voi tapahtua joko suoraan potentiaalintasausjohtimilla tai ylijännitesuojien kautta. Yksinkertaisin tapa estää vaarallinen kipinöinti on liittää ulkoinen salamasuojajärjestelmä

osaksi sähköasemarakennuksen potentiaalintasausjärjestelmää. (IEC 62305-3, 2010, 32.)

Potentiaalintasaus tehdään kytkemällä samaan potentiaaliin ulkoinen salamansuojajärjestelmä ja metalliset asennukset, sisäiset järjestelmät, rakennuksen ulkoiset johtavat osat ja rakennukseen liittyvät johdot. Kun ulkoinen salamansuojaus on yhdistetty potentiaalintasauksen välityksellä sisäisiin järjestelmiin voi osa salamavirrasta kulkea niihin ja tämä tulee ottaa huomioon. Aseman keskuksiin asennetaan tämän suojaksi ylijännitesuojat laitteille meneviin kaapeleihin. Mitä useammassa tasossa ylijännitesuojia on ja mitä parempi on niiden suojaustaso, sitä parempi on niiden antama suoja laitteiden rikkoontumista vastaan. (IEC 62305-3, 2010, 32.)

- Minimipoikkipinta potentiaalintasauskiskot yhdistäville johtimille sekä potentiaalintasauskiskot maadoitusjärjestelmään yhdistäville johtimille nähdään taulukosta 5. (IEC 62305-3, 2010, 33)
- Minipoikkipinnat johtimille, jotka yhdistävät sisäiset järjestelmät potentiaalintasauskiskoihin nähdään taulukosta 6. (IEC 62305-3, 2010, 33)

5.3 Salamansuojajärjestelmän huolto ja tarkastukset

Salamansuojajärjestelmän tehokkuus riippuu sen oikeasta asennuksesta, huollosta ja toiminnan testauksesta. Tarkastuksia ja huoltoa ei luonnollisesti saa suorittaa ukkosen aikana. (IEC 62305-3, 2010, 37)

Tarkastusten tavoitteena on:

- huolehtia siitä, että salamansuojajärjestelmä on tehty vaatimusten mukaisesti (tässä tapauksessa IEC 62305 standardin mukaisesti)
- huolehtia, että kaikki suojausjärjestelmän komponentit ovat toimintakuntoisia ja ettei korrosio ole saattanut järjestelmää epäkuntoon
- huolehtia, että uudet asennukset on liitetty tarpeen vaatiessa salamansuojajärjestelmään. (IEC 62305-3, 2010, 37.)

Tarkastusten ajat:

- Ensimmäinen tarkastus suoritetaan, kun järjestelmä on asennettu.
- Jos tiedetään, että rakennukseen on tehty muutoksia, jotka ovat saattaneet vaikuttaa myös salamasuojausjärjestelmän toimintakuntoon tulee järjestelmän toimintakunto käydä varmistamassa.
- Jos tiedetään, että salama on iskenyt rakennukseen, tulee järjestelmän toimintakunto käydä varmistamassa.
- Salamasuojausjärjestelmään pätevät määräaikaistarkastukset nähdään taulukosta 7. (IEC 62305-3, 2010, 151.)

Silmämääräinen tarkastus:

- tarkastetaan ettei järjestelmän johtimissa ole katkeimia, kaikki liitokset ovat pysyneet kiinni ja komponenttien kiinnitykset ovat kunnossa
- tarkastetaan ettei mikään järjestelmän osa ole heikentynyt korroosion vuoksi erityisesti maan tasolla
- tarkastetaan, että erotusväleihin ei ole tehty muutoksia. (IEC 62305-3, 2010,152.)

Täydellinen tarkastus:

- silmämääräinen tarkastus (kuvaus yllä)
- tehdään johdinten jatkuvuustestit, joilla varmistetaan, että koko järjestelmä on sähköisesti jatkuva
- mitataan, että maadoitusresistanssi on pysynyt riittävän pienenä (suositus 10 ohmia)
- jos ylijännitesuojissa ei ole toimintakunnon osoitusta, tulee niiden toimivuus testata valmistajan ohjeiden mukaisesti. (IEC 62305-3, 2010, 153.)

Tarkastusraportti sisältää:

- selvityksen vastaanottorakenteiden kunnosta
- selvitys mahdollisesta korroosiosta
- salamasuojausjärjestelmän johtimien ja komponenttien kiinnityksen tila
- maadoitusjärjestelmän maadoitusresistanssin arvo ja mahdollinen muutos edeltävään arvoon
- kaikki poikkeamat suunnittelustandardista
- kaikki muutokset suojausjärjestelmään tai rakennukseen
- mittausten tulokset. (IEC 62305-3, 2010, 154.)

Huolto:

- Jos tarkastuksissa havaitaan ongelmia, tulee ne korjata sopivilla huoltotoimenpiteillä ja dokumentoida toimenpiteet. (IEC 62305-3, 2010, 37)

6 SUOJAUSESIMERKKI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä osiossa käsitellään sitä, miten sähköasemarakennuksen suojaustarpeen arviointi tapahtuu, mitä suojaustoimenpiteitä arvion pohjalta valitaan toteuttavaksi sekä mitä johtopäätöksiä sähköasemarakennusten suojauksesta voi vetää. Kaikki tässä luvussa esitetyt tiedot perustuvat IEC-62305 osan kaksi riskianalyysimenetelmän ymmärrykseen.

Esimerkin asema sijaitsee Suomessa esikaupunkialueella, jossa keskimääräinen salamatiheys on matala eli maksimissaan yksi maasalama neliökilometriä kohti vuodessa. Asemalla on jatkuva miehitys eli vuosittainen tuntimäärä 8760. Aseman koko on 30 m x 15 m x 12 m (pituus, leveys, korkeus). Asemaan liittyy sekalainen määrä voima- ja heikkovirtakaapeleita maakaapeleiden muodossa, kaapeleita on yhteensä 30 kappaletta ja ne liittyvät asemaan sen kahdelta vastakkaiselta sivulta. Kaapeleiden maksimaalinen etäisyys aseman ulkopuolella olevaan solmukohtaan on 200 m. Aseman läheisyydessä on kolme kertaa sen korkeuden päässä ulkoseinästä mitattuna muita mahdollisia korkeampia iskukohteita. Aseman lattia on betonia, sinne on asennettu kiinteät käsinoperoitavat palosammuttimet ja siellä on määritelty olevan tavanomainen palokuorma. Aseman salamasuojaustarve arvioidaan yhdessä osassa, eli asemaa ei jaeta erikseen tarkasteltaviin osiin, joiden riskit arvioitaisiin erikseen ja lopuksi laskettaisiin yhteen.

Suojaustarpeen arviointi lähtee liikkeelle hengenmenetyksen ja julkisen palvelun menetyksen riskiarviosta. Nämä suoritetaan lukujen 4.1 ja 4.2 perusteella laaditun Excel-laskurin avulla ja verrataan saatuja tuloksia standardin määrittelemään hyväksyttävään arvoon. Hengenmenetyksen tapauksessa tämä arvo on 10^{-5} ja julkisen palvelun menetyksen tapauksessa 10^{-3} . Saatujen tulosten täytyy siis olla niiden alle. Jos näin ei ole suosittelee standardi toimenpiteitä riskin laskemiseksi yllä mainittuihin rajoihin.

Kun tarvittavat arvot ovat näpytely laskuriin, huomataan, että näillä lähtötiedoilla hengenmenetyksen riski sähköasemalla on noin 8×10^{-6} , eli juuri alle standardin suositusten. Voidaan päätellä, että jopa täysin suojaamattomassa tilanteessa, Suomessa sijaitsevalla jatkuvasti miehityllä sähköasemalla hengenmenetyk-

sen riski on pieni. Kun tähän vielä otetaan huomioon, että sähköasemilla maadoitukset ja potentiaalintasaus ovat yleensä erinomaiset, asemaan liittyviin kaapeleihin on asennettu ylijännitesuojat ja yleensä siellä oleskellaan vain joitakin tunteja vuodessa, on usein erillisen salamasuojauksen rakentaminen tarpeellista, jos halutaan ainoastaan noudattaa standardeja.

Kuitenkin SFS-609 tietojen perusteella tehdyn salamaniskun todennäköisyyslaskurin mukaan (ei sisälly työn julkiseen versioon), suoraan rakennukseen kohdistuvan iskun mahdollisuus tarkasteltuna aseman koko käyttöaikana (esimerkiksi 30-50 vuotta), nousee esimerkin salamatiheydellä 30 vuoden tarkastelujaksolla viiteen prosenttiin ja 50 vuoden tarkastelujaksolla lähes kymmeneen prosenttiin. Tämän pohjalta voidaan ajatella, että vähintäänkin alimman eli 4 luokan ulkoisen salamasuojauksen toteuttaminen voisi olla aivan järkevä ratkaisu. Jos salama iskee rakennukseen, on todennäköinen seuraus vähintään kattopeltien vaurioituminen. Muita seurauksia voivat olla mm. tulipalo, vaaralliset kosketus- ja askeljännitteet sekä sisäisten järjestelmien rikkoontuminen tai virhetoiminta salaman aiheuttaman sähkömagneettisen pulssin vaikutuksesta (SFS 609-käsikirja 2009, 26). Jos ulkoinen suojaus päätetään rakentaa, hoituu yleensä kosketus- ja askeljännitesuojaus alastulojohdinten lähellä automaattisesti, sillä rakennuksen ympärillä on normaalisti reilu kerros asfalttia tai soraa, jotka hoitavat suojauksen kosketus- ja askeljännitteiden osalta.

Seuraavaksi arvioidaan julkisen palvelun menetystä. Kun arvot ovat näpytelty laskuriin nähdään, että suojaamattomassa tilanteessa julkisen palvelun menetyksen arvoksi saadaan noin 6×10^{-2} . Koska standardin määrittämä raja-arvo oli alle 10^{-3} huomataan, että riski laitteiden rikkoontumiselle ja sitä kautta julkisen palvelun menetykselle on liian suuri, jos asemaa ei ole suojattu lainkaan. Jos kuitenkin oletetaan, että asemalla olisi kuten edellä mainittiin, hyvä potentiaalintasaus, hyvät maadoitukset, 1-luokan ylijännitesuojat asemaan liittyvissä johdoissa ja laitteiden jännitekestoisuus vaikkapa 4 kV, tippuisi riskin arvo noin 10^{-5} :een, eli reilusti alle hyväksyttävän rajan.

Laskurilla voidaan nyt kätevästi kokeilla, kuinka suureen salamatiheyteen voidaan nousta, jos asemalla on yllä mainitut suojauskeinot, niin että pysytään vielä

standardin määrittämissä rajoissa julkisen palvelun menetyksen suhteen. Huomataan, että salamatiheys voisi nyt olla melkein 60 maasalamaa neliökilometriä kohti vuodessa ja vielä oltaisiin standardin rajojen alapuolella. Tässä tilanteessa pitää tosin laskea vielä hengenmenetyksen riski uudestaan. Kun näin tehdään, huomataan, että yllä mainitulla salamatiheydellä vaaditaan asemaan 1- luokan ulkoinen suojaus.

Tiivistettynä voidaan sanoa, että jos asemalle laitetaan 1- luokan ulkoinen salamasuojaus, siihen liittyviin kaapeleihin 1-luokan ylijännitesuojat mahdollisesti vielä useampaan tasoon, asemalla on hyvä maadoitus ja potentiaalintasaukset kunnossa sekä laitteiden jännitekestoisuudet ovat 4 kV tai yli, on tällöin asema suojattu salaman aiheuttamilta vahingoilta suurimmassa osassa maailmaa. Oletuksena tietenkin, ettei laskujen pohjana käytetyt muut speksit muutu kovin paljoa. Panostamalla riskiarvioinnin ymmärrykseen, onnistuu tämän työn tietojen pohjalta myös mainittua suurempien salamatiheyksien alueella olevan sähköaseman suojaus. Suomen oloissa riittää suojaksi mielestäni jopa ainoastaan alimman eli 4 luokan ulkoinen suojaus sekä asemilla jo vakiona oleva hyvä maadoitus, potentiaalintasaus ja ylijännitesuojaus.

7 POHDINTA

Sähköasemarakennusten salamasuojauksen toteuttaminen oli aiheena mielenkiintoinen, mutta toisaalta myös erittäin haastava. Haasteeksi muodostui lähinnä lukemattomien sääntöjen ja muuttujien ymmärrys, standardin mukainen soveltamista ja organisointi käytännölliseen muotoon siten, ettei sivumäärä pääse paisumaan kovin suureksi. Koska työ tehtiin yritykselle, jonka tarkoituksena oli käyttää sitä ohjeena oikealle sähköasemien salamasuojauksen suunnittelutyölle, oli lähtökohta aivan eri kuin mihin vielä tähän saakka on koulun projektien parissa tottunut. Kuten IEC-62305 standardissa mainitaan, on salamasuojauksen ammattilaiseksi kehittyminen vuosien työ ja standardeja lukeneena ja sen tietoja selvittäneenä voin vahvistaa tämän todeksi. Matemaattisesti ei tarvitse mennä paljon kerto- ja jakolaskuja sekä perus geometriaa monimukaisempiin tehtäviin, mutta kuten edellä mainittiin, on erilaisten huomioonotettavien tekijöiden määrä todella suuri ja tästä seuraa aiheen haasteellisuus.

Aloitin työn alkukevästä 2018 ja kesään mennessä runko oli suurin piirtein muodossa, johon se lopulta päätettiin jättää. Kesän aikana työskentelin ABB:n Vaasan Power Grids- yksikössä, jolloin aina ajan niin salliessa katseltiin työtä lävitse opinnäytetyön ohjaajan Juha-Matin sekä muiden työntekijöiden kesken. Tämä työharjoittelujakso oli opinnäytetyön valmistumisen kannalta hyödyllinen myös siinä suhteessa, että kesän aikana pääsi näkemään oikeiden suunnittelupiirusten muodossa, miten sähköasemia käytännössä suunnitellaan ja mitä kaikkea ne sisältävät. Tästä seurasi huomattavasti selkeämpi käsitys siitä mitä sähköasemien salamasuojaaminen vaatii ja millä asioilla on merkitystä. Lokakuun lopulla työ oli lopullisessa muodossaan ja katsottiin, että se sisältää riittävän tiedon salamasuojauksen suunnittelutyölle. Aihe on toisaalta erittäin laaja ja kehittämisen mahdollisuuksia löytyy varmasti, mutta tästä rungosta on mielestäni hyvä lähteä kehittämään salamasuojauksen laajempaa hallintaa.

Kiinnostus salamasuojausta kohtaan on kasvamaan päin ja muun muassa ABB:ltä sitä kysellään nykyään aiempaa enemmän. Ehkä yhtenä syynä tähän on meneillään oleva ilmastonmuutos, jonka ennustetaan lisäävän myrskyjä ja sitä kautta myös salamoinnin määrää. Kun mietitään, että sähköasemat rakennetaan yleensä toimimaan useita kymmeniä vuosia, voi olla, että vähintäänkin jossakin

vaiheessa tarve suojaukselle tulee eteen. Jos salamasuojaus otetaan huomioon jo aseman suunnitteluvaiheessa, muuttuu moni seikka suojauksen toteutuksessa helpommaksi ja erityisesti ulkoisen salamasuojauksen osalta esteettisyys ja käytännöllisyysseikat voidaan ottaa paremmin huomioon. Myös suojauksen hintaa voidaan saada tällä toimintamallilla tiputettua alaspäin. Toisaalta asemien rakennuksessa on yleensä mukana paljon osapuolia, joiden välillä koordinaation pitää toimia ja jos tähän lisätään vielä salamasuojaus yhtenä osaelementtinä voi se aiheuttaa hieman lisää päänvaivaa. Varsinkin jos päädytään käyttämään aseman luontaisia rakenteita suojaukseen, voi olla, että kun joku tietty rakennusvaihe on suoritettu ei salamasuojausta voidakaan enää toteuttaa suunnitellusti. Muun muassa tästä syystä päädyttiin työssä esitellyissä suojauskeinoissa keskittymään menetelmiin, jotka voidaan suunnitella ja myöhemmin toteuttaa oli rakennus sitten valmis tai ei. Myös erilaiset viranomaismääräykset vaihtelevat maasta riippuen, kun puhutaan luontaisten rakenteiden käytöstä suojaukseen. Monissa maissa esimerkiksi teräsbetonin terästen käyttö salamasuojaukseen ei ole sallittua. Luontaisten rakenteiden käytöstä voisi suorittaa lisäselvityksiä, jotka liitettäisiin nykyisen salamasuojausoppaan rinnalle tukemaan suojaustoimenpiteitä ja tuomaan siihen uusia ulottuvuuksia.

Kokonaisuutena uskoisin, että työstä tuli käytännöllinen ja standardit täyttävä. Varsin monimutkainen aihe saatiin tiivistettyä suhteelliseen kompaktiin pakettiin ja suunnittelutyö sen avulla muuttui ainakin toivottavasti vähemmän päänvaivaa aiheuttavaan muotoon.

LÄHTEET

IEC 62305-1. 2010. Protection against lightning. 2.painos. Geneva: International Electrotechnical Commission IEC

IEC 62305-2. 2010. Protection against lightning. 2.painos. Geneva: International Electrotechnical Commission IEC

IEC 62305-3. 2010. Protection against lightning. 2.painos. Geneva: International Electrotechnical Commission IEC

IEC 62305-4. 2010. Protection against lightning. 2.painos. Geneva: International Electrotechnical Commission IEC

SFS käsikirja 609. 2009. Rakennusten ja rakenteiden salamasuojaus. 1.painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS RY

Ilmatieteenlaitos 2018. Suomen ukkosilmasto. Viitattu 26.10.2018 <https://ilmatieteenlaitos.fi/suomen-ukkosilmasto>

Uman, M.A. 2012. Lightning. New York: Dover Publications INC

Holle, R.L. 2016. The number of documented global lightning fatalities. E-kirja. Viitattu 26.10.2018 <https://my.vaisala.net/Vaisala%20Documents/Scientific%20papers/2016%20ILDC%20ILMC/Ron%20Holle.%20Number%20of%20Documented%20Global%20Lightning%20Fatalities.pdf>

Sähköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135.

Lightning Guard. 2018. About lightning. Viitattu 17.12.2018. <https://www.lightningguard.com/about-lightning/>

LIITTEET

- Liite 1. A_{ds1} arvon määrittäminen
- Liite 2. A_{ds2} arvon määrittäminen
- Liite 3. A_{ds3} arvon määrittäminen
- Liite 4. A_{ds4} arvon määrittäminen
- Liite 5. C_D arvon määrittäminen
- Liite 6. N_G arvon määrittäminen
- Liite 7. r_t arvon määrittäminen
- Liite 8. r_p arvon määrittäminen
- Liite 9. r_f arvon määrittäminen
- Liite 10. L_T arvon määrittäminen
- Liite 11. L_F arvon määrittäminen
- Liite 12. L_O arvon määrittäminen
- Liite 13. n_z/n_t arvon määrittäminen
- Liite 14. h_z arvon määrittäminen
- Liite 15. P_A arvon määrittäminen
- Liite 16. P_B arvon määrittäminen
- Liite 17. P_C arvon määrittäminen
- Liite 18. P_M arvon määrittäminen
- Liite 19. P_U arvon määrittäminen
- Liite 20. P_V arvon määrittäminen
- Liite 21. P_W arvon määrittäminen
- Liite 22. P_Z arvon määrittäminen
- Liite 23. Salamasuojausmateriaalit

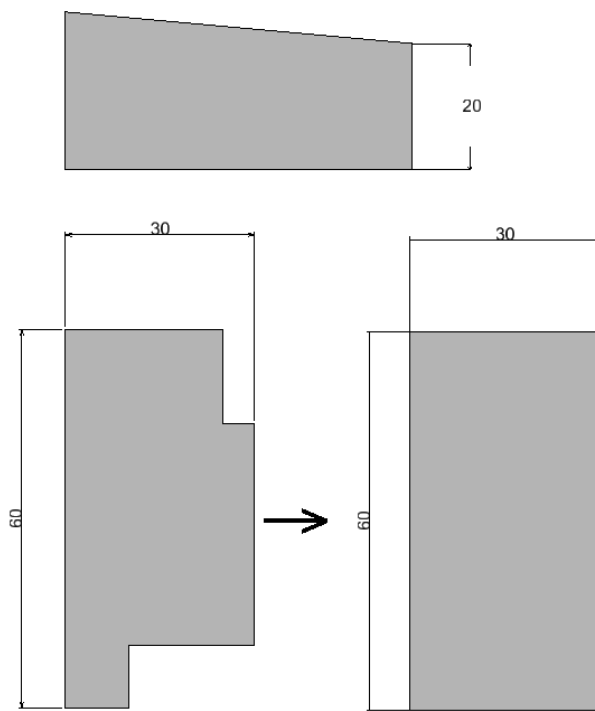
Liite 1 - A_{DS1} arvon määrittäminen

Rakennuksen salamoiden keruupinta-ala (ADS1) lasketaan kaavalla:

$$A_{DS1} = (L \times W + 6H \times (L + W) + 9\pi H^2) \times 10^{-6}$$

A _{DS1}	rakennuksen salamoiden keruupinta-ala (km ²)
L	rakennuksen pituus (m)
W	rakennuksen leveys (m)
H	rakennuksen korkeus (m)
10 ⁻⁶	kerroin joka muuntaa neliömetrit neliökilometreiksi

Keruupinta-ala normaaleille sähköasemarakennuksille voidaan laskea siten, että otetaan huomioon viiston katon alin korkeus ja jos pituus ja/tai leveyssuunnassa on suorakulmiosta poikkeavia muotoja, piirretään rakennus suorakulmioksi ja otetaan siitä uloimmat pituuden ja leveyden mitat. Tällä ratkaisulla päästään normaalien sähköasemarakennusten muodot huomioon ottaen hyvin lähelle tarkkaa graafista ratkaisua ja johtuen riskianalyyysiin luontaisesti sisältyvistä epävarmuustekijöistä ei minimaalisella erolla eri laskumenetelmien välillä ole käytännön merkitystä. Tästä saa varmuuden itselle, kun laatii luvun 4 perusteella itselle riskiarviointityökalun excelillä ja alkaa kokeilemaan eri laskentamenetelmien vaikutusta.



Kuva 4. Rakennuksen pituuden, leveyden ja korkeuden määrittäminen (yksinkertaistettu metodi)

Liite 2 - A_{DS2} arvon määrittäminen

Rakennuksen lähialueen salamoiden keruupinta-ala (A_{DS2}) lasketaan kaavalla:

$$A_{DS2} = (2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2) \times 10^{-6}$$

A _{DS2}	rakennuksen lähialueen salamoiden keruupinta-ala (km ²)
L	rakennuksen pituus (m)
W	rakennuksen leveys (m)
10 ⁻⁶	kerroin joka muuntaa neliömetrit neliökilometreiksi

Liite 3 - A_{DS3} arvon määrittäminen

Rakennukseen liitettyjen sähkö- tai telekaapeleiden salamoiden keruupinta-alat (A_{DS3}) lasketaan kaavalla:

$$A_{DS3} = 40 \times L \times C_I \times C_T \times C_E \times 10^{-6}$$

A_{DS3}	johdon salamoiden keruupinta-ala (km ²)
L	johdon pituus (m), jos pituutta ei tunneta, oletetaan pituudeksi 1000m
C_I	johdon asennustapakerroin
C_T	johdon tyyppikerroin
C_E	johdon ympäristökerroin
10^{-6}	kerroin joka muuntaa neliömetrit neliökilometreiksi

Jos rakennukseen liittyy useampia johtoja jotka kulkevat eri reittiä, lasketaan jokainen johto erikseen ja A_{DS3} on niiden summa. Samaa reittiä kulkevien johtojen keruupinta-alaltaan suurin johto valitaan $A_{DS3:n}$ arvoksi. Myöskin tätä arvoa laskettaessa on järkevää miettiä itselle jonkinlaista "cookbook" menetelmää, jolla kaikki johdot saataisiin laskettua kerralla, sillä muutoin työnilo kasvaa entisestään jo valmiiksi melko haastavassa riskienarviointitehtävässä. Täytyy kuitenkin aina varmistaa, ettei riskejä aliarvioida tai toisaalta mennä reilusti yli todellisuuden vaatimassa suojauksessa. Tällaisen menetelmän kehittäminen on yleensä mahdollista ja kun testailee sitä tarpeeksi, huomaa että varsinaiseen suojauksen valintaan ei pienillä eroilla eri laskentamenetelmien välillä ole vaikutusta.

Liite 4 - A_{DS4} arvon määrittäminen

Rakennukseen liitettyjen sähkö- tai telekaapeleiden lähialueiden salamoiden keruupinta-alat (A_{DS4}) kaavalla:

$$A_{DS4} = 4000 \times L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6}$$

A_{DS4}	johdon lähialueen salamoiden keruupinta-ala (km ²)
L	johdon pituus (m), jos pituutta ei tunneta, oletetaan pituudeksi 1000m
C_I	johdon asennustapakerroin (taulukko 8)
C_T	johdon tyyppikerroin (taulukko 9)
C_E	johdon ympäristökerroin (taulukko 10)
10^{-6}	kerroin joka muuntaa neliömetrit neliökilometreiksi

Useiden asemaan tulevien johtojen lähialueiden laskentaan voi myöskin yrittää kehittää jonkinlaista yksinkertaistettua metodologia, kuitenkin varmistuen, ettei riskejä ali- tai yliarvoida. Jos johdot tulevat eri reittejä täytyy jokainen johdoista laskea erikseen ja summata niiden lähialueiden keruupinta-alat yhteen. Jos johdot tulevat samaa reittiä, otetaan A_{DS4} arvoksi suurimman johdon lähialueen keruupinta-ala.

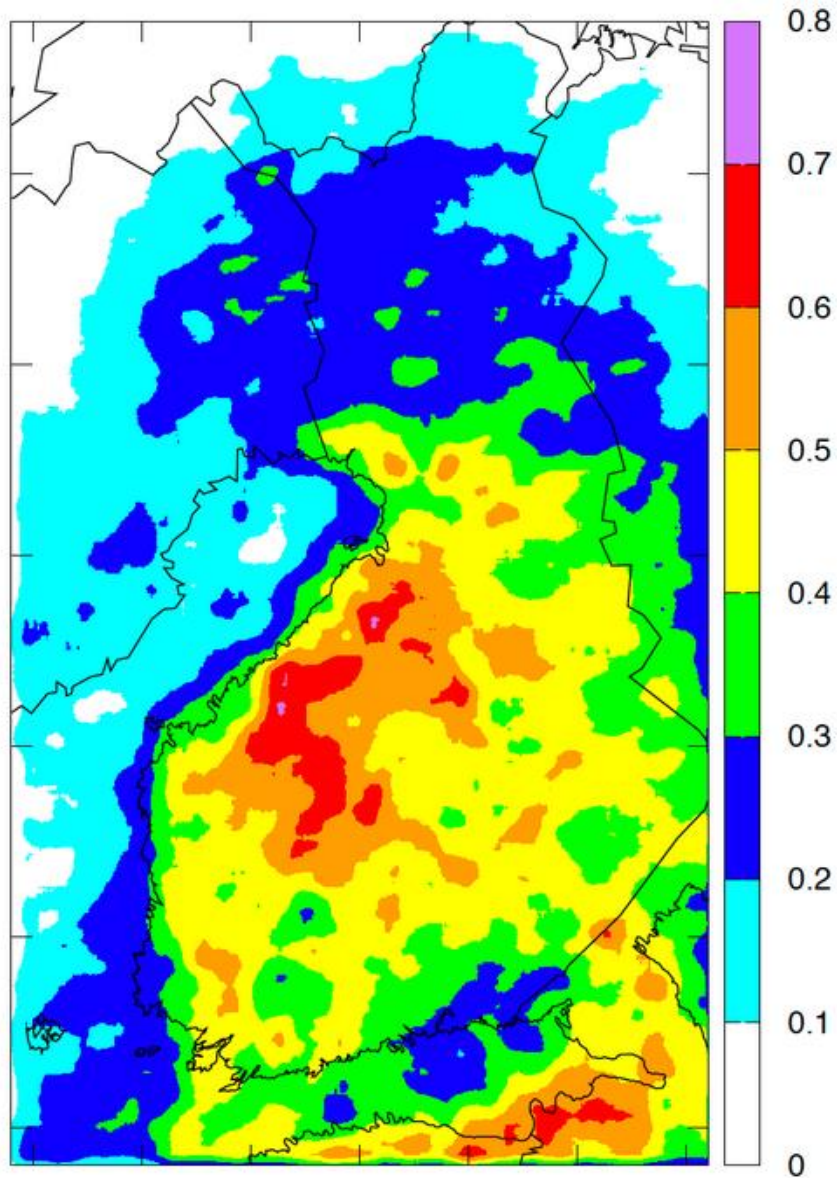
Liite 5 – C_D arvon määrittäminen

Rakennuksen ympäristön huomioonottava kerroin C_D määritetään seuraavasti:

Jos rakennuksen ympäristössä on 3 kertaa sen korkeuden etäisyydellä ulkoseinästä mitattuna muita mahdollisia iskukohteita, valitaan kerroin C_D taulukon 11 mukaisesti. Jos rakennus on esimerkiksi 10 metriä korkea ja sen ympäristössä on 20m etäisyydellä muita korkeampia mahdollisia iskukohteita (puut, rakennukset, rakenteet), valitaan taulukosta 11 kertoimeksi 0,25.

Liite 6 – N_G arvon määrittäminen

Suomessa alueen keskimääräinen maasalatiheys N_G saadaan selville alla olevasta Suomen ilmatieteenlaitoksen laatimasta kartasta. Maailmalla toimiessa on alueesta riippuvaa mistä tämä arvo saadaan selville. Itse yrittäisin kysellä paikallisesta ilmatieteenlaitoksesta, jos muualta tietoa ei löydy.



Kuva 5. Keskimääräinen vuotuinen maasalatiheys 1998-2016. Yksikkö maasalamoita neliökilometrille vuodessa

Liite 7 – r_t arvon määrittäminen

Lattian tai maan johtavuudesta riippuva kerroin (r_t) määritetään taulukosta 12.

Liite 8 – r_p arvon määrittäminen

Sammutusjärjestelmän tulipalon riskiä alentava kerroin r_p määritetään taulukosta 13.

Liite 9 – r_f arvon määrittäminen

Rakenteiden palavuuden ja palokuorman kerroin r_f määritetään taulukosta 14.

Liite 10 – L_T arvon määrittäminen

Kertoimeksi L_T oletetaan rakennuksesta riippumatta 10⁻²

Liite 11 – L_F arvon määrittäminen

L_F on standardin määrittelemä suhteellisuusarvo. Teollisuusrakennuksille, joiksi sähköasemarakennukset luokitellaan, voidaan käyttää kerrointa $L_F = 2 \times 10^{-2}$, hengenmenetyksen riskiä laskettaessa ja kerrointa 0,1 julkisen palvelun menetyksen riskiä laskettaessa. Nämä arvot ovat pienimpiä mahdollisia.

Liite 12 – LO arvon määrittäminen

Teollisuusrakennuksiksi luokiteltavissa sähköasemarakennuksissa voidaan käyttää arvoa $L_0=10^{-2}$.

Liite 13 – n_z/n_t arvon määrittäminen

Sekä hengenmenetyksen-, että julkisen palvelun menetyksen riskiarviossa voidaan sähköasemarakennuksille käyttää arvoa 1. Jos hengenmenetystä laskettaessa rakennus olisi jaettu erikseen tarkasteltaviin suojausalueisiin olisi n_z riskiarvioitavan alueen henkilökunnan osuus koko rakennuksen henkilökunnasta. Esim. Jos koko rakennuksessa työskentelee 100 ihmistä ja riskiarvioinnin alla olevalla alueella 50 ihmistä olisi $n_z/n_t \rightarrow 50/100$ eli 0,5. Julkisen palvelun riskiä laskettaessa n_z taas tarkoittaa riskiarvioinnin alla olevan rakennuksen osan palvelemaa asiakasmäärää ja n_t koko rakennuksen palvelemaa asiakasmäärää. Jos aseman suojaus arvioidaan useassa osassa, täytyy lopuksi laskea arvioitujen osien riskit yhteen ja tästä määräytyy arvioitavan osariskikomponentin arvo. Mielestäni näin ei tarvitse sähköasemien tapauksessa toimia, vaan tämä pätee lähinnä suuriin ja monimutkaisiin rakennuksiin.

Liite 14 – h_z arvon määrittäminen

Sähköasemarakennuksille voidaan käyttää arvoa 1. h_z kuvaa paniikin vaaraa ja muut arvot kuin 1 pätevät lähinnä kohteisiin, joissa on paljon ihmisiä ja joissa salamaniskun sytyttämä tulipalo voi saada aikaan pakokauhun. Tällaisia kohteita voivat olla esim.ostokeskukset, urheiluareenat, sairaalat jne. Jos suojattaisiin vaikkapa urheiluareenaa saattaa kertoimena h_z olla jopa 10. h_z arvoja voi tarvittaessa katsella standardin IEC 62305 -2 sivulta 53.

Liite 15 – P_A arvon määrittäminen

Kun lähdetään arvioimaan suojaamattoman rakennuksen vahinkojen todennäköisyyttä, otetaan P_A arvoksi 1. Arvoa voidaan tarvittaessa pienentää erilaisilla suojaustoimenpiteillä. Todennäköisyys P_A muodostuu seuraavasti:

$$P_A = P_{TA} * P_B$$

P_A= kosketus- ja askeljännitteistä aiheutuva sähköiskun todennäköisyys, jonka saa aikaan salamanisku suoraan rakennukseen

P_{TA}= kerroin, joka muodostuu kosketus- ja askeljännitteen varalle tehtyjen suojaustoimenpiteiden perusteella. Kerroin P_{TA} voidaan määrittää taulukosta 15. Jos on käytetty useampaa kuin yhtä taulukon 15 suojauskeinoa on todennäköisyys P_{TA} yksittäisten suojaustoimenpiteiden kertoimien tulo. Taulukon 15 suojaustoimenpiteitä voi käyttää ainoastaan siinä tapauksessa, että rakennukseen on asennettu myös ulkoinen salamasuojaus.

P_B= kerroin, joka muodostuu salamasuojausjärjestelmän tasosta. Kerroin P_B voidaan määrittää taulukosta 16

Jos esimerkiksi asema olisi suojattu 1-luokan ulkoisella salamasuojauksella, siellä olisi hyvin hoidettu potentiaalintasaus sekä ulkoisen salamasuojausjärjestelmän alastulojohtimet olisivat eristyt, muodostuisi todennäköisyydeksi P_A=0,02*0,01*0,01=0,000002.

Liite 16 – PB arvon määrittäminen

Kun lähdetään arvioimaan suojaamattoman rakennuksen vahinkojen todennäköisyyttä otetaan P_B arvoksi 1. Arvoa voidaan tarvittaessa pienentää asentamalla rakennukseen ulkoinen salamasuojaus eli vastaanottorakenne ja siitä maadoitukseen kytketyt alastulojohtimet. P_B arvot nähdään taulukosta 16. Jos käytetään esimerkiksi 1- luokan ulkoista salamasuojausta, muodostuu kertoimeksi $P_B = 0,02$.

Liite 17 – PC arvon määrittäminen

Kun lähdetään arvioimaan suojaamattoman rakennuksen vahinkojen todennäköisyyttä otetaan P_C arvoksi 1. P_C arvo kuvaa sisäisten järjestelmien rikkoontumisen todennäköisyyttä, kun salama iskee suoraan rakennukseen. Arvoa voidaan tarvittaessa pienentää asentamalla asemalle meneviin kaapeleihin ylijännitesuojat (P_{SPD}). Jos ylijännitesuojia laitetaan useampaan tasoon paranee suojaentisestään. Ylijännitesuojauksen riskiä alentavat kertoimet nähdään taulukosta 17. Muut tekijät (C_{LD}), jotka vaikuttavat todennäköisyyteen P_C liittyvät kaapelien suojaukseen, maadoitukseen ja erotukseen. Nämä nähdään taulukosta 18. Kaava johon taulukoista 17 ja 18 määritellyt arvot sijoitetaan on seuraava:

$$P_C = P_{SPD} * C_{LD}$$

Käytännössä, jos ei käytetä salamasuojattuja kaapeleita tai kaapeleita, jotka kulkevat metalliputkien sisällä ja joiden suoja sekä itse metalliputki on maadoitettu samaan pisteeseen kuin laite jolle kaapeli johtaa, määräytyy P_C todennäköisyys ylijännitesuojien kertoimen perusteella. Esimerkiksi käyttämällä 1-luokan ylijännitesuojia kertoimeksi P_C muodostuisi 0,01.

Liite 18 – P_M arvon määrittäminen

Kun lähdetään arvioimaan suojaamattoman rakennuksen vahinkojen todennäköisyyttä otetaan P_M arvoksi 1. Todennäköisyydellä P_M kuvataan sisäisten järjestelmien rikkoontumisen todennäköisyyttä, kun salama iskee rakennuksen läheisyyteen. Käytännössä arvo voidaan määrittää helpoiten ottamalla huomioon ylijännitesuojien suojausluokka, joka nähdään taulukosta 17, kerroin K_{S3} joka riippuu sisäisestä kaapeloinnista ja joka nähdään taulukosta 19 sekä laitteen jännitekestoisuus U_w. Sijoittamalla taulukkojen 17 ja 19 arvot sekä heikoimman laitteen jännitekestoisuuden arvo alla olevaan kaavaan saadaan selville kohteen P_M todennäköisyys.

$$P_M = P_{SPD} * \left(K_{S3} * \frac{1}{U_w} \right)^2$$

Jos esimerkiksi asemalla olisi 1-luokan ylijännitesuojat, heikoimman laitteen jännitekestoisuus olisi 6kV ja kaapeleiden reitityksessä olisi vältetty isojen silmukoiden muodostumista muodostuisi todennäköisyydeksi P_M tällöin:

$$P_M = 0,01 * \left(0,2 * \frac{1}{6} \right)^2 = 0,0000111$$

Liite 19 – P_U arvon määrittäminen

Kun lähdetään arvioimaan suojaamattoman rakennuksen vahinkojen todennäköisyyttä otetaan P_U arvoksi 1. Todennäköisyys P_U kuvaa rakennukseen liitettyyn johtoon iskevän salaman aiheuttamaa kosketusjännitteen vaaraa ja siitä seuraavan vamman todennäköisyyttä. Todennäköisyys P_U muodostuu seuraavasti:

$$P_U = P_{TU} * P_{EB} * P_{LD} * C_{LD}$$

P_{TU}= kerroin, joka riippuu suojaustoimenpiteistä kosketusjännitettä vastaan ja sen kertoimet nähdään taulukosta 21. Jos on käytetty useampia toimenpiteitä P_{TU} todennäköisyyden alentamiseksi, on lopullinen kerroin käytettyjen suojaustoimenpiteiden kertoimien tulo. (Esim. vaarallisista kosketusjännitteistä varoittavilla kylteillä saadaan heti riski 0,1 kertaiseksi lähtötilanteeseen nähden)

P_{EB}= kerroin, joka riippuu salamasuojauksen potentiaalintasauksesta ja ylijännitesuojien salamasuojaustasoa vastaavasta suojausluokasta. Kerroin voidaan määrittää taulukosta 22

P_{LD}= kerroin, joka riippuu johdon ominaisuuksista ja voidaan lukea taulukosta 20

C_{LD}=kerroin, joka riippuu johdon suojauksesta, maadoituksesta ja erotuksesta ja joka voidaan lukea taulukosta 18

Jos esimerkiksi aseman potentiaalintasaus on kunnossa, sinne meneviin kaapeleihin on asennettu 1-luokan ylijännitesuojat, kaapelit ovat suojatut, mutta niiden suoja ei ole maadoitettu samaan maadoituskiskoon kuin laitetta jolle kaapeli johdtaa ja asemalla on lisäksi vaarallisista kosketusjännitteistä varoittavia kylttejä, muodostuu todennäköisyydeksi P_U tällöin:

$$P_U = 0,1 * 0,01 * 1 * 1 = 0,001$$

Liite 20 – P_V arvon määrittäminen

Kun lähdetään arvioimaan suojaamattoman rakennuksen vahinkojen todennäköisyyttä otetaan P_V arvoksi 1. Todennäköisyys P_V kuvaa fyysisen vahingon riskiä rakennukselle, kun salama lyö rakennukseen liittyvään johtoon. Sen kerroin riippuu tehokkaasta potentiaalintasauksesta, ylijännitesuojista sekä erilaisista kaapeleiden ominaisuuksista ja muodostuu seuraavan kaavan mukaisesti:

$$P_V = P_{EB} * P_{LD} * C_{LD}$$

P_{EB}= kerroin, joka riippuu salamasuojauksen potentiaalintasauksesta ja ylijännitesuojien salamasuojaustasoa vastaavasta suojausluokasta. Kerroin voidaan määrittää taulukosta 22

P_{LD}= kerroin, joka riippuu johdon ominaisuuksista ja joka voidaan lukea taulukosta 20

C_{LD}=kerroin, joka riippuu johdon suojauksesta, maadoituksesta ja erotuksesta ja joka voidaan lukea taulukosta 18

Jos esimerkiksi asemalla olisi 1-luokan ylijännitesuojat, potentiaalintasaus kunnossa, heikoimman laitteen jännitekestoisuus olisi 6kV, kaapelit olisivat suojattuja maakaapeleita joiden screenien resistanssit olisivat yhden ja viiden ohmin välillä ja lisäksi nämä screenit olisi maadoitettu samaan pisteeseen kuin laitteet, joille kaapelit johtavat, muodostuisi P_V arvoksi:

$$P_V = 0,01 * 0,1 * 1 = 0,001$$

Liite 21 – P_w arvon määrittäminen

Kun lähdetään arvioimaan suojaamattoman rakennuksen vahinkojen todennäköisyyttä otetaan P_w arvoksi 1. Todennäköisyys P_w kuvaa sisäisten järjestelmien rikkoontumisen todennäköisyyttä, kun salama iskee rakennukseen liittyvään johtoon. P_w arvo voidaan määrittää samalla tavalla kuin edeltävän liitteen 20 P_v arvo. Erona näiden kahden todennäköisyyden välillä on se, että P_v kuvaa vahingon todennäköisyyttä itse rakennukselle, kun salama lyö rakennukseen liittyvään johtoon.

Liite 22 – P_Z arvon määrittäminen

Kun lähdetään arvioimaan suojaamattoman rakennuksen vahinkojen todennäköisyyttä otetaan P_Z arvoksi 1. P_Z kuvaa sisäisten järjestelmien rikkoontumisen todennäköisyyttä, kun salama iskee rakennukseen liittyvän johdon lähialueelle. Arvo riippuu ylijännitesuojauksesta, laitteiden jännitekestoisuudesta sekä kaapeloinnin ominaisuuksista ja muodostuu seuraavasti:

$$P_Z = P_{SPD} * P_{LI} * C_{LI}$$

P_{SPD}= kuvaa ylijännitesuojauksen vaikutusta todennäköisyyteen P_Z ja voidaan määrittää taulukon 17 avulla.

P_{LI}= kerroin, joka riippuu rakennukseen liittyvien johtojen ominaisuuksista sekä laitteiden jännitekestoisuudesta ja joka voidaan määrittää taulukon 23 avulla.

C_{LI}= kerroin, joka riippuu johdon suojauksesta, maadoituksesta ja erotuksesta ja joka voidaan määrittää taulukon 24 avulla.

Jos esimerkiksi asemalle meneviin johtoihin asennetaan ylijännitesuojat luokan 1 mukaan, heikoimman laitteen jännitekestoisuus on 6kV ja kaapelointi on tehty suojaetuilla maakaapeleilla, joiden screeniä ei ole maadoitettu samaan pisteeseen kuin laitteita, joille kaapelit johtavat, muodostuu kertoimeksi P_Z tällöin:

$$P_Z = 0,01 * 0,1 * 0,3 = 0,0003$$

Liite 23 – Salamasuojausmateriaalit

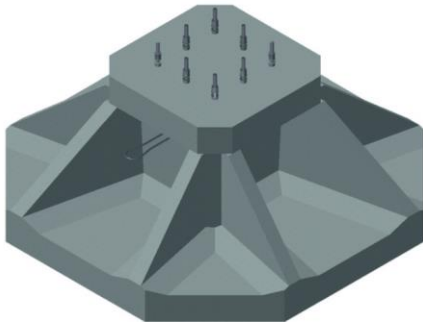
Tässä liitteessä esitellään erilaisia salamasuojauksessa käytettäviä tarvikkeita kuvien muodossa.

Esimerkkejä suojaustarvikkeista

Valmiiksi pätkittyjä ukkosmastoja joiden kiinnitys pitää miettiä erikseen löytyy esim. Dehnin katalogeista aina kahdeksan metrin korkeuteen saakka ja seison-
tatuellisia mastoja lähinnä tasaiselle alustalle asennettavaksi aina 14 metriin saakka. Betoniperustuksen vaativia mastoja löytyy 25 metriin saakka. Todennä-
köisesti kysymällä saa heiltä kaiken tarvittavan millä mitoilla tahansa, koska Dehn on erikoistunut juuri salamasuojaukseen. Materiaaleja heiltä löytyy joka lähtöön, esim. Al, StSt, Cu, AlMgSi, St/tZn. Vastaanottorakenteen johdinverkoissa ja alas-
tujohtimissa on vaihtoehtoina jäykkiä johtimia, puolijäykkiä johtimia, taivutelta-
via johtimia sekä lattajohtimia eri materiaaleista valmistettuna. Alastulojohtimia löytyy myös eritettynä.

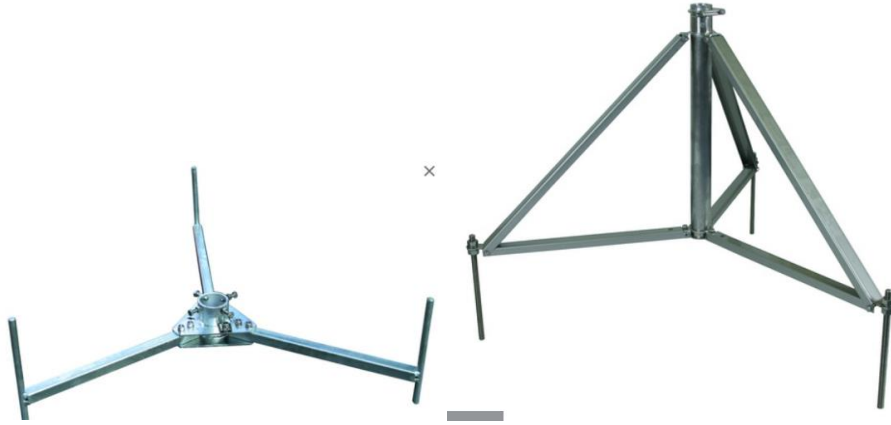
Alla esimerkkejä erilaisista seisontuellisista mastoista, teleskooppimastosta, mastoista jotka vaativat betoniperustuksen sekä itse betoniperustuksesta.

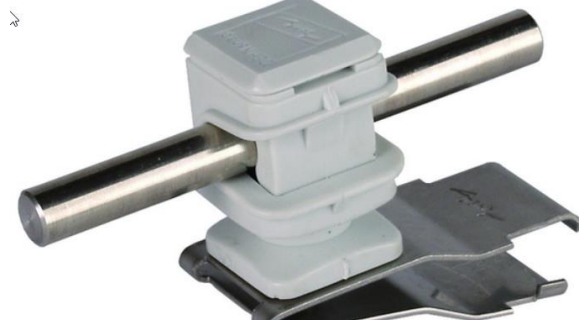
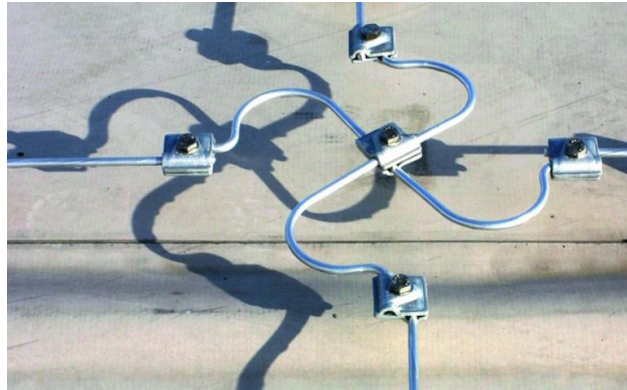




Alla esitetty seisontatuettomien mastojen valmiita kiinnitystelineitä erityyppisiin kattoihin ja seiniin sekä erilaisia johdinverkon kiinnitystelineitä.





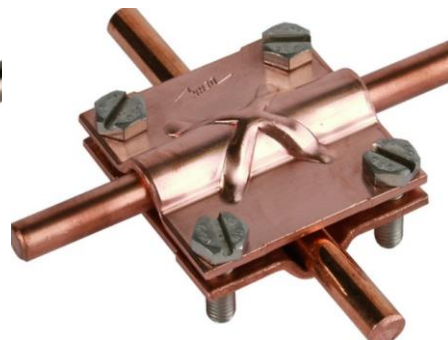




Alla esitetty ideoita alastulojohdin kiinnitykseen:



Alla esitetty erilaisia clämppejä:





TAULUKOT

Taulukko 1.	Hyväksyttävät riskiarvot arvioitaville riskeille
Taulukko 2.	Maksimaalinen johdinverkon silmukkakoko
Taulukko 3.	Maksimaalinen alastulojohtimien välinen etäisyys
Taulukko 4.	Vastaanottorakenteen johtimen, vastaanottotangon, alastulojohtimen ja maadoitusjohtimen sisäänvientitangon materiaalit ja minimipoikkipinnat
Taulukko 5.	Minimipoikkipinta potentiaalintasauskiskot yhdistäville johtimille sekä potentiaalintasauskiskot maadoitusjärjestelmään yhdistäville johtimille
Taulukko 6.	Minipoikkipinnat johtimille, jotka yhdistävät sisäiset järjestelmät potentiaalintasauskiskoihin
Taulukko 7.	Maksimaalinen salamasuojausjärjestelmän tarkastusväli
Taulukko 8.	C_I
Taulukko 9.	C_T
Taulukko 10.	C_E
Taulukko 11.	C_D
Taulukko 12.	r_t
Taulukko 13.	r_p
Taulukko 14.	r_f
Taulukko 15.	P_{TA}
Taulukko 16.	P_B
Taulukko 17.	P_{SPD}
Taulukko 18.	C_{LD}
Taulukko 19.	K_{S3}
Taulukko 20.	P_{LD}
Taulukko 21.	P_{TU}
Taulukko 22.	P_{EB}
Taulukko 23.	P_{LI}
Taulukko 24.	C_{LI}
Taulukko 25.	Pallomenetelmän salamasuojausluokkaa vastaava pallon säde

Taulukko 26.	k_i kertoimen arvot
Taulukko 27.	k_m kertoimen arvot
Taulukko 28.	k_c kertoimen arvot

Taulukko 1 – Hyväksyttävät riskiarvot arvioitaville riskeille

Hyväksyttävät riskiarvot (R_T)	
Riski	R_T
R1	10^{-5} /vuosi
R2	10^{-3} /vuosi
R4	10^{-3} /vuosi

(IEC 62305-2, 2010, 24)

Taulukko 2 – Maksimaalinen johdinverkon silmukkakoko

Salamasuojausluokka	Johdinverkon silmukkakoko (m)
I	5 x 5
II	10 x 10
III	15 x 15
IV	20 x 20

(IEC 62305-2, 2010, 19)

Taulukko 3 – Maksimaalinen alastulojohtimien välinen etäisyys

Salamasuojausluokka	Tyypillinen alastulojohtimien välinen etäisyys (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

Huom. Alastulojohdin tulisi asentaa jokaiseen rakennuksen kulmaan, jos se on mahdollista

(IEC 62305-2, 2010, 22)

Taulukko 4 - Vastaanottorakenteen johtimen, vastaanottotangon, alastulojohtimen ja maadoitusjohtimen sisäänvientitangon materiaalit ja minimipoikkipinnat

Materiaali	Muoto	Minimipoikkipinta (mm ²) (a)	Huomautuksia
Kupari	kiinteä nauha	50	minipaksuus 2mm
	pyörötanko (e)	50	halkaisija 8mm
	köysi	50	säikeen minihalkaisija 1,7mm
	pyörötanko (f)(g)	200	halkaisija 16mm
Tinattu kupari (b)	kiinteä nauha	50	minipaksuus 2mm
	pyörötanko (e)	50	halkaisija 8mm
	köysi	50	säikeen minihalkaisija 1,7mm
	pyörötanko (f)(g)	200	halkaisija 16mm
Alumiini	kiinteä nauha	70	minipaksuus 3mm
	pyörötanko	50	halkaisija 8mm
	köysi	50	säikeen minihalkaisija 1,7mm
Alumiiniseos	kiinteä nauha	50	minimipaksuus 2.5mm
	pyörötanko	50	halkaisija 8mm
	köysi	50	säikeen minihalkaisija 1,7mm
	pyörötanko (f)	200	halkaisija 16mm
Sinkitty teräs (c)	kiinteä nauha	50	minimipaksuus 2.5mm
	pyörötanko	50	halkaisija 8mm
	köysi	50	säikeen minihalkaisija 1,7mm
	pyörötanko (f)(g)	200	halkaisija 16mm
Ruostumaton teräs (d)	kiinteä nauha (h)	50	minimipaksuus 2mm
	pyörötanko (h)	50	halkaisija 8mm
	köysi	70	säikeen minihalkaisija 1,7mm
	pyörötanko (f)(g)	200	halkaisija 16mm
(a) sallittu toleranssi -3%			
(b) kuuma- tai elektrolyyttitinaus, pinnoitteen minimipaksuus 1um			
(c) pinnoitteen tulee olla tasainen, jatkuva ja tahraton vähintään 350 g/m ² pyörötangolla ja 500 g/m ² nauhalla. Mittaus noin 200mm pituisella näytteellä joko EN ISO 1460 tai ISO EN 1461:1999 mukaan			
(d) kromia \geq 16%, nikkeliä \geq 8%, hiiltä \leq 0,07%			
(e) tietyissä sovelluksissa 28mm ² (6mm ^φ) on riittävä 50mm ² (8mm ^φ) sijasta, kun mekaaninen lujuus ei ole olennainen vaatimus. Tällöin on harkittava kiinnitysvälin lyhentämistä			
(f) vain vastaanottotangot. 1m tangolle 10mm ^φ on riittävä, jos mekaaninen rasitus (tuuli) ei ole kriittinen			
(g) sovelletaan vain maadoituksen sisäänvientitangoille			

(h) jos lämpeneminen ja mekaaninen lujuus ovat tärkeitä, minimipoikkipinta on suurempi: kiinteä nauha 75mm² (minimipaksuus 3mm) ja pyörötanko 78mm² (halkaisija 10mm)

(SFS 609-käsikirja 2009, 96; IEC 62305-3, 2010, 30)

Taulukko 5 - Minimipoikkipinta potentiaalintasauskiskot yhdistäville johtimille sekä potentiaalintasauskiskot maadoitusjärjestelmään yhdistäville johtimille

Salamasuojaluokka	Materiaali	Minimipoikkipinta (mm ²)
I, II, III, IV	kupari	16
	alumiini	25
	teräs	50

(IEC 62305-3, 2010, 33)

Taulukko 6 - Minimipoikkipinnat johtimille, jotka yhdistävät sisäiset järjestelmät potentiaalintasauskiskoihin

Salamasuojaluokka	Materiaali	Minimipoikkipinta (mm ²)
I, II, III, IV	kupari	6
	alumiini	10
	teräs	16

(IEC 62305-3, 2010, 33)

Taulukko 7- Maksimaalinen salamasuojajärjestelmän tarkastusväli

Suojausluokka	Silmämääräinen tarkastus	Täydellinen tarkastus
I & II	1v	2v
III & IV	2v	4v

(IEC 62305-3, 2010, 151)

Taulukko 8 – C_I

Asennustapakerroin	C _I
Ilmajohto	1
Maakaapeli	0,2
Maakaapeli joka kulkee täysin maadoitusten seassa	0,01

(IEC 62305-2, 2010, 40)

Taulukko 9 – C_T

Tyypikerroin	C _T
Pienjännite voima- tai tietoliikennejohto	1
Suurjännite voimajohto	0,2

(IEC 62305-2, 2010, 40)

Taulukko 10 – C_E

Ympäristökerroin	C _E
Maaseutu	1
Esikaupunki	0,2
Kaupunki	0,5
(a) Kaupunki jossa korkeita rakennuksia	0,1
(a) korkeus yli 20 metriä	0,01

(IEC 62305-2, 2010, 40)

Taulukko 11 – C_D

Rakennuksen ympäristön huomioonottava kerroin C _D	
Rakennuksen sijainti	Kerroin
Rakennus korkeampien kohteiden ympäröimä	0,25
Rakennus noin saman korkuisten tai matalampien kohteiden ympäröimä	0,5
Rakennuksen ympäristössä ei muita iskukohteita	1
Rakennus sijaitsee mäen tai kummun päällä	2

(IEC 62305-2, 2010, 39)

Taulukko 12- r_t

Lattian tai maan johtavuudesta riippuva kerroin r_t		
Pintatyyppi	Kosketusresistanssi (k Ω)	r_t
viljelymaa tai betoni	≤ 1	10^{-2}
marmori, keraami	1-10	10^{-3}
sora, matto	10-100	10^{-4}
asfaltti, linoleumi, puu	≥ 100	10^{-5}

(IEC 62305-2, 2010, 52)

Taulukko 13- r_p

Sammutusjärjestelmän tulipalon riskiä alentava kerroin r_p	
Suojaustoimenpiteet tulipalon varalle	r_p
ei toimenpiteitä	1
yksi seuraavista: käsisammuttimet, kiinteät käsin operoitavat palosammutin asennukset, manuaalinen palohälytysjärjestelmä, palopostit, palo-osastot, palotiet	0,5
yksi seuraavista: automaattinen palosammutinjärjestelmä, automaattinen palohälytysjärjestelmä ^a	0,2
^a vain, jos rakennus suojattu ylijännitteiltä ja muilta vahingoilta ja palokunta pääsee paikalle alle 10 min kuluessa	

(IEC 62305-2, 2010, 52)

Taulukko 14 – r_f

Rakenteiden palavuuden ja palokuorman kerroin r_f	
Tulipaloriski	r_f
korkea ^a	10^{-1}
tavanomainen ^b	10^{-2}
matala ^c	10^{-3}
ei riskiä	0
^a rakennus rakennettu palavasta materiaalista kokonaan tai katon osalta, rakennuksen palokuorma yli 800 MJ/m ²	

^b palokuorma välillä 400 MJ/m ² - 800MJ/m ²
^c palokuorma alle 400 MJ/m ²

(IEC 62305-2, 2010, 52)

Taulukko 15 - P_{TA}

Suojaustoimenpiteet P _{TA} todennäköisyyden alentamiseksi	P _{TA}
Ei suojaustoimenpiteitä	1
Varoituskyltit	10 ⁻¹
Alastulojohtimien eristys vähintään 3mm ristosilloitettua polyeteeniä	10 ⁻²
Tehokas potentiaalintasaus	10 ⁻²
Fyysiset rajoitukset tai rakennuksen rungon käyttö alastulojohtimina	0

(IEC 62305-2, 2010, 42)

Taulukko 16 - P_B

Rakennuksen ominaispiirteet	Salamasuojaus luokka	P _B
Rakennusta ei salamasuojattu	ei suojausta	1
Rakennus salamasuojattu luokalla	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Rakennus, jossa I-luokan salamasuojausjärjestelmä ja jatkuva metalli rakenne tai betonin teräsvahvistus, joka toimii luonnollisena alastulojohdinjärjestelmänä		0,01
Rakennus jossa on metalli katto sekä salaman vastaanottorakenne, jossa kaikki katolla olevat asennukset on suojattu suoraan salamaniskua vastaan ja jossa jatkuva metalli- tai teräsbetoni runko toimii luonnollisena alastulojohdinjärjestelmänä		0,001

(IEC 62305-2, 2010, 43)

Taulukko 17 - P_{SPD}

Salamasuojausluokka jolle ylijännitesuojat on suunniteltu	P _{SPD}
Ei koordinoitua ylijännitesuojausta	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
HUOM.	0,005-0,001

Huom. Jos ylijännitesuojilla on paremmat ominaisuudet kuin I-salamasuojaustason suoja määrää, voidaan kertoimena käyttää arvoja 0,005-0,001. Jos suoja suojaa 300kA virtoja voidaan kertoimena käyttää 0,005, jos 400kA virtoja kertoimena voidaan käyttää 0,002 ja jos suoja suojaa 600kA virtoja kertoimena voidaan käyttää 0,001. Suojien speksit saadaan niiden valmistajilta.

(IEC 62305-2, 2010, 44)

Taulukko 18 - C_{LD}

Rakennukseen liittyvän johdon tyyppi	Liitäntä liittymispisteessä	C _{LD}
Ilmajohto, suojaamaton	määrittelemätön	1
Maakaapeli, suojaamaton	määrittelemätön	1
Useasta pisteestä maadoitettu neutraali voimajohto	Ei liityntää	1
Suojattu maakaapeli (voima/tietoliikenne)	Suoja ei maadoitettu samaan kiskoon laitteiston kanssa	1
Suojattu ilmajohto (voima/tietoliikenne)	Suoja ei maadoitettu samaan kiskoon laitteiston kanssa	1
Suojattu maakaapeli (voima/tietoliikenne)	Suoja maadoitettu samaan kiskoon laitteiston kanssa	1
Suojattu ilmajohto (voima/tietoliikenne)	Suoja maadoitettu samaan kiskoon laitteiston kanssa	1
Salamasuojauskaapeli tai johdotus salamalta suojaavassa kaapelikourussa tai metalliputkessa	Johdonsuoja sekä metalliputki maadoitettu samaan kiskoon laitteiston kanssa	0
Ei ulkoista liityntää	Ei liityntää ulkoiseen johtoon	0
Mikä tahansa tyyppi	Isolating interface according to IEC 62305-4	0

(IEC 62305-2, 2010, 44)

Taulukko 19 – K_{S3}

Sisäisestä kaapeloinnista riippuva kerroin K_{S3}	
Sisäisen kaapeloinnin tyyppi	K _{S3}
Suojaamaton kaapeli - reitityksessä ei vältetty silmukoiden muodostumista ^{a)}	1
Suojaamaton kaapeli - reitityksessä vältetty suurten silmukoiden muodostumista ^{b)}	0,2
Suojaamaton kaapeli - reitityksessä vältetty silmukoiden muodostumista ^{c)}	0,01
Suojatut kaapelit tai kaapelit kulkevat metallisten putkien sisällä ^{d)}	0,0001
a) Silmukka-ala noin 50m ²	
b) Silmukka-ala noin 10m ²	
c) Silmukassa olevat johtimet samassa kaapelissa, silmukka-ala noin 0,5m ²	
d) Kaapelinsuojat ja metalliputket, joissa kaapelit kulkevat maadoitettu potentiaalintasauskiskoon molemmista päistä ja laitteet joille kaapelit johtavat ovat myös maadoitettu tähän samaan potentiaalintasauskiskoon	

(IEC 62305-2, 2010, 46)

Taulukko 20 - P_{LD}

Huom. Resistanssiarvo tarkoittaa kaapelisuojan resistanssia (cable screen)

Johtotyyppi	Johdon reititys, -suojaus ja maadoitus		Laitteiston jännitekestoisuus (kV)				
			1	1,5	2,5	4	6
Voimakaapeli	Ilmajohto tai maakaapeli, joka on joko suojattu tai -suojaamaton ja jonka suoja ei ole maadoitettu samaan maadoituskiskoon johdon syöttämän laitteiston kanssa		1	1	1	1	1
	tai	Suojattu ilma-johto tai maakaapeli, jonka suoja on maadoitettu samaan maadoituskiskoon johdon syöttämän laitteiston kanssa	$5\Omega/\text{km} < R_s < 20\Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9
		$1\Omega/\text{km} < R_s < 5\Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_s \leq 1\Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02
Tietoliikennekaapeli							

(IEC 62305-2, 2010, 47)

Taulukko 21 - P_{TU}

Suojaustoimenpide	P _{TU}
Ei toimenpiteitä	1
Varoituskyltit	10 ⁻¹
Sähköinen eristys	10 ⁻²
Fyysiset rajoitukset	0

(IEC 62305-2, 2010, 47)

Taulukko 22 - P_{EB}

Ylijännitesuojan luokka	P _{EB}
ei ylijännitesuojausta	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
Huom.	0,005-0,001

Huom. Jos ylijännitesuojilla on paremmat ominaisuudet kuin I-salamasuojaustason suoja määrää, voidaan kertoimena käyttää arvoja 0,005-0,001. Jos suoja suojaa 300kA virtoja voidaan kertoimena käyttää 0,005, jos 400kA virtoja kertoimena voidaan käyttää 0,002 ja jos suoja suojaa 600kA virtoja kertoimena voidaan käyttää 0,001. Suojien speksit saadaan niiden valmistajilta.

(IEC 62305-2, 2010, 47)

Taulukko 23 - P_{LI}

Rakennukseen liittyvän johdon tyyppi	Laitteiston jännitekestoisuus (kV)				
	1	1,5	2,5	4	6
Voimajohto	1	0,6	0,3	0,16	0,1
Tietoliikennejohto	1	0,5	0,2	0,08	0,04

(IEC 62305-2, 2010, 49)

Taulukko 24 - C_{LI}

Rakennukseen liittyvän johdon tyyppi	Liitäntä liittymispisteessä	CLI
Ilmajohto, suojaamaton	määrittelemätön	1
Maakaapeli, suojaamaton	määrittelemätön	1
Useasta pisteestä maadoitettu neutraali voimajohto	Ei liityntää	0,2
Suojattu maakaapeli (voima/tietoliikenne)	Suoja ei maadoitettu samaan kiskoon laitteiston kanssa	0,3
Suojattu ilmajohto (voima/tietoliikenne)	Suoja ei maadoitettu samaan kiskoon laitteiston kanssa	0,1
Suojattu maakaapeli (voima/tietoliikenne)	Suoja maadoitettu samaan kiskoon laitteiston kanssa	0
Suojattu ilmajohto (voima/tietoliikenne)	Suoja maadoitettu samaan kiskoon laitteiston kanssa	0
Salamasuojauskaapeli tai johdotus salamalta suojaavassa kaapelikourussa tai metalliputkessa	Kaapelinsuoja sekä metalliputki maadoitettu samaan kiskoon laitteiston kanssa	0
Ei ulkoista liityntää	Ei liityntää ulkoiseen johtoon	0
Mikä tahansa tyyppi	Isolating interface according to IEC 62305-4	0

(IEC 62305-2, 2010, 44)

Taulukko 25 – Pallomenetelmän salamasuojausluokkaa vastaava pallon säde

Suojausluokka	Pallon säde (m)
Luokka 1	20
Luokka 2	30
Luokka 3	45
Luokka 4	60

(IEC 62305-3, 2010, 19)

Taulukko 26 – ki kertoimen arvot

Salamasuojausluokka	k_i
Luokka 1	0,08
Luokka 2	0,06
Luokka 3 & 4	0,04

(IEC 62305-3, 2010, 35)

Taulukko 27 – k_m kertoimen arvot

Materiaali	k_m
Ilma	1
Betoni, puu, tiili	0,5
Huom 1. Jos materiaaleja on useampaa erilaista kerroksittain, on hyvä käytäntö valita pienempi arvo	
Huom 2. Jos materiaalit ovat erit kuin listassa, pitäisi niiden eristysarvot kysellä valmistajalta	

(IEC 62305-3, 2010, 35)

Taulukko 28 – k_c kertoimen arvot

Alastulojohtimien määrä	k_c
1	1
2	0,66
3 ja enemmän	0,44

(IEC 62305-3, 2010, 36)