

likka Hirvilammi

SAIRAALAN SALAMASUOJAUS

SAIRAALAN SALAMASUOJAUS

Ilkka Hirvilammi
Opinnäytetyö
Syksy 2022
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkötekniikka

Tekijä: Iikka Hirvilampi

Opinnäytetyön nimi: Sairaalan salamasuojaus

Työn ohjaajat: Heikki Kurki (OAMK), Seppo Kehusmaa (Aro Systems Oy)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2022

Sivumäärä: 51 + 10 liitettä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä nykyaikaisiin salamasuojausjärjestelmiin ja niiden erilaisiin toteutusratkaisuihin. Opinnäytetyössä tutustutaan menetelmiin ja ratkaisuihin, joita on käytetty OYS 2030 A-rakennuksen salamasuojausjärjestelmässä. Työssä käsitellään salamaa ilmiönä ja perehdytään salamasuojausjärjestelmän hankinta- ja suunnitteluprosessiin.

Opinnäytetyössä käsitellään passiivisen salamasuojausjärjestelmän keskeisiä osia, suojauskomponenttien valintaa, suunnitteluvaiheen menetelmiä ja käytännön toteutusratkaisuja. Kaikki tieto ja ohjeistus perustuu salamasuojausta koskeviin standardeihin. Työssä kerrotaan keskeiset salamasuojauksen standardit sekä sähköturvallisuuslaki ja valtioneuvoston asetukset, joiden puitteissa salamasuojaus suunnitellaan ja toteutetaan Suomessa.

Opinnäytetyö antaa lukijalle kokonaiskuvan standardien mukaisista salamasuojauksratkaisuksista. Työssä keskitytään tarkemmin ulkoisen salamasuojauksen vastaanottorakenteiden sijoitteluun ja suunnittelumenetelmiin. Ulkoisen salamasuojauksen rinnalla on aina sisäinen salamasuojaus, joka sisältää ylijännitesuojaukset ja rakennuksen sisäisen potentiaalintasausjärjestelmän. Salamasuojauksen tarkoitus on suojata rakennuksen laitteita ja rakennusta käyttäviä ihmisiä ilmastollisilta ylijänniteiltä.

Asiasanat: salamasuojaus, ylijännitesuojaus, maadoituselektrodi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Option of Electrical Engineering

Author: Iikka Hirvilammi

Title of thesis: Lightning Protection System in Hospital Building

Supervisors: Heikki Kurki (OAMK), Seppo Kehusmaa (Aro Systems Oy)

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2022

Number of pages: 51 + 10 appendices

The purpose of this thesis is to learn about modern lightning protection systems and different implementation solutions. The thesis introduces the methods and solutions that have been used in the lightning protection system of hospital building OYS 2030 A. The work defines lightning as a phenomenon and introduces the procurement and design process of a lightning protection system.

The thesis examines the key parts of a passive lightning protection system, the selection of protection components, methods for the design phase and practical implementation of solutions. All information and instructions are based on lightning protection standards. The work describes the most important lightning protection standards and the Finnish electrical safety laws and government regulations that have an impact on lightning protection.

The thesis gives the reader an overview of standard solutions for lightning protection. The work focuses more closely on the location of external reception structures for lightning protection and their planning methods. Along with external lightning protection, there is always an internal lightning protection, which includes surge protection and the building's internal equipotential bonding system. The purpose of the lightning protection is to protect the building's equipment and the people who use the building from atmospheric overvoltages.

Keywords: lightning protection, overvoltage protection, ground electrode

ALKULAUSE

Haluan kiittää seuraavia opinnäytetyöprojektiini vaikuttaneita yhteistyötahoja:

- Työnantajaani Aro Systems Oy:tä, joka hyväksyi aiheen ja antoi työlle edellytykset
- Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiriä salamasuojajärjestelmän hankintapäätöksestä.
- Suunnittelutoimisto Granlund Oy Kuopiota suunnittelusta ja työnaikaisesta muutostenhallinnasta.

Lisäksi osoitan kiitokseni opinnäytetyön ohjaaja Heikki Kurjelle Oulun ammattikorkeakoulusta sekä työnohjaaja Seppo Kehusmaalle ja salamasuojajärjestelmän käytännön toteutuksesta Tommi Kynkäänniemelle ja Niko Jämsälle.

Oulussa 5.12.2022

likka Hirvilammi

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	9
2	SALAMAT JA NIIDEN AIHEUTTAMAT RISKIT	10
2.1	Salamat	11
2.2	Salaman vaarat	12
2.3	Vahingot rakennuksissa	14
3	SALAMASUOJAUKSEN MÄÄRITYS.....	15
3.1	Salamasuojauksen tarve	16
3.2	Riskiarviointiin perustuva salamasuojaus	17
3.3	Salamasuojausmääräykset Suomessa.....	18
4	SALAMA- JA YLIJÄNNITESUOJAUKSEN VALINTA	21
4.1	Ulkoisen salamasuojaus.....	22
4.2	Vastaanottorakenteet	23
4.2.1	Verkkomenetelmä	23
4.2.2	Suojakulmamenetelmä.....	24
4.2.3	Pallomenetelmä	26
4.3	Suojaetäisyydet.....	28
4.4	Alastulojohtimet.....	32
4.4.1	Eristämätön alastulojohdin.....	32
4.4.2	Eristetty alastulojohdin	33
4.5	Maadoituselektrodit	34
4.6	Ylijännitesuojaus	37
5	SAIRAALARAKENNUKSEN SALAMASUOJAUS.....	39
5.1	Maadoituselektrodi	39
5.2	Sisäinen salamasuojaus.....	39
5.3	Ulkoisen salamasuojaus.....	40
5.4	Toteutus	41
6	YHTEENVETO	49
	LÄHTEET.....	50

LIITTEET	52
----------------	----

SANASTO

Coulombi	Sähkövaraus, jonka yhden ampeerin sähkövirta kuljettaa yhden sekunnin aikana
IEC	Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio (International Electrotechnical Commission)
IsCon	Isolated Conductor; suurjännitettä kestävä, eristetty kaapelityyppi, jota käytetään salamasuojauksen alastulojohtimissa
LEMP	Salaman sähkömagneettinen pulssi (Lightning electromagnetic impulse)
LPL	Salamasuojaustaso (Lightning protection level)
LPS	Salamasuojajärjestelmä (Lightning protection system)
LPZ	Salamasuojausvyöhyke (Lightning protection zone)
Maadoituselektrodi	Johtava osa, joka on sähköisesti yhteydessä maahan
MEB	Päämaadoituskisko (Main Earthing Busbar)
Pae-liitin	Potentiaalintasausliitin; pintapurkausten välttämiseen isCon johtimissa
Potentiaaliero	Virtapiirin kahden eri kohdan välinen jännite-ero
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto

1 JOHDANTO

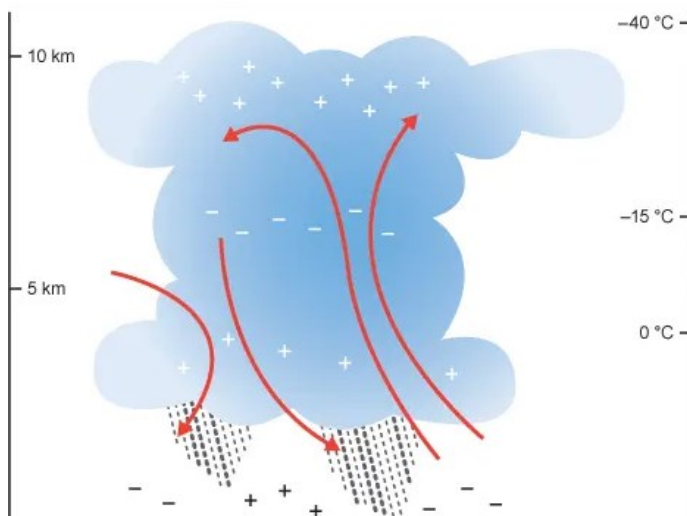
Luonnon ja ilmaston käyttäytymistä ei voida täysin ennustaa ja rakennuksien on pystyttävä toimimaan toivotulla tavalla ja turvallisesti. Ilmakehässä syntyvät ukkospilvet synnyttävät ilmastollisten ylijännitteiden vaaran salaman muodossa. Rakennuksia suunniteltaessa on otettava huomioon mahdollisen salamaniskun rakennukseen aiheuttavat vaarat. Niiden perusteella tehdään riskiarviointi ja määritetään salamasuojauksen tarve. Päätös salamasuojauksen toteuttamisen jälkeen määritellään rakennukselle oikea salamasuojaustaso. Ulkoisen salamasuojauksen rinnalle tehdään aina myös rakennuksen sisäinen salamasuojaus.

Opinnäytetyön tavoitteena on saada tietoa nykyaikaisesta salamasuojausjärjestelmästä, minkä tärkeys nousee digitalisaation kehityksen myötä yhä tärkeämmäksi. Työ keskittyy passiiviseen ulkoiseen salamasuojausjärjestelmään. Opinnäytetyössä esitetään OYS 2030 A-rakennuksen salamasuojauksen käytännön esimerkkitoiteutuksia.

Salamasuojauksella pyritään suojaamaan sairaalarakennusta suorilta salamaniskuilta ja johtamaan voimakas sähköpurkaus hallitusti maahan rakennusta vahingoittamatta. OYS 2030 rakennus on muuta ympäristöään korkeammalla ja on näin alttiimpi salamaniskulle. Sairaalaa käyttää paljon ihmisiä ja rakennus sisältää paljon herkkiä teknisiä järjestelmiä, joita halutaan suojella.

2 SALAMAT JA NIIDEN AIHEUTTAMAT RISKIT

Salamaa ilmiönä on tutkittu kauan ja osa sen syntymisen yksityiskohdista on edelleen tuntemattomia (1, s. 2). Salama on voimakas ilmakehän hankaussähköilmiö, joka syntyy ukkospilvessä. Ukkospilvi tarvitsee syntyäkseen ilmakehän epävakautta, jota syntyy nousu- ja laskuvirtauksissa. Syntyvässä ukkospilvessä kulkee dynaaminen pystyvirtaus, joka kasvattaa pilvää kuljettaen kosteutta ylöspäin. Pilven sähköistymisen saa aikaan hiukkaset, jotka syntyvät kosteassa nousuvirtauksessa. Sähköistymisessä isommat lumirakeet ja pienet jääkiteet iskeytyvät toisiinsa luoden hiukkasiin sähkövarauksen. Nousuvirtaus kuljettaa pienet jääkiteet pilven yläosaan luoden niihin positiivisen sähkövarauksen, kun taas painavimmat lumirakeet jäävät pilven keskiosiin negatiivisesti varautuneena. Pilveen muodostuu kolme hiukkaskeskusta (kuva 1). Salamoinnin aikana pilven positiivisten ja negatiivisten hiukkaskeskusten nettovaraus on kymmeniä coulombeja, ja niiden potentiaaliero keskenään sekä niiden ja maan välillä on noin 100 MV. (2, s. 10.)

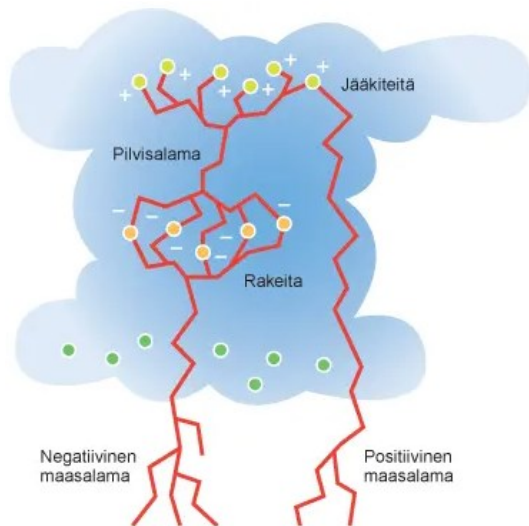


KUVA 1. Ukkospilven virtaukset ja varautuneet hiukkaskeskukset (6)

Ukkospilven sähköistyminen ja salama ovat monimutkaisia ilmiöitä ja mikrotason sähkökemiallisia prosesseja, joista osa on edelleen tuntemattomia (2, s. 10). Uusia salamaan liittyviä löydöksiä tulee maailman eri tutkimuslaitoksissa ilmi ja tietoisuus salaman yksityiskohdista paranee varmasti tulevaisuudessa teknologian kehittyessä.

2.1 Salamat

Salama syntyy ukkospilvessä, kun hiukkaskeskuksien sähkövaraukset nousevat riittävälle tasolle luoden läpilyöntejä pilven varauskeskuksien välillä tai varauskeskuksista maahan. Suomessa pilvisalamojen osuus kaikista salamoista on suunnilleen 2/3 ja loput 1/3 ovat negatiivisia tai positiivisia maasalamoja (kuva 2).

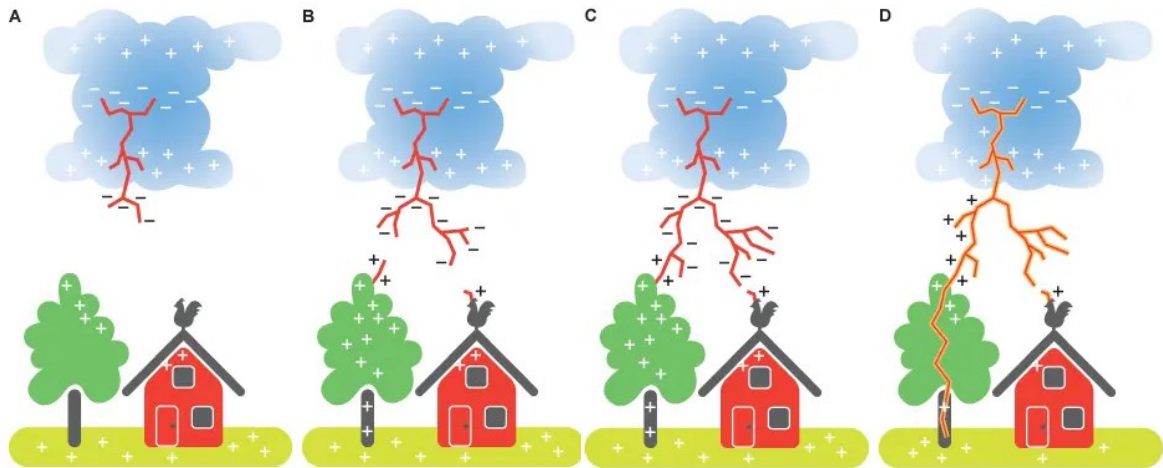


KUVA 2. Eri salamalajit ukkospilvessä (6)

Salama on monivaiheinen prosessi, missä tärkeimpiä osuuksia ovat esisalama, vastaesisalama ja pääsalama (kuva 3). Maasalamoista positiivinen on harvinaisempi kuin negatiivinen, mutta huippuvirraltaan voimakkaampi. Positiivinen maasalama esiintyy usein ukkosen lopulla ja esisalaman käyttäytyminen on nopeaa eikä sisällä askellusta tai isompia haaroittumisia. Ihminen näkee vain esisalaman valoilmion, joka iskee pilvestä maahan tai kääntäen maasta pilveen korkeissa iskukohteissa. Maasalamoista n. 80–90 % on negatiivisia. (2, s. 11–12.)

Kuvassa 3 esitetään negatiivisen maasalaman syntymisen eri vaiheet. Kohdassa A esisalama askeltaa noin 1 μ s nopeudella 50 metrin askelia kohti maata pitäen 50 μ s tauon askelien välissä tietämättä vielä osumiskohtaansa. Kohdassa B esisalaman askeltaessa noin 100 metrin päähän maasta muodostuu voimakas sähkökenttä alapuolisiin kohteisiin, jotka voisivat olla salamalle otollisia iskukohtia. Usein näistä otollisista kohteista nousee positiivinen vastaesisalama kohti negatiiv-

vista esisalamaa muodostaen sähköä johtavan salamakanavan. Kohdassa C salamakanavan varautuneet elektronit löytävät tien maahan, minkä jälkeen tapahtuu kohdan D salamanisku eli pääsalamavaihe. Siinä elektronit hyökkäävät salamakanavan alimmista osista räjähdysmäisesti valonnopeuden kolmasosan suuruisella nopeudella ja noin 30 000 °C:een lämpötilassa ylöspäin luoden voimakasta jyrinää, kun sähkövirran huippuarvo on 2–200 kA ja kesto muutaman kymmenen mikrosekunnin verran. (2, s. 11–12.)



KUVA 3. Negatiivisen maasalaman vaiheet (6)

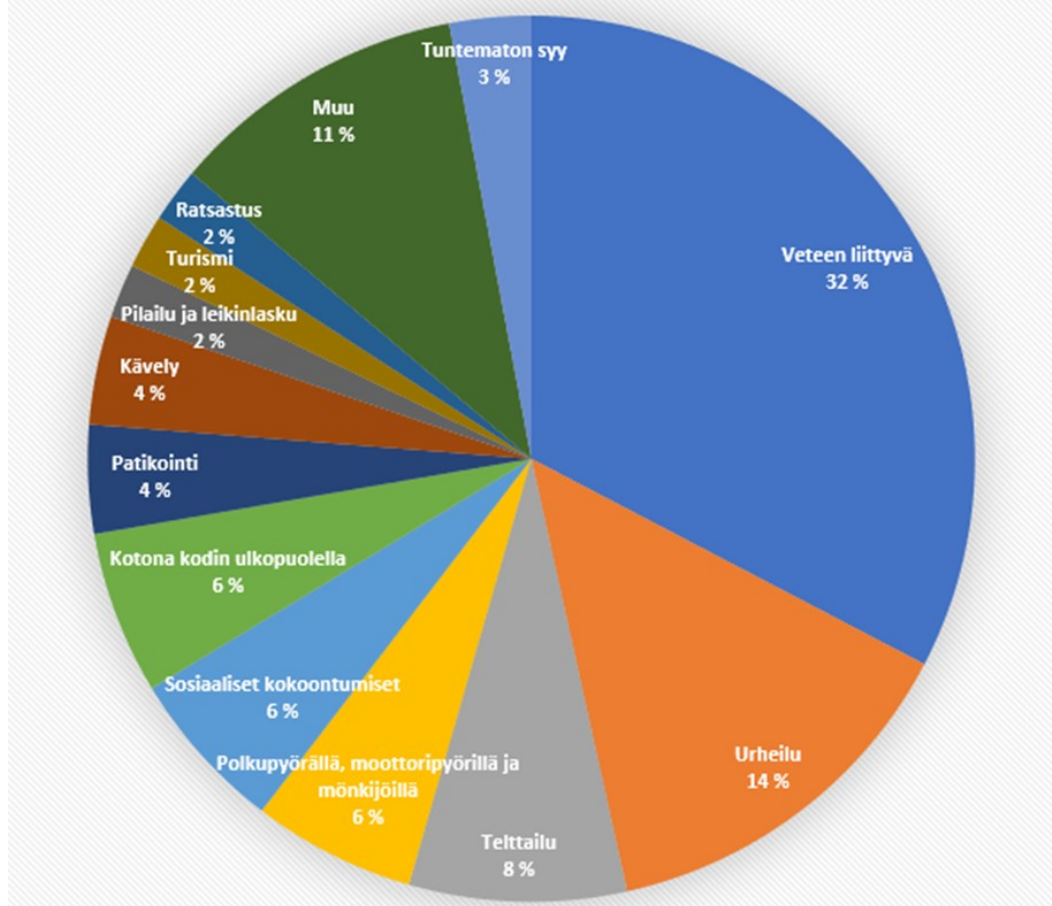
Vuonna 2021 Vaisala Oyj:n maailmanlaajuinen salamantunnistusverkko GLD360 havaitsi n. 2,4 miljardia salamaa maailmalla. Suomessa salamantunnistusverkko havaitsi n. 271 000 salamaa vuonna 2021. (5.)

2.2 Salaman vaarat

Salamaniskut ovat vaarallisia ja voivat pahimmassa tapauksessa aiheuttaa ihmiskuolemia, joissa yleisin menehtymisen syy on välitön sydänpysähdys. Ihmisten lisäksi karja ja muut eläimet ovat alttiita salaman vaaroille. Suomessa salaman aiheuttamat menehtymiset ovat harvinaisia, ja niitä tapahtuu keskimäärin yksi kahta vuotta kohden. (2, s. 16.) Muualla maailmassa, missä salamoit enemmän, nousee henkilövahinkoriskin mahdollisuus suuremmaksi ja esimerkiksi Yhdysvalloissa salamakuolemia oli 435 vuosina 2006–2020 eli keskimäärin 29 kuolemaa vuodessa. Vapaa-ajan salamakuolemista veteen liittyviä tapauksia oli 33 %, joissa suurin osuus liittyi kalastukseen ja

veneilyyn (kuva 4). Muut veteen liittyvät kuolemat tapahtuivat rannalla ja uimassa. Urheilukuolemien osuus oli 14 %, yleisimpinä lajeina olivat jalkapallo, golf ja juoksu. (4, s. 1–6.)

Vapaa-ajan salamakuolemien prosenttiosuus alaluokittain



KUVA 4. Vapaa-ajan salamakuolemien prosenttiosuus alaluokittain Yhdysvalloissa vuosina 2006–2020 (4, s. 6)

Suoraan salamaniskuun kuolee vain n. 10–30 % salaman lyhyen keston takia, vaikka sähkövirta onkin todella suuri. Salaman iskusta voi aiheutua vaaraa myös sivuiskuna, missä salama lyö puun kautta tai rakennuksen sisällä tele-, sähkö- tai puhelinverkon kautta. Pienrakennuksessa mahdollisilta salamaniskuilta suojautuminen on mahdollista tehdä kytkemällä laitteita irti verkosta ja välttämällä sähkökojeiden läheisyyttä. Salamasuojaus rakennuksessa vähentää vahinkojen todennäköisyyttä huomattavasti. Pienrakennuksissa salamaniskut osuvat yleensä antenneihin tai tulisijojen savupiippuihin ja vaikka rakennus olisi varustettu salamasuojauksella, on syytä välttää ukonilmalla tulisijan läheisyyttä. (2, s. 16–17.)

Ukonilman sattuessa paras tapa toimia on mennä rakennukseen suojaan tai auton sisälle. Jos edellä mainittuja paikkoja ei ole mahdollista hyödyntää, kannattaa ukonilmalla hakeutua paikkoihin, missä on mahdollisimman huomaamaton salamalle ja välttää aukeita paikkoja, puun alle menemistä tai sähköä johtavien kohteiden läheisyyttä. Salamaa houkuttelevia esineitä kuten sateenvarjoa tai muuta sähköä johtavaa ei tule pitää kädessä. Ilman mahdollista suojapaikkaa kannattaa sijoittua isohkosta puusta sen pituuden verran etäälle ja kyykistyä maahan jalat yhdessä. (2, s. 18.)

2.3 Vahingot rakennuksissa

Salaman lyödessä rakennukseen on vaarassa itse rakennuksen lisäksi myös sen sisällä olevat ihmiset ja rakennuksen tekniset järjestelmät. Salaman osuma saattaa vahingoittaa rakennuksen ympäristöä laajasti, jos salaman ominaisuudet ja rakennuksen yhteys ympäristöön sen mahdollistavat. (3, s. 25.)

Asuinrakennuksissa salamanisku aiheuttaa tulipalonvaaran ja talon sähköjärjestelmässä voi tapahtua läpilyöntejä. Vaarana ovat myös materiaalivauriot ja laiterikot. Maatalouden rakennuksissa suurin riski salaman lyödessä on rakennuksien materiaalirikot ja tulipalon vaara. Salama voi aiheuttaa maatalousrakennuksen sisällä myös vaarallisia kosketusjännitteitä. (3, s. 27.)

Salaman vaikutukset julkisissa rakennuksissa vaarantavat eri järjestelmiä, ja niiden viat voivat aiheuttaa pakokauhua rakennuksen sisällä. Palojärjestelmien ja valaistuksen viat voivat laukaista paniikin rakennuksessa. Kaupallisissa rakennuksissa tietoliikenneyhteyksien viat voivat aiheuttaa menetyksiä yrityksille, ja teollisuudessa tuotannon keskeytykset aiheuttavat tappioita. (3, s. 27.)

Sosiaali- ja terveyspalveluissa edellisten riskien lisäksi vaarana on hoidettavien ihmisten turvallisuus. Kulttuurikohteissa salamanisku voi aiheuttaa kulttuuriperinnön menetyksiä materiaalivaurioina. Tehtaat ja laitokset, joissa käsitellään vaarallisia aineita, voivat olla alltiita räjähdyksille ja kohtalokkaille toimintahäiriöille, ja seuraukset voivat olla tuhoisat myös globaalisti. (3, s. 27.)

3 SALAMASUOJAUKSEN MÄÄRITYS

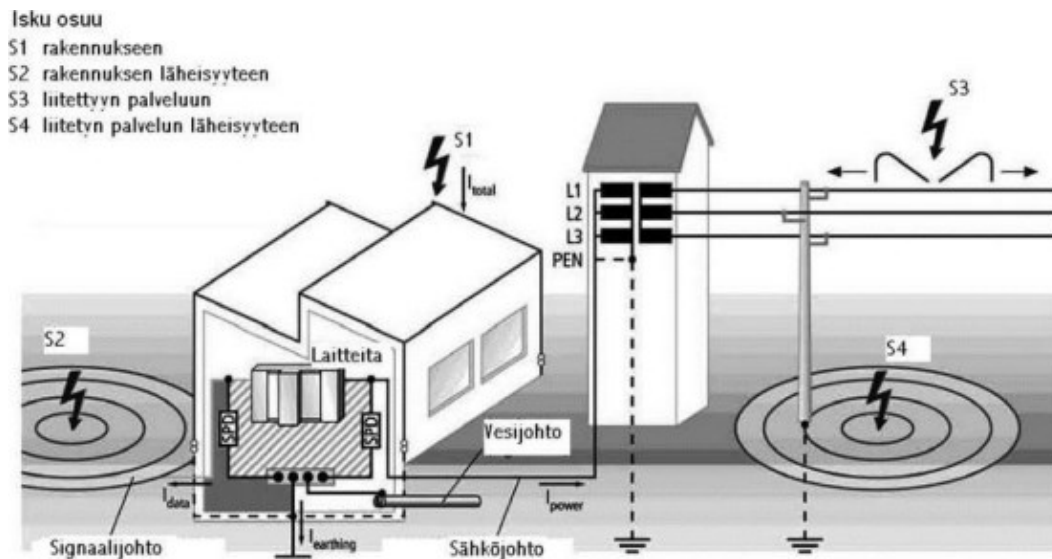
Suomessa käytettävissä standardeissa on SFS-merkintä, joka tarkoittaa, että standardi on vahvistettu Suomessa. Salamasuojauksen standardit ovat pääsääntöisesti IEC-standardeja ja ne ovat Suomessa käytössä lyhenteellä SFS-EN. Suomi on eurooppalaisen standardointijärjestön (CEN) jäsen, ja EN-merkintä tarkoittaa Euroopassa vahvistettua standardia. (7.) Salamasuojauksen määrittämisessä ja riskiarvioinnissa käytetään Suomessa pääsääntöisesti standardisarjan IEC 62305 vastaavaa eurooppalaista standardisarjaa SFS-EN 62305. Suomessa on tehty SFS-käsikirja 609 Rakennusten ja rakenteiden salamasuojaus, jonka pohjalta suomalaiset voivat toimia kaikkialla maailmassa salamasuojaukseen liittyvissä asioissa. (3, s. 3.) Salamasuojauksen komponentteja käsittelevä standardisarja on SFS-EN 62561, jossa käsitellään tarkemmin eri salamasuojauksen komponenttien vaatimuksia ja asennustapoja. Suomen ST-korteissa salamasuojaukseen käsittelevä kortti on 53.16.01 Rakennusten salamasuojaus, joka on päivitetty 7.2.2020. Taulukossa 1 on lueteltuna salamasuojauksen ja ylijännitesuojauksen standardeja.

TAULUKKO 1. Salama- ja ylijännitesuojauksen standardeja (18)

Standardit		
SFS 6000	4-444	Suojaus ilmastollisilta ja kytkentäylijännitteiltä
	5-53	Ylijännitesuojat
SFS EN 62305	1	General principles
	2	Risk management
	3	Physical damage to structures and life hazard
	4	Electrical and electronic systems within structures
SFS-EN 62561	1	Requirements for connection components
	2	Requirements for conductors and earth electrodes
	3	Requirements for isolating spark gaps (ISG)
	4	Requirements for conductor fasteners
	5	Requirements for earth electrode inspection housings and earth electrode seals
	6	Requirements for lightning strike counters (LSC)
	7	Requirements for earthing enhancing compounds
IEC TS 62561	8	Requirements for components for isolated LPS
SFS EN 60664	1	Principles, requirements and tests
CLC TS 61643	12	Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Selection and application principles
CLC TS 61643	22	Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks - Selection and application principles
SFS EN 60364	5-53	Selection and erection of electrical equipment - Devices for protection for safety, isolation, switching, control and monitoring
IEC TR 62066		Surge overvoltages and surge protection in low-voltage a.c. power systems - General basic information

3.1 Salamasuojauksen tarve

Standardissa SFS-EN 62305-1 salaman aiheuttamat vahingot luokitellaan ja sen pohjalta voidaan arvioida salamavahinkojen riskit. Suojattavan rakennuksen pääominaisuudet määrittävät myös riskitekijöitä. Riskilaskennassa vauriolähteet jaetaan neljään luokkaan S1–S4 salaman osumakohdan perusteella (kuva 5).



KUVA 5. Vaarat rakennukseen salaman osumakohdan perusteella (3, s. 25)

Suora isku rakennukseen voi aiheuttaa välittömiä mekaanisia vaurioita, tulipaloja ja räjähdyksiä salaman kuumen plasmakaaren vuoksi. Salaman kuumuuden takia johtimet ylikuumenevat ja kuumuuden takia johtimien metallit voivat sulaa ja synnyttää valokaaria. Rakennuksen sisälle voi syntyä ihmisille ja eläimille vaarallisia jännitteitä. Salaman (LEMP) sähkömagneettinen pulssi vaarantaa sisäisiä järjestelmiä aiheuttaen vikoja tai toimintahäiriöitä (kuva 5). (3, s. 26.)

Myös isku rakennuksen läheisyyteen voi synnyttää LEMP:n vaaroja laitteille. Suora salamanisku ilmajohtoon voi johdattaa salamavirran rakennuksen sisälle synnyttäen tulipalon ja räjähdyksen vaaroja kipinöinnin seurauksena. Vaikka salama osuisi vain rakennuksen yhteyteen liitetyn ilmajohtoon läheisyyteen, voi se kulkeutua rakennukseen synnyttäen vaarallisia ylijännitteitä ja aiheuttaa järjestelmien virhetoimintaa ja rikkoutumista (kuva 5). (3, s. 26–27.)

Riippuen salaman osumiskohdasta se aiheuttaa kolmenlaisia vaurioita rakennuksessa:

- D1 ihmisten tai eläimien vahingoittumisen
- D2 rakennuksen fyysiset vauriot
- D3 sisäisten järjestelmien vahingot LEMP:n vaikutuksesta

Salaman aiheuttamat menetykset luokitellaan neljään tyyppiin L1 – L4, joista kolme ensimmäistä luokitellaan standardissa sosiaalisten arvojen menetyksiksi ja neljäs taloudelliseksi menetyksiksi. L1 tarkoittaa hengen, L2 julkisen palvelun, L3 kulttuuriperinnön ja L4 taloudellista menetystä. (3, s. 26–27.)

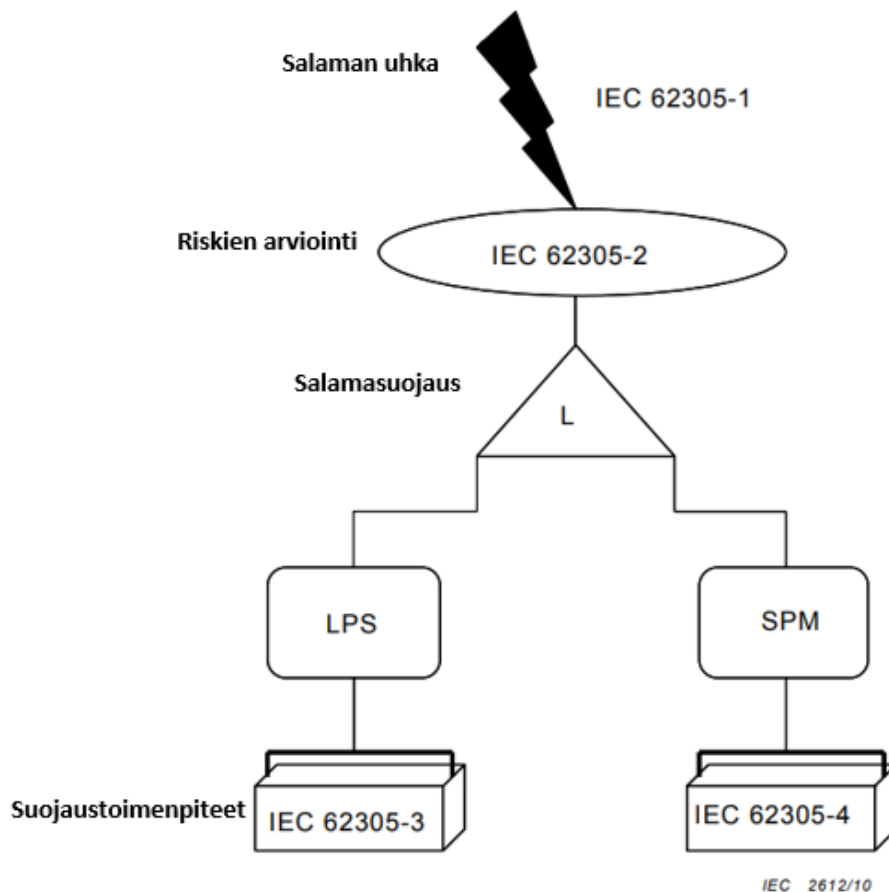
3.2 Riskiarviointiin perustuva salamasuojaus

Rakennuksen omistaja, rakennuttaja tai käyttäjä vastaa aina salamasuojauksen riskinarvioinnista sekä suojaamisen tarpeesta ja tasosta. Suunnittelijoiden tehtävänä on valita kyseisen salamasuojaustason LPL mukaiset suojauksen rakenteet ja komponentit sekä tehdä yhteistyössä yksityiskohtainen suojaussuunnitelma. Suojatasoja on neljä: LPL I, II, III ja IV (kuva 6). Suojauslaitteiden mitoitus sekä ylijännitesuojat määräytyvät em. suojatasojen mukaan. (7, s. 2.)

LPL
I Ydinvoimalat, puolustussovellukset ja konesalit
II Teollisuuden EX-tilat, tietoliikennemastot ja yli 100 m korkeat kerrostalot
III Sairaalat, kirkot, museot, julkiset rakennukset, koulut, konttorit, liikekeskukset, pumppuasemat, yli 10 kW valosähköjärjestelmät, hotellit ja yli 22 m korkeat kerrostalot
IV Muut riskiarvioinnin perusteella suojattavat kohteet

KUVA 6. Salamasuojaustasot (9, s. 7)

Salamasuojauksen riskiarviointi ja suunnittelu salaman uhasta suojaustoimenpiteen toteutukseen esitetään kattavasti SFS-EN 62305-1 - 4 standardissa.



KUVA 7. Standardin 62305 sisältö lohkoaviossa (8, s. 7)

Salamasuojauksen riskiarviointi sisältää paljon eri osa-alueita ja se vaatii paljon työtä. Riskiarviointi tehdään keskimääräisin arvoin ja todellisuudessa salaman riskit vaihtelevat. Perusteellisella riskiarvioinnilla saadaan kuitenkin kokonaiskuva riskitasosta ja tietoa riskien aiheuttajista, mikä helpottaa päätöksentekoa oikean suojauksen suhteen. (3, s. 53.)

3.3 Salamasuojausmääräykset Suomessa

Suomen sähköturvallisuuslaki (1135/2016) ei sisällä suoria salama- ja ylijännitesuojauksia koskevia määräyksiä. Sähköturvallisuuslaki käsittelee sähkölaitteistojen ja laitteiden turvallisuutta, joka liittyy myös salamasuojauksen mahdolliseen toteuttamiseen turvallisuuden takaamiseksi. Lain pykälässä 6 mainitaan, että sähkölaitteistojen ja -laitteiden suunnittelu, rakentaminen, valmistaminen ja korjaaminen on tehtävä niin, että siitä ei aiheudu vaaraa kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuu-

delle. (11.) Lain kohta ottaa kantaa salamasuojaukseen kertoen, että sähkölaitteiden ja sähkölaitteistojen toiminta ei saa häiriintyä helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti. Sähkölaitteiston häiriönsieto pitää varmistaa niin, että sähkölaitteiston toiminta pysyy halutunlaisena, vaikka siihen kohdistuu sähkömagneettisia häiriöitä. (2, s. 20.)

Tietyissä räjähteitä sisältävissä tiloissa lainsäädäntö ja Tukes vaativat salamasuojausta ylijännitesuojauksen osana. Muissakin räjähdysvaarallisissa tiloissa ylijännitesuojaus on suositeltavaa. (2, s. 51) Valtioneuvoston asetuksen 1101/2015 pykälässä 46 käsitellään staattista sähköä ja potentiaalintasausta räjähteiden valmistus-, käsittely- ja varastointitiloissa. Tiloissa on pyrittävä estämään staattisen sähkön syntymistä ja mahdollisen staattisen sähkön poistamista tarkoituksenmukaisilla tavoilla ja asianmukaisilla laitteilla. Maanpäällinen kiinteä rakennus tarvitsee salamasuojauksen ja maadoituksen, mikäli se sisältää yli 500 kilogrammaa muita kuin 1.4-vaarallisuusluokan räjähteitä. (12.)

Standardi SFS 3350 käsittelee palavien nestemäisten kemikaalien varastopaikkoja ja standardista löytyy maininta salamasuojauksesta. Standardin kohdan 17.11 mukaan:

Säiliöt, putkistot ja laitteistot, joiden osalta salamaniskuvaara on ilmeinen, tulee maadoittaa. Suojaus tulee tehdä siten, että salama ohjataan vähemmän vaaralliseen kohtaan ja että saavutetaan riittävä virran jakautuminen jokaisessa kohdassa, jossa salama voi iskeä tai johtua sisään laitteistojen ja rakenteiden kautta. Ukkojenjohtimen poikkipinta-ala tulee mitoittaa riittävän suureksi. (13, s. 39.)

Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012 lain pykälässä 67 lukee maininta:

Sellaiset palavaa nestettä, palavaa kaasua tai räjähdysvaarallista pölyä sisältävät säiliöt, putkistot ja laitteistot, joiden osalta salamavaara on ilmeinen niiden rakenteen tai sijainnin vuoksi, tulee maadoittaa salamaniskun varalta. (14.)

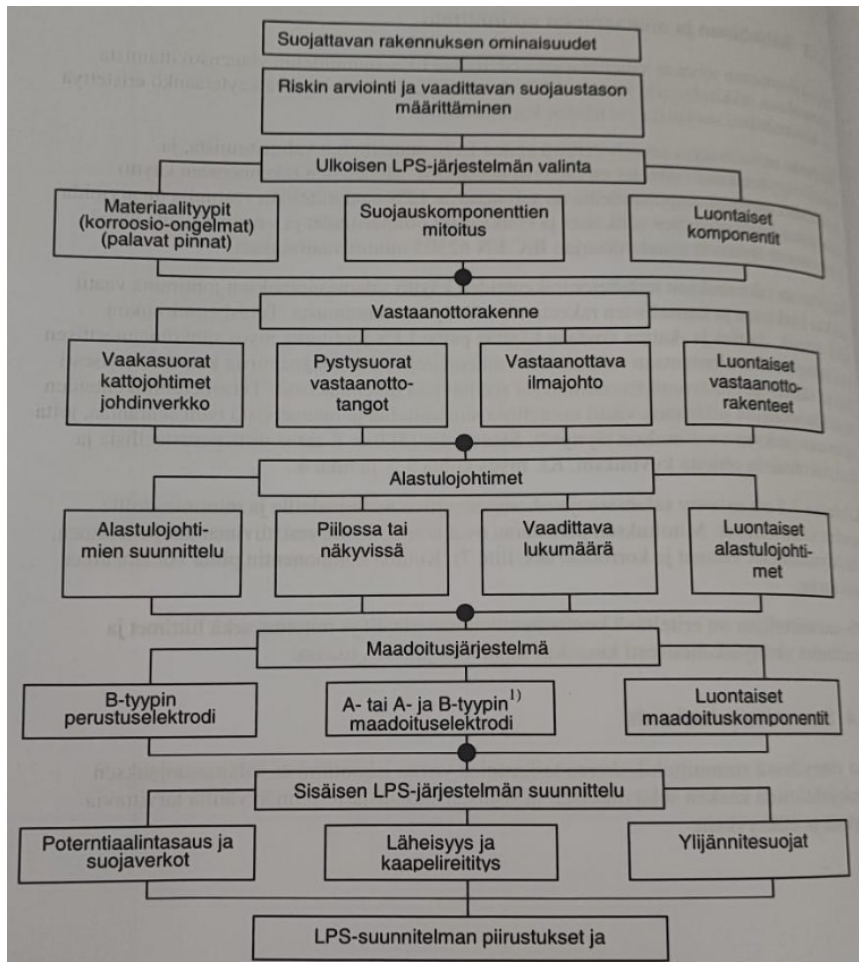
Toinen salamasuojausta koskeva maininta on asetuksessa 856/2012 lain pykälä 89:

Varastorakennus on suojattava salamaniskun vaikutuksilta, jos siinä varastoitavan ammoniumnitraatin määrä on yli 30 tonnia. (14.)

Standardissa SFS 6000-4-44:2022 käsitellään rakennusten suojausta ilmastollisilta ylijännitteiltä ja näiden riskin arviointimenetelmää kohdassa 443.

4 SALAMA- JA YLIJÄNNITESUOJAUKSEN VALINTA

Kun rakennukseen on tehty päätös rakentaa salamasuojaus, on suunniteltava toimiva kokonaisuus, joka sisältää rakennuksen ulkoisen ja sisäisen salamasuojausjärjestelmän. Ulkoiseen järjestelmään tarvitaan salamanvangitsijat, alastulojohtimet ja maadoituselektrodi. Sisäinen järjestelmä tarvitsee ylijännitesuojauksen ja johtavien osien yhdistämisen potentiaalintasaukseen. (2, s. 58.) Toimiva salamasuojausjärjestelmä tarvitsee vaativaa asiantuntemusta ja perehtymistä eri tekniikan ja rakentamisen aloilta, jotta haluttu suojaustaso saavutettaisiin mahdollisimman mutkattomasti ja kustannustehokkaasti. (3, s. 61.) Kuvassa 8 esitetään salamasuojauksen suunnittelun osat alueet vuokaaviona.



KUVA 8. LPS-suunnittelun vuokaavio (3, s. 60)

4.1 Ulkoinen salamasuojaus

Ulkoisen suojausjärjestelmän tehtävänä on siirtää rakennukseen iskevä suora salamanisku kestävään vastaanottorakenteeseen ja johtaa salamavirta maadoitukseen, joka hajottaa virran maahan suojaten rakennusta termisiltä, mekaanisilta ja vaarallisilta valokaarilta. (3, s. 62.) Valitun LPL-suojaustason mukaan määritellään suojausjärjestelmän ominaisuudet. Salaman vangitsijoiden valinnassa salamasuojausstandardi SFS-EN 62305 antaa kattavaa tietoa eri vaihtoehdoista salaman vangitsemiseen. Vangitsijoina voidaan käyttää salamasiappaustankoja, ripustettuja johtimia, verkkorakenteita ja näiden eri variaatiota. (2, s. 59.)

Salamasuojaus voidaan toteuttaa passiivisella tai aktiivisella suojauksella. Aktiivista järjestelmää ei käsitellä kansainvälisessä standardissa IEC 62305 vaan aktiivisen salamasuojausjärjestelmän määrittely perustuu ranskalaiseen kansalliseen standardiin NF C 17 102 (2011). Aktiivisessa ESE-järjestelmässä salamasiappaari luo vastapurkauskanavan passiivista järjestelmää nopeammin energiaa varastoivien kondensaattoreiden ja kelojen avulla. (9.)

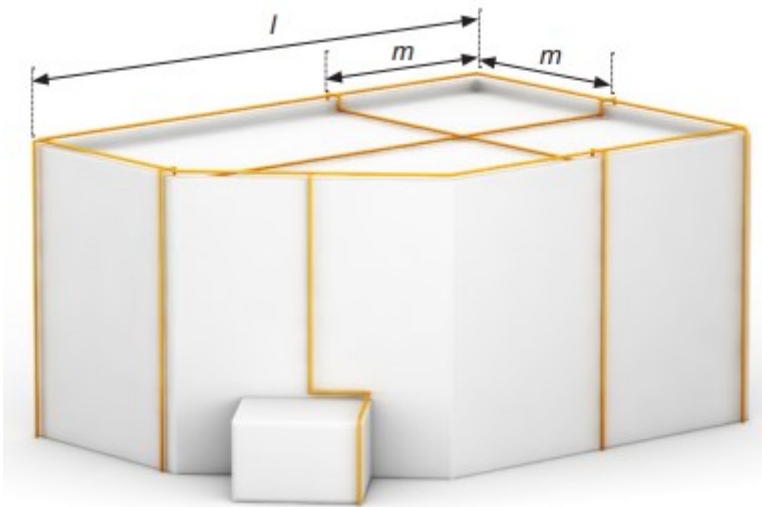
Ulkoisessa suojauksessa voidaan myös mahdollisuuksien mukaan hyödyntää rakennuksen olemassa olevia rakenteita tai tietoisesti rakennuksen suunnitteluvaiheessa tehtyjä rakenneosia ja elementtejä. Salamasuojaukseen voidaan hyödyntää rakennuksen teräsrakenteita, metallisia katto- ja julkisivurakenteita sekä rakennuksen perustuksien raudoituksia. Eri rakenteiden yhdistykset on varmistettava luotettavilla liitoksilla, jotta purkausvirtareitin sähköinen jatkuvuus toteutuu. Rakennuksen luontaisien ominaisuuksien hyödyntäminen salamasuojauksessa on kustannustehokas vaihtoehto, mutta salamasuojauspäätös on tehtävä rakennushankkeen alussa luotettavan suojauksen toteutumiseksi. Olemassa olevan rakennuksen luontaisia ominaisuuksia ei voida luotettavasti hyödyntää, koska liitoksien ja rakenteiden toimivuudesta ei ole välttämättä varmaa tietoa. (9, s. 15.) Luontaisien komponenttien käyttö vaatii tarkkaa harkintaa erityisesti sähkökemiallisten korrosioriskien osalta eri metalliosia käytettäessä (2, s. 59).

4.2 Vastaanottorakenteet

Salamansieppaukseen suunniteltavat vastaanottorakenteet on valittava suojattavaan kohteeseen sopivaksi käyttäen erilaisia tankoja, mastoja, riippujohtimia, johdinverkkorakenteita tai riittävän paksuja metallilevyjä. Vastaanottorakenteet sijoitetaan suojattavassa kohteessa LPS-suunnittelun mukaisiin strategisiin paikkoihin. Mahdolliset sieppaustangot yhdistetään rakennuksen katolla toisiinsa salamavirran jakautumisen varmistamiseksi. (2, s. 63.) Vastaanottorakenteiden sijoitus suunnitelmaan käyttäen verkko-, suojakulma- tai pallomenetelmää. Menetelmiä voidaan käyttää itsenäisesti tai yhdistämällä niitä. (2, s. 82.)

4.2.1 Verkkomenetelmä

Verkkomenetelmän käyttö soveltuu tasaisille ja kalteville katoille. Verkkorakenne koostuu kattojohtimista tehdyistä ruuduista. Verkon kehä sijoitetaan kulkemaan lähellä katon reunaa. Verkon silmäkoko määräytyy valitun LPL-suojausluokan mukaan (kuva 9) (taulukko 2). (7, s. 4.)



KUVA 9. Vastaanottorakenteen verkkomenetelmä (7, s. 6)

Mikäli verkkomenetelmän yksittäisen kattojohtimen pituus ylittää 20 metriä, on johtimeen tehtävä laajennus (kuva 10), joka estää johtimen lämpölaajenemisen (7, s. 4).



KUVA 10. Alumiinijohtimeen tehty laajennus

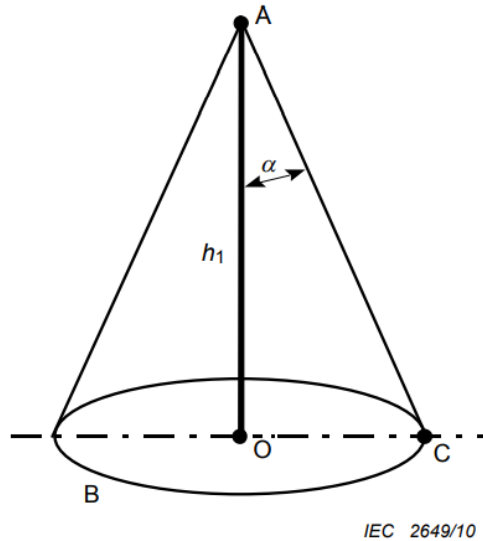
Katolla oleva tekniikka, jonka kautta salamavirta voi päästä rakennuksen sisälle, on suojattava sieppaustangoilla (7, s. 4). Sieppaustangot sijoitetaan suojakulma- tai pallomenetelmällä (9, s. 9).

TAULUKKO 2. Vastaanottorakenteiden sijoittelu pallo-, verkko- tai suojakulmamenetelmää käyttäen (15)

LPL	Pallon säde R (m)	Verkon koko (m)	Suojakulma (α)
I	20	5 x 5	
II	30	10 x 10	
III	45	15 x 15	
IV	60	20 x 20	

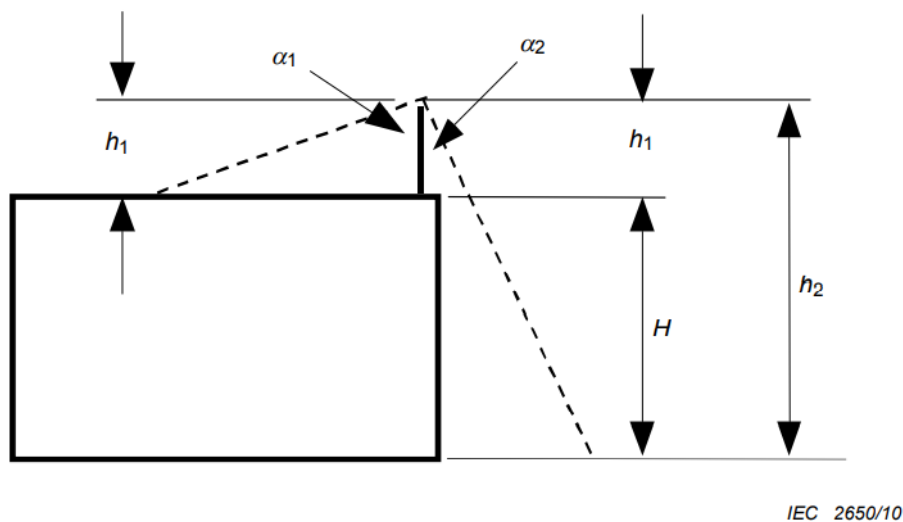
4.2.2 Suojakulmamenetelmä

Suojakulmamenetelmässä vastaanottorakenteen yksittäiseen pisteeseen lasketaan suojakulma, joka muodostaa alapuolelle kartion muotoisen suoja-alueen (kuva 11). Suojakulman astelukuun vaikuttaa suojattavan kohteen suojausluokka. (2, s. 84.)



KUVA 11. Sieppaustangon kartionmuotoinen suoja-alue. A=Tangon pää, B=Suoja-alueen kehä, O C = Suojatun alueen säde, h_1 = Tangon korkeus tarkasteltavaan referenssisitasoon. α = Suojakulma (15, s. 59.)

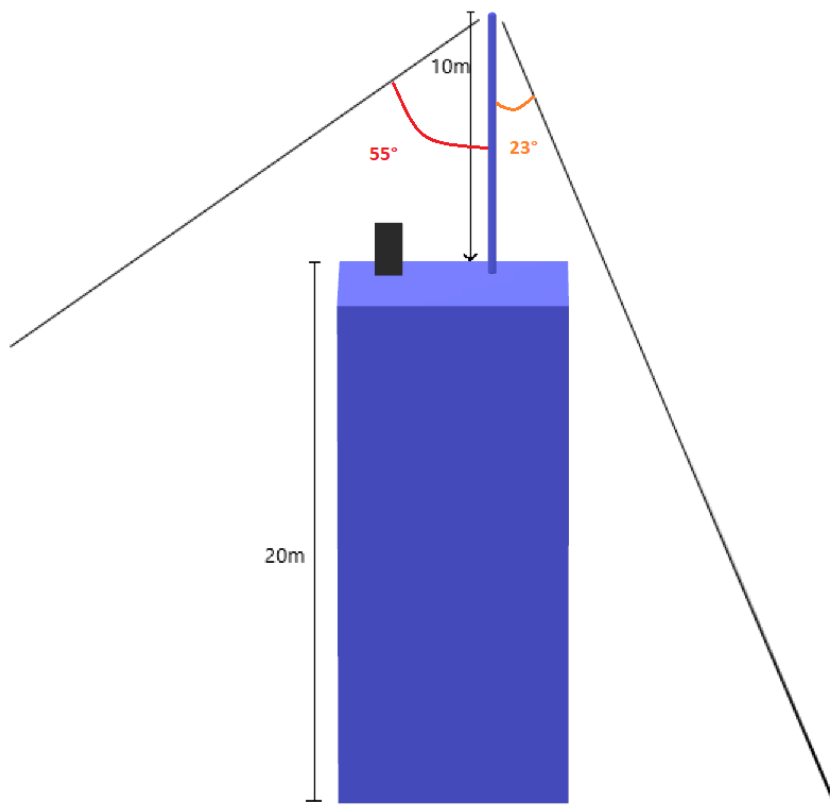
Taulukon 2 mukaan suojakulmamenetelmän käyttöä rajoittaa salamasuojauksen korkeus ja LPL (2, s. 84). Suojakulman asteluku lasketaan vastaanottorakenteen, esimerkiksi salamasieppaustangon, korkeudesta. Referenssisitasosta johtuen tangon suojakulma on katolla suurempi kuin se on maatasoon nähden (kuva 12). (3, s. 65.)



KUVA 12. Suojakulma katolla ja maassa (15, s. 40)

Suojakulmamenetelmällä saadaan suojattua katolla sijaitsevia teknisiä laitteita sieppaustangolla, joka nousee ympäristöönsä korkeammalle. Seuraava esimerkki havainnollistaa taulukon 2 käyttöä kuvan 13 tilanteessa:

- Valitaan taulukosta salamasuojaustasoksi 2.
- 20 metriä korkean rakennuksen katolla on 10 metriä korkea salamasieppaustanko.
- Taulukosta 2 katsotaan LPL II käyrän kohdalta suojakulma eri referenssitasoilla.
- Katon tasolla suojakulma on n. 55 astetta ja maahan katsottuna n. 23 astetta.

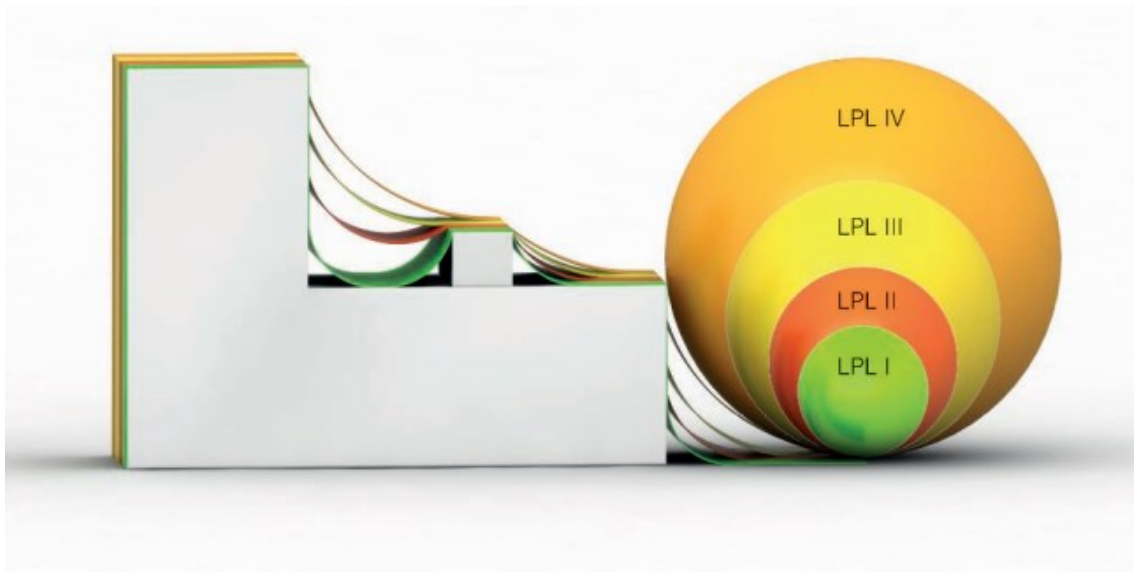


KUVA 13. Suojakulman määrittäminen

4.2.3 Pallomenetelmä

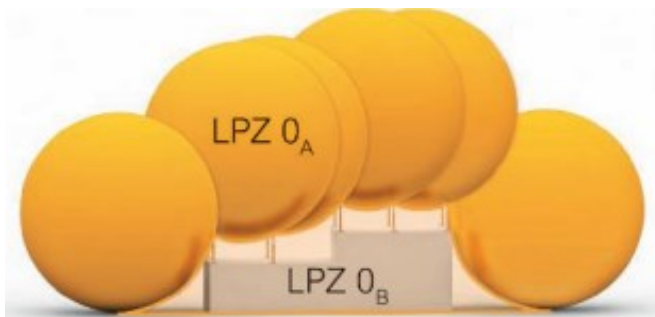
Pallomenetelmä on kansainvälisesti suosittu menetelmä suunniteltaessa salamasuojausjärjestelmää ja sen vastaanottorakenteita. Pallomenetelmää käytetään aina silloin, kun rakennuksen muodot ovat monimutkaisia tai kun suojakulmamenetelmän käyttö ei taulukon 2 mukaan ole mahdol-

lista. Pallomenetelmä jäljittää lähestyvän salaman viimeisen hypyn pituutta, kun salama hakee lähintä iskupaikkaa. (2, s. 84.) Pallomenetelmässä käytettävä säde r määräytyy LPL-luokan mukaan ja kaikki, mitä pallo koskettaa, on alltiina salamaniskulle (taulukko 2) (kuva 14). Ydinvoimat ovat vaativimmassa suojausluokassa LPL I, jossa pallon säde on 20 metriä. Tällöin suojauskomponenttia tarvitaan enemmän, jotta suojattavat kohteet saadaan suojattua. (3, s. 67.)



KUVA 14. Vieritettävän pallon koko salamaluokittain (10, s. 60)

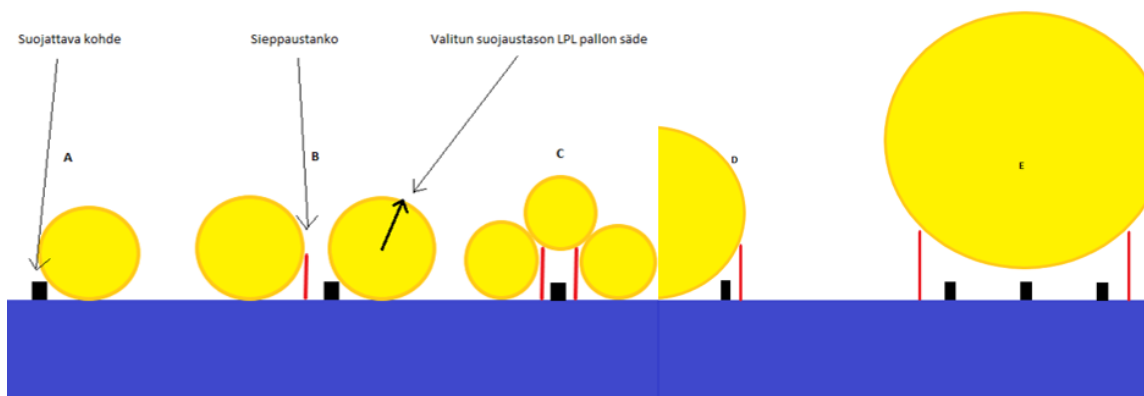
Suunnitteluvaiheessa rakennuksen katolla vieritetään valitun suojaustason kokoista 3D palloa ja kaikki, mitä pallo koskettaa, on alltiina salamaniskulle. Pallomenetelmän käytöllä saadaan määritettyä LPZ-salamasuojusvyöhykkeet (kuva 14). Alue LPZ 0A on alltiina suoralle salamaniskulle ja sähkömagneettiselle kentälle. Alue LPZ 0B on suojassa suoralta salamaniskulta, mutta siihen vaikuttaa sähkömagneettinen kenttä. (10, s. 60.)



KUVA 15. Salamasuojusvyöhykkeen LPZ alueita (10, s. 60)

Kuvassa 16 käsitellään pallomenetelmän käyttöä.

- Tilanne A: Pallo osuu suojattavaan kohteeseen ja kohde on näin alttiina suoralle salamaniskulle.
- Tilanne B: Sieppaustanko suojaa salamalta vasemmalta, mutta ei oikealta. Pallo osuu suojattavaan kohteeseen.
- Tilanne C: Suojattava kohde on sieppaustankojen välissä ja kohde on tällöin suojassa pallon kosketukselta.
- Tilanne D: Pallon säde on suurempi kuin tilanteissa A, B ja C. Tilanteessa yksi sieppaustanko suojaa kohteen salamaniskulta vasemmalta ja oikealta.
- Tilanne E: LPL-tason mukaan valittu pallonsäde on tilanteista isoin. Kaksi sieppaustankoa suojaa kolmea kohdetta suoralta salamaniskulta.



KUVA 16. Pallomenetelmän käyttö suojausta suunniteltaessa eri tilanteissa

4.3 Suojaetäisyydet

Ulkoisen salamasuojauksen suunnittelussa on otettava huomioon kaikki rakennuksen katolla oleva muu tekniikka ja metallirakenteet, jotka ovat yhteydessä rakennuksen sisälle. Salamasuojauksen vastaanottorakenteiden, kattojohtimien ja alastulojohtimien tarvittava suojaetäisyys lasketaan kuvan 17 kaavalla, missä lasketaan erotusväli s. (7, s. 7.) Mahdollisen salaman läpilyönnin estä-

miseksi ulkoisen salamasuojauksen ja katon johtavat materiaalit on sijoitettava tarvittavin erotusvälein. Käytännössä 0,8–1,0 m etäisyys on tarpeeksi, mutta jos tämä suojaväli ei ole mahdollinen, täytyy laskea erotusväli s.

$$A > s = k_i \times \frac{k_c}{k_m} \times L$$

A = Tarvittava suojaväli
 s = Erotusväli
 k_i = Suojausluokka LPL
 k_c = Alastulojohtojen lukumäärä
 k_m = Väliaineen johtavuus
 L = Pystyettäisyys lähimpään potentiaalintasaus pisteeseen

KUVA 17. Erotusvälin s laskentakaava (2, s. 92)

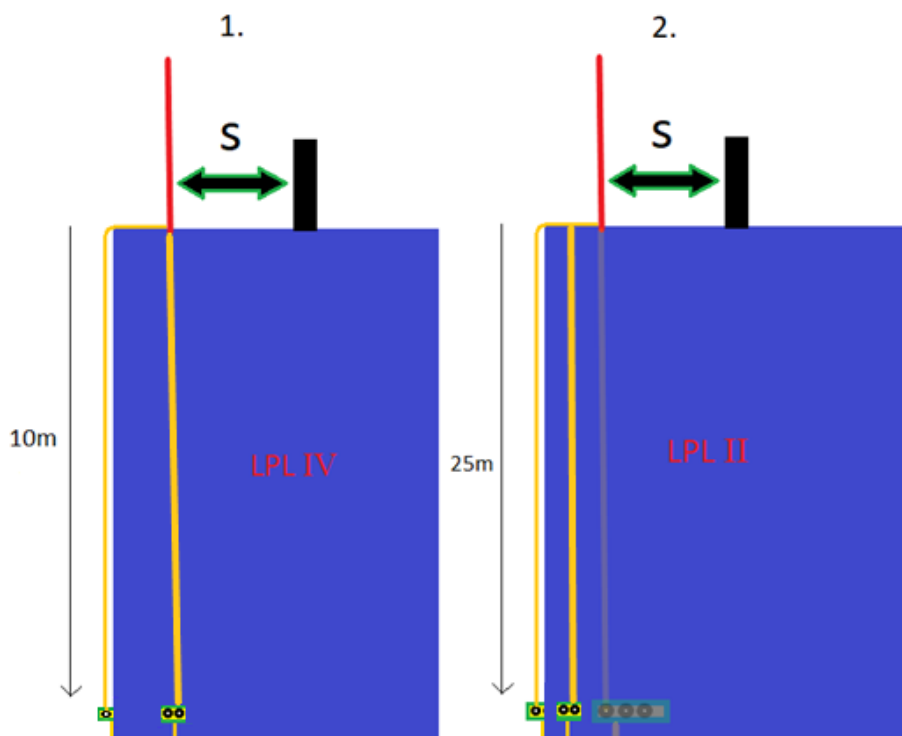
Kuvan 17 arvoa (k_c) voidaan käyttää erotusetäisyyden laskemisessa, kun alastulojohtimen etäisyys lähimpään potentiaalintasauspisteeseen on 5–20 metriä. Kun poiketaan edellä mainitusta tilanteesta, liitteet 1–5 antavat kattavan ohjeistuksen eri salamasuojausjärjestelmien k_c-arvon laskemiseen. Liitteiden lähde on standardin SFS-EN 62305-3 liite C. Esimerkiksi korkeissa rakennuksissa, kun alastulojohtimet liitetään toisiinsa rengasmaisesti, salamavirta jakautuu alastulojohtimien alapäässä tasaisemmin ja k_c-arvo pienenee. (2, s. 91.) Taulukossa 3 on esitetty kuvan 1 kaavan arvoja.

TAULUKKO 3. Erotusvälin laskennan arvoja (2, s. 92)

LPL	I	II	III & IV
k _i	0,08	0,06	0,04
Alastulojohdin l_{km}	1	2	≥3
k _c , A Maadoituselektrodi	1	0,66	0,44
k _c , B Rengasmaadoituselektrodi	1	0,5-1,0	0,25 - 0,5
Väliaineen johtavuus	ilma	betoni, tiilet	
k _m	1	0,5	

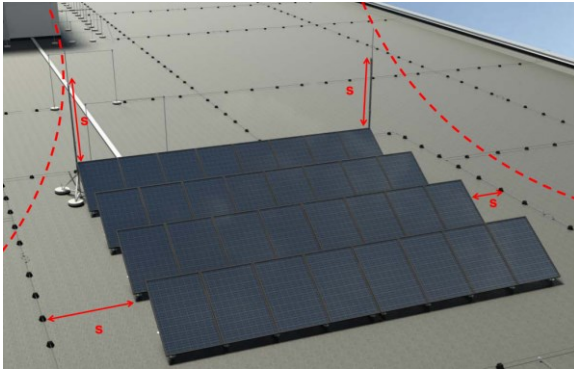
Lasketaan kuvan 18 sieppaustankojen suojaetäisyys suojattavaan kohteeseen kuvan 17 kaavalla kahdella ja kolmella alastulojohtimella. Laskutoimitukset on esitetty liitteessä 6.

- Tilanne 1
 - o Suojausluokka LPL (IV) $k_i = 0,04$
 - o A-tyyppin elektrodi; alastulojohtimien lukumäärä (2) $k_c = 0,66$
 - o Väliaineen (ilma) johtavuus $k_m = 1$
 - o Etäisyys potentiaalintasaukseen $L = 10$ m
 - o Erotusväli $s = 0,26$ m. Tarvittava suojaväli $A = 0,27$ m
- Tilanne 2
 - o Suojausluokka LPL (II) $k_i = 0,06$
 - o B-tyyppin elektrodi
 - o K_c -arvo lasketaan erikseen liitteen 2 kaavalla $k_c = 0,45$
 - o Väliaineen (ilma) johtavuus $k_m = 1$
 - o Etäisyys potentiaalintasaukseen $L = 25$ m
 - o Erotusväli $s = 0,68$ m. Tarvittava suojaväli $A = 0,69$ m



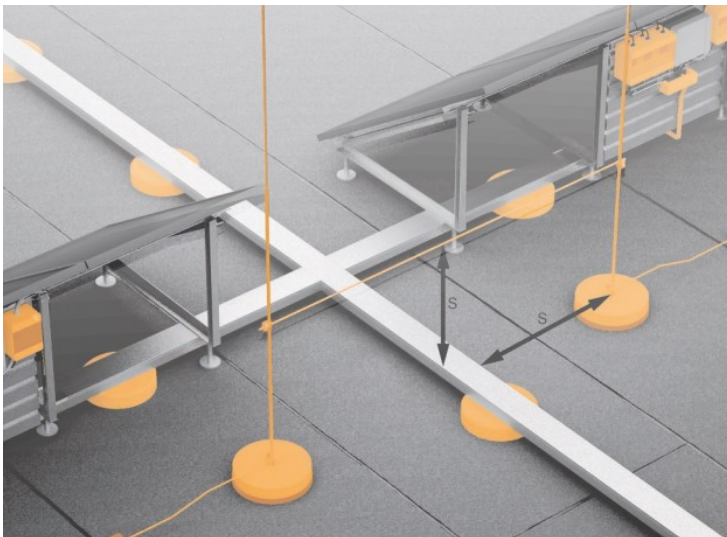
KUVA 18. Esimerkkitilanteet A-tyyppin maadoituselektrodilla ja B-tyyppin rengasmaadoituselektrodilla

Aurinkoenergiajärjestelmät sijaitsevat usein rakennuksen katolla ja yli 10 kW:n tehonsyöttöjärjestelmät on suojattava ulkoisella salamasuojauksella ja sisäisellä ylijännitesuojauksella. (16, s. 30.) Salamasuojauksen vastaanottorakenteen sijoitus erotusväliä s lähemmäksi voi aiheuttaa aurinkosähköjärjestelmän hajoamisen ja salamavirran joutumisen rakennuksen sisälle, vaikka salama osuisi vastaanottorakenteeseen (kuva 19).



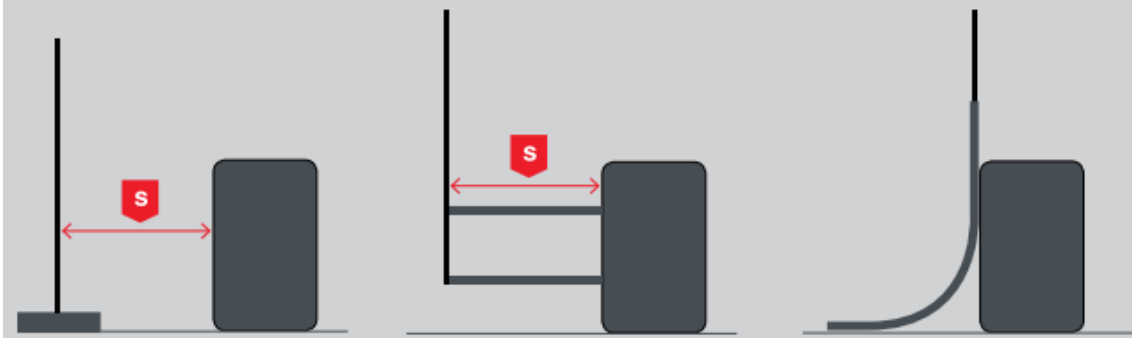
KUVA 19. Erotusväli s aurinkopaneeleista (7, s. 15)

Salamasiiepparien sijoittelussa joudutaan tekemään erilaisia ratkaisuja, että erotusvälit saadaan toteutumaan. Kuvassa 20 kattojohdin ylittää kaapelihyllyn suojaetäisyyden säilyessä. (10, s. 74.)



KUVA 20. Kattojohtimien ja sieppaustankojen sijoittelu erotusvälillä (10, s. 74)

Jos erotusetäisyyttä ei ole mahdollista toteuttaa, voidaan käyttää eristettyjä sieppaussauvoja ja salamasuojusjohtimia. Kuvassa 21 erotusväli s saadaan toteutumaan suojatusta kohteesta tarvittavalla suojavälillä tai käyttämällä eristettyä salamasiepparia ja johdinta. (10, s. 72.)



KUVA 21. Erotusetäisyys s poistuu eristetyllä salamasiepparilla ja johtimella (10, s. 72)

4.4 Alastulojohtimet

Alastulojohtimien tarkoitus on johtaa salamavirta vastaanottorakenteista maadoitukseen. Alastulojohtimien sijoitus rakennukseen on tehtävä useilla rinnakkaisilla johdoilla ja suorinta reittiä, jotta salamavirta jakaantuu tasaisesti maahan. Alastulojohtimia tarvitaan vähintään kaksi. Alastulojohtimien sijoituspaikaksi suositellaan rakennuksen kulmia. (2, s. 60–61.) Alastulojohtimet kytketään maadoituselektrodiin työkalulla avattavalla mittausliittimellä. Avattava liitos mahdollistaa salamasuojusjärjestelmän kunnan tarkistamisen mittaamalla. Tarkastukset tehdään 1–4 vuoden välein riippuen kohteen suojausluokasta. Tarkastus tehdään aina, kun järjestelmään tehdään muutoksia ja aina salamaniskun jälkeen. (2, s. 66.)

4.4.1 Eristämätön alastulojohdin

Eristämättömissä alastulojohdoissa on otettava huomioon rakennuksen ulko- ja sisäpuoliset johtavat materiaalit. Alastulojohtimien on oltava näistä tarvittavalla suojaetäisyydellä sivuttaisläpilyöntien estämiseksi. Alastulojohtimet on asennettava mahdollisimman suoraa reittiä maahan ja vältettävä tekemästä mutkia, jotta johdon impedanssi pysyy pienenä. Alastulojohtimien tyypillinen etäisyys

toisistaan on 10–20 m riippuen LPL-luokasta (taulukko 4). Eristämättömiin alastulojohtimiin tehdään seinällä vaakatasossa liitokset toisiinsa, jos taulukon 4 etäisyyksiä ei ole mahdollista toteuttaa. Vaakaliitokset tehdään LPL-luokan määrittämällä etäisyydellä. (2, s. 60.)

Alastulojohtimen asennus voidaan tehdä pintaan, jos seinä ei ole palavaa materiaalia. Muuten johtimen pitää olla seinästä vähintään 10 cm etäisyydellä. Maarajan läheisyydessä eristämättömät alastulojohtimet suositellaan asentamaan putkeen. (2, s. 60–61.)

Jos alastulojohtimena ei käytetä ulkoista johdotusta, voidaan käyttää rakennuksen luontaisia rakenteita alastulojohtimina. Tällaisia ovat sähköisesti jatkuvat metallirakenteet, jotka ovat samaa paksuusluokkaa kuin ulkoiset johtimet. Rakennuksen metallikehikko ja teräsrakenteet soveltuvat mahdollisuuksien mukaan myös alastulojohtimiksi. Julkisivuelementit ja muut johtavat osat soveltuvat myös, jos vähimmäismitat täyttyvät. Kaikkien liitoksien yhtenäisyys täytyy kuitenkin olla varmistettu esimerkiksi hitsaamalla. (2, s. 61.)

TAULUKKO 4. Alastulojohtimien tyypilliset etäisyydet (15, s. 22)

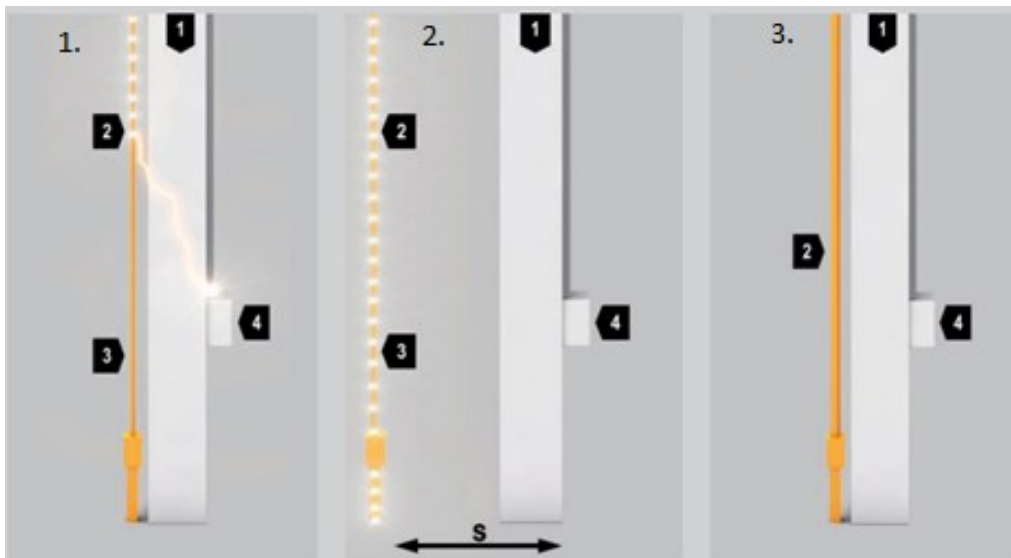
Class of LPS	Typical distances m
I	10
II	10
III	15
IV	20

4.4.2 Eristetty alastulojohdin

Alastulojohtimina voidaan käyttää eristettyä salamasuojauskaapelia, joka on pintapurkauksista vapaa suurjännitekaapeli. Eristetty johdin mahdollistaa henkilösuojauksen rakennuksen alaosissa, missä ihmisiä liikkuu alastulojohtimien läheisyydessä (kuva 22). Eristettyä johdinta voidaan käyttää tietyin rajoituksin myös rakennuksen sisätiloissa ilman vaaraa salamaniskulle. Kaapelin läheisyyteen ei saa kuitenkaan sijoittaa muita kaapeleita tai laitteita, jotka ovat alttiita sähkömagneettisille vaikutuksille. (7, s. 10.)

Eristetty alastulojohdin auttaa paikoissa, joissa erotusetäisyyden noudattaminen ei ole mahdollista, ja helpottaa arkkitehdillisiä ratkaisuja. Haastavissa rakennuksissa, kuten räjähteitä sisältävissä rakennuksissa, on usein turvallista toteuttaa salamasuojaus kaapeloinnit eristetyllä johtimella. (10, s. 115.) Kuvassa 22 on eri toteutuksia alastulojohtimelle.

- Tilanne 1: Alastulojohtimena on eristämätön kaapeli (3). Tarvittava erotusetäisyys ei täyty. Salaman läpilyöntiriski (2) on mahdollinen rakennuksen sisällä olevaan sähkölaitteeseen (4). Välissä on seinä (1).
- Tilanne 2: Alastulojohtimena on eristämätön kaapeli (3). Tarvittava erotusetäisyys on otettu rakennuksen sisällä olevaan sähkölaitteeseen (4). Salaman läpilyöntiriskiä ei ole (2). Välissä on seinä (1).
- Tilanne 3: Alastulojohtimena on eristetty suurjännitekaapeli (2). Erotusetäisyyttä rakennuksen sisällä olevaan sähkölaitteeseen (4) ei tarvitse ottaa huomioon. Salaman läpilyöntiriskiä ei ole. Välissä on seinä (1).



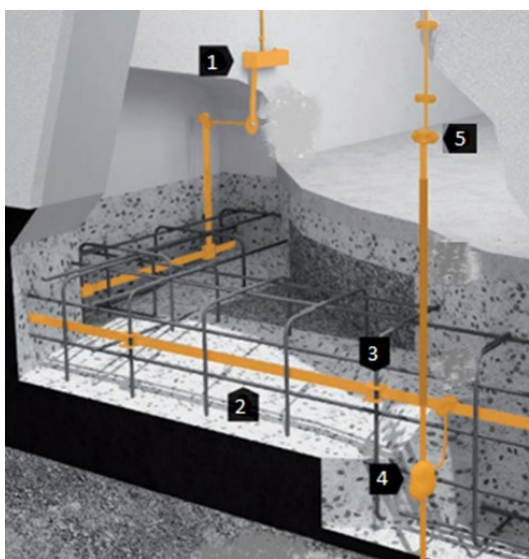
KUVA 22. Alastulojohtimen erotusetäisyys rakennuksen sisällä olevaan sähkölaitteeseen. (10, s. 120)

4.5 Maadoituselektrodit

Maadoituksen tehtävä salamasuojauksessa on johtaa salamavirta hallitusti maahan ja pitää salamiskun aiheuttamaa potentiaalinnousua rakennuksessa mahdollisimman pienenä (9, s.14).

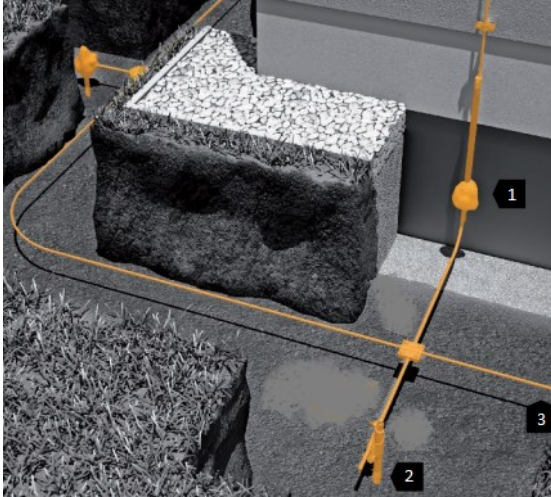
Maadoitus suositellaan tehtäväksi rakennuksen perustuksiin ja tällöin puhutaan perustusmaadoituselektrodista (7, s. 2).

Perustusmaadoituselektrodi asennetaan teräsbetoniperustukseen. Maadoituselektrodi asennetaan perustuksiin enimmillään 20 metrin silmäkoolla luotettavilla liitoksilla ja kytketään rakennuksen päämaadoituskiskoon (MEB) (kuva 23). Perustusmaadoituselektrodina käytetään teräslatta-, teräspyörö- tai kuparipyöröjohdinta. Johdin kytketään perustuksen raudoituksiin 3 metrin välein. (7, s. 18.)



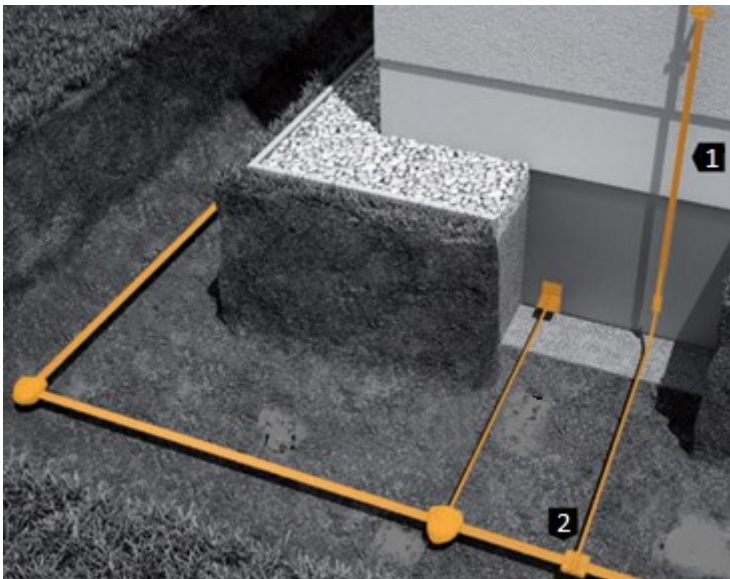
KUVA 23. B-tyyppin elektrodin osat: 1. MEB, 2. maadoituselektrodi, 3. kiinnitys betoniraudoitukseen, 4. maadoituselektrodiin liitetty alastulojohdin, 5. vaihtoliitin (10, s. 156.)

Maadoituselektrodityyppejä on kaksi ja niillä on erilainen rakenne. Tyypin A elektrodissa jokainen alastulojohdin tarvitsee oman elektrodinsa, joka on asennettu vaaka- ja/tai pystysuuntaisesti. (2, s. 63.) Rengaselektrodi, jonka pituudesta alle 80 % on maan alla, lasketaan A-tyyppin elektrodiksi (3, s. 75). Kuvassa 24 A-tyyppin alastulojohtimen kohdalle on rakennettu oma elektrodi, joka on kytketty maadoitustankoon. Lisäksi elektrodit on yhdistetty rengasjohtimella. (10, s. 151–152.)



KUVA 24. A-tyyppin elektrodi: 1. korroosiosuojattu liitos alastulojohtimelle, 2. maadoitustanko, 3. rengasjohdin (10, s. 151.)

B-tyyppin maadoituselektrodi on rengaselektrodi, jonka pituudesta vähintään 80 % on maan alla. Perustusmaadoituselektrodi on myös B-tyyppin maadoituselektrodi. (2, s. 63.)



KUVA 25. B-tyyppin maadoituselektrodi. 1 vaihtoliittimeltä tuleva johdin 2 liitos rengaselektrodiin (10, s. 155.)

Jos perustusmaadoituselektrodiä ei ole, on salamasuojauksen maadoituselektrodi rakennettava aina vähintään 0,5 cm syvyyteen. Jos käytetään rengaselektrodiä, on se asennettava rakennuksen seinästä vähintään 1 m etäisyydelle. (2, s. 65.)

4.6 Ylijännitesuojaus

Rakennuksen sisäinen salamasuojausjärjestelmä rakentuu tarvittavilla eristysratkaisuilla läpilyöntien ja kipinöinnin välttämiseksi. Lisäksi suojaukseen kuuluu rakennuksen sisäinen potentiaalinta-saus ja ylijännitesuojaukset. (2, s. 69.)

Suomessa ilmajohtoliitynnöillä varustettujen rakennusten sähkökeskuksiin on vaadittu ylijännitesuojaus vuodesta 2012 lähtien. Ylijännitesuojaus vaaditaan myös taajama- ja maaseutu ympäristössä oleviin rakennuksiin, jos on vaarana, että ylijännitteet aiheuttavat rakennukseen haittoja. Riskiarvioinnilla ylijännitesuojauksen tarpeen voi todentaa. Riskiarviointi lasketaan liitteen 7 kaavalla. (2, s. 74.)

Ylijännitesuojaus on tarpeellinen, jos ylijännitteet ovat vaarallisia:

- ihmishengelle, turvalaitteille, terveydenhuoltolaitosten toiminnalle
- kaupallisille rakennuksille, kuten hotellit, pankit, liike- ja teollisuusrakennukset, maatilat
- julkisille ja kulttuurirakennuksille
- suuria ihmismääriä sisältäville isoille rakennuksille

Asuin- ja vapaa-ajan rakennuksissa ylijännitesuojausta ei tarvita, jos ne eivät ole ilmajohtoliityntäisiä. Standardissa SFS 6000-4-44 todetaan, että ylijännitesuojausta ei tarvita kaupunkiympäristössä, jos rakennuksien liittynät on tehty maakaapeleilla. (2, s. 74–75.)

Jos rakennuksessa on ulkoinen salamasuojaus, tarvitaan aina myös sisäinen ylijännitesuojaus. Koordinoidussa suojausjärjestelmässä ylijännitesuojia sijoitellaan peräkkäin. Ylijännitesuojilla suojataan rakennusta salamaniskun aiheuttamilta ylijännitteiltä sekä sähkön syöttöjärjestelmissä mahdollisesti esiintyviltä ylijännitteiltä. (7, s. 24.)

Suojaus toteutetaan koordinoidulla kolmiportaisella suojauksella. Ensimmäisen portaan (T1) ylijännitesuojaus on pää- ja mittauskeskuksessa. Toisen portaan (T2) ylijännitesuojaus on mahdollisella rakennuksen jako- tai ryhmäkeskuksella, jos syöttökaapeli on pääkeskukselta yli 10 metriä. Kolmannen portaan (T3) ylijännitesuojaus on käyttökohteeseen menevän syöttöjohtimen kytkentäkoteloissa, jos laitteen syöttöjohdin on yli 10 metriä ja laite on alttiina indusoituville salamaylijännitteille.

(7, s. 24.) Standardit SFS 6000-44-3 ja SFS-EN 61643 antavat kattavan ohjeen oikeiden ylijännitesuojien valintaan.

5 SAIRAALARAKENNUKSEN SALAMASUOJAUS

Perustuen kaikkiin edeltäviin aihealueisiin, jotka koskevat salamasuojauksen riskiarviointia, suunnittelua ja toteutusta, on OYS:n uuteen sairaalarakennukseen todettu tarpeelliseksi toteuttaa salamasuojajärjestelmä. OYS 2030 A-rakennukseen salamasuojajärjestelmän hankinnoissa ja asennuksissa on noudatettu soveltuvilta osin SFS-käsikirjaa 609. Lisäksi standardien SFS EN-62561- ja 62305 vaatimukset täyttyvät myös asennustarvikkeiden ja asennusmenetelmien osalta. Salamasuojauksen kaikkien komponenttien ja rakenteellisten osien valmistaja on OBO Bettermann. (17.)

5.1 Maadoituselektrodi

Rakennuksen ulkoseinustalle on rakennettu B-typin maadoituselektrodi, jonka päät liitetään muuntamon päämaadoituskiskoon. Salamasuojauksen alastulojohtimet liitetään edellä mainittuun maadoituselektrodiin. Myös perustusmaadoitus on toteutettu. Rakennuksen maadoitusjärjestelmä on liitetty osaksi koko sairaala-alueen kattavaa maadoitusjärjestelmää. (17.)

5.2 Sisäinen salamasuojaus

Pääsähkönjakelu ja turvasyöttöjakelu on varustettu ylijännitesuojauksella. Ylijännitesuojaus on kaksiportainen. Pääkeskuksissa ja ryhmäkeskuksissa on yhdistelmäsuojat luokka 1, tasot B+C). Pääkeskustason suojat toimivat sekä salamasuojina että ylijännitesuojina ja ne säilyvät toimintakuntoisena 10/350 μ s / 100 kA:n salamavirtoihin saakka. Kolmivaiheisissa TN-S-järjestelmissä sähkökeskustason ylijännitesuojat ovat nelinapaisia. Suojaus on varustettu vikaantumisesta indikoivilla potentiaalivapailta hälytyskoskettimilla. Ylijännitesuojien etusulakkeiden toimintakuntoa valvotaan, ja hälytystiedot ovat yhteydessä kiinteistönvalvontajärjestelmään. (17.)

5.3 Ulkoinen salamasuojaus

Rakennus on suojattu ilmastollisia ylijännitteitä vastaan ulkoisella salamasuojauksella salamasuojaustason LPL III mukaisesti. Salamasuojaus on rakenteeltaan passiivinen salamasuojausjärjestelmä. Ulkoisen salamasuojauksen pääkomponentit ovat:

- salamasieppaustangot
- kattojohtimet
- alastulojohtimet
- maadoitusjärjestelmät

Rakennuksen vesikatolle (11. krs) on rakennettu kattojohtimista toteutettu keruuverkko, jonka silmäkoko on vaaditun LPL III suojaustason mukainen. Pyöröjohtimen kannakkeet ja laajentumisosat on asennettu toimittajan ohjeiden mukaisin välein. Vesikaton pinnasta erottuvat asennukset (rakennelmat, lauhduttimet, ulospuhallushajottimet ym.) on suojattu asennuksien läheisyyteen asennettavilla ja keruuverkkoon liitettävillä salamasieppaustangoilla. (17.)

Katon keruuverkko yhdistetään maadoituselektrodiin rakennuksen julkisivuun asennettavilla alastulojohtimilla. Maahan tehtävät asennukset on korroosiosuojattu asianmukaisella tavalla. Alastulojohtimet varustetaan johtimen alapäässä avattavalla mittausliittimellä. Korotettuun räystäääseen johtimet on kiinnitetty korotuskiinnikkeillä. Salamasuojausjärjestelmien osien ja muiden johtavien rakenteiden tai sähköasennusten välillä on säilytetty riittävä suojaetäisyys. (17.)

Katto- tai alastulojohtimina tai sieppausjärjestelmän osana ei ole käytetty mitään rakennuksen johtavia metallirakenteita. Kaikki laitteet ja asennustarvikkeet on asennettu kaikkine osineen ja tarvikkeineen täyteen käyttökuntoon noudattaen valmistajan antamia asennusohjeita. (17.)

Valmis salamasuojausjärjestelmä mitataan ja tarkistetaan standardin SFS EN-62305-3 liitteen E.7 mukaisesti ennen kuin alastulojohtimet yhdistetään maadoituselektrodiin. Mittauksista laaditaan mittauspöytäkirjat, joissa todetaan salamasuojausjärjestelmän sähköinen yhtenäisyys resistanssimittauksella. Alastulojohtimien maadoituselektrodiin liittämisen jälkeen mitataan vielä maadoitusvastus. (17.)

5.4 Toteutus

Salamasuojauksen alastulojohtimina on käytetty eristettyä OBO isCon -suurjännitekaapelia (kuvat 26 ja 27).



KUVAT 26 ja 27 IsCon -alastulojohdin

Mahdollinen salamanisku synnyttää eristetyn isCon-kaapelin ulkovaipassa pienen pintapurkausvirran, joka johdetaan rakennuksen potentiaalintasausjärjestelmään pae-liitintä käyttäen (kuva 28).



KUVA 28. IsCon pae-liitin

Alastulojohtimet päätetään liitännäosalla ja yhdistetään mittausliittimellä maadoituselektrodiin (kuva 29).



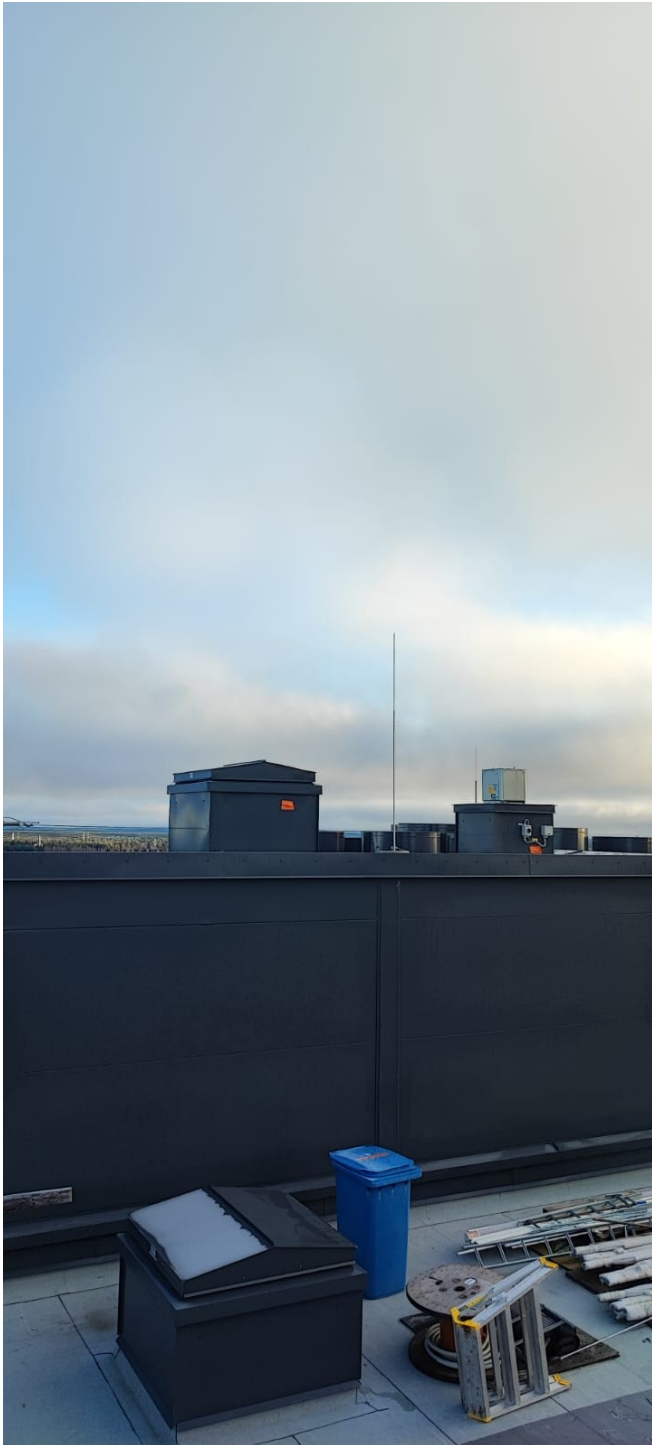
KUVA 29. Alastulojohtimen liitäntä- ja mittauspiste

Rakennuksen katolla sijaitseva tekniikka suojataan sieppaustangoilla. Sieppaustankojen sijoittelu on tehty pallomenetelmää käyttäen LPL III mukaan. Katon räystäälle on rakennettu koko katon

kiertävä keruuverkko, johon liitetään alastulojohtimet ja sieppaustangot. Kaikissa salamasuojus-
asennuksissa on huomioitava tarvittava erotusväli s. Tilanteissa, joissa erotusvälin toteuttaminen
ei ole mahdollista, käytetään eristettyjä vastaanottorakenteita.



KUVA 30. Katon nurkissa on eristämätön sieppaustanko



KUVA 31. Katolle nousevan porraskäytävän katolla sijaitseva eristämätön sieppaustanko

Kun käytetään eristettyä sieppaustankoa, on käytettävä myös eristettyä isCon-kaapelia. Eristetyissä sieppaustangoissa on sisäänrakennettu vaipan pintapurkaus pae-liitin, joka kytketään maadoitusjohtimella potentiaalintasaukseen. isCon-johtimen pae-liittimestä on vähintään 1,5 metrin

erotusväli salamasuojausjärjestelmän johtavista osista ja eristetyn tangon salamaniskun vastaanottavasta kärjestä.



KUVA 32. Eristetyn sieppaustangon isCon-kaapelin pintapurkausmaadoitus



KUVA 33. Ulospuhallushajottimien suojaus eristetyillä sieppaustangoilla



KUVA 34. Lauhduttimet on suojattu kolmella eristetyllä sieppaustangolla



KUVA 35. Eristetty sieppaustanko kiinnitettynä kaiteeseen



KUVA 36. Eristetyt sieppaustangot ketjutettuna toisiinsa isCon-johtimella

6 YHTEENVETO

Ukkospilven syntyamiseen ja salaman iskun voimatasoihin tutustuminen antoivat hyvän pohjan ja käsityksen siitä, mitä suuret ylijännitepurkaukset voivat ilman asiallista suojausta rakennuksessa aiheuttaa.

Rakennuksien salamasuojaukseen tutustuminen oli aiheena kiinnostava. Tutustuminen salaman käyttäytymiseen ja vaaratekijöihin riskiarvioinnissa auttoi ymmärtämään halutut salamasuojaustasot. Laaja perehtyminen salamasuojausjärjestelmän suunnittelun eri vaiheisiin ja erilaisiin toteutus-tapoihin auttoi salamasuojausjärjestelmän käytännön toteutuksessa.

Sairaalan salamasuojauksen tarkoitus on turvata sairaalaan normaalia toimintaa mahdollisilta ilmastollisilta ylijännitteiltä. Sairaalan teknisten laitteiden on pysyttävä toimintakunnossa. Riskiarvioinnissa salaman aiheuttamissa menetyksissä sairaalassa on kyse aina L1-taso eli hengen menetyks. Salamasuojaukseen perehtymisessä ja fyysisessä toteutuksessa suurimpana motivaation lähteenä oli mahdollisuus parantaa potilasturvallisuutta omalta osaltani.

Käytännössä täydellinen suojaus ei ole mahdollinen, tai se ei ole kustannustehokas. Standardien mukaan toteutettu sisäinen ja ulkoinen salamasuojausjärjestelmä vähentää kuitenkin huomattavasti salaman riskejä.

LÄHTEET

1. Tilles, Julia, Liu, Ningyu, Stanley, Mark, Krehbiel, Paul, Rison, William, Stock, Michael, Dwyer, Joseph, Brown, Robert & Wilson, Jennifer 2019. Fast negative breakdown in thunderstorms. Nature Communications 10 (1648), 1-2. Hakupäivä 18.04.2022 <https://www.nature.com/articles/s41467-019-09621-z>
2. Harry, Sjögren 2020. Rakennusten salama- ja ylijännitesuojaus. Suomi: Sähköinfo.
3. SFS-käsikirja 609 Rakennusten ja rakenteiden salamasuojaus. Helsinki: Suomen Standardiliitto ry.
4. Jensenius, John 2020. A Detailed Analysis of Lightning Deaths in the United States from 2006 through 2020. National Lightning Safety Council. Hakupäivä 23.5.2022 <http://www.lightningsafetycouncil.com/A%20Detailed%20Analysis%20Of%20Lightning%20Deaths%20in%20the%20United%20States%20From%202006%20through%202020.pdf>
5. Vaisala 2022. 2021 global lightning statistic. Hakupäivä 26.5.2022 <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/WEA-MET-2021-Global-Lightning-Statistics-B212467EN-A.pdf>
6. Ilmatieteenlaitos 2022. Perustietoa ukkosesta. Hakupäivä 28.5.2022 <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/perustietoa-ukkosesta>
7. OBO Bettermann Oy 2019. Rakennusten salama- ja ylijännitesuojaus. Hakupäivä 29.5.2022 https://www.obo.fi/fileadmin/DMS/Broschueren/02_TBS/Rakennusten_salama-_ja_ylijaennitesuojaus.pdf
8. SFS-EN 62305 Protection against lightning. Part 1: General principles, 2011. Helsinki: SFS ry.
9. ST 53.16.01 Rakennusten salamasuojaus, 2020. Sähkötieto ry. Sähköinfo. Hakupäivä 2.8.2022 <https://severi.sahkoinfo.fi/>
10. OBO Bettermann Oy 2020. Lightning protection guide. Hakupäivä 15.8.2022 https://www.obo.fi/out/media/Blitzschutz-Leitfaden_en.pdf

11. Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Tukes. Hakupäivä 11.9.2022 <https://tukes.edilex.fi/fi/lain-saadanto/20161135>
12. Valtioneuvoston asetus 1101/2015. Finlex. Hakupäivä 15.9.2022 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151101#Pidm45949344687920>
13. SFS 3350 Palavien nestemäisten kemikaalien varastopaikka ja siellä olevat kemikaalien käsittelypaikat, 2016. Helsinki: SFS ry.
14. Valtionneuvoston asetus 20.12.2012/856. Finlex. Hakupäivä 16.9.2022 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2012/20120856>
15. SFS-EN 62305 Protection against lightning. Part 3: Physical damage to structures and life hazard, 2011. Helsinki: SFS ry.
16. OBO Bettermann Oy 2010. Salama- ja ylijännitesuojat.
Hakupäivä 5.11.2022 https://www.obo.fi/fileadmin/DMS/Produktkataloge/02_TBS/Katalog-TBS_fi_2010.pdf
17. Suunnitelma. ”Luottamuksellinen”
18. SFS Standardien verkkokauppa. Helsinki: SFS ry. Hakupäivä 8.11.2022 <https://sales.sfs.fi/fi/index.html.stx>

LIITTEET

Liite 1 Kc-arvo riippulanka -salamasuojajärjestelmässä

Liite 2 Kc-arvo, kun käytössä useita alastulojohtimia

Liite 3 Kc-arvo kaltevilla katoilla ja useammalla alastulojohtimella

Liite 4 Erotusväli s, usealla alastulojohtimella ja rengasverkolla

Liite 5 Kc-arvo verkkomenetelmällä ja usealla alastulojohtimella

Liite 6 4.3 Suojaetäisyydet, esimerkkilaskuja

Liite 7 Ylijännitesuojauksen riskiarviointi

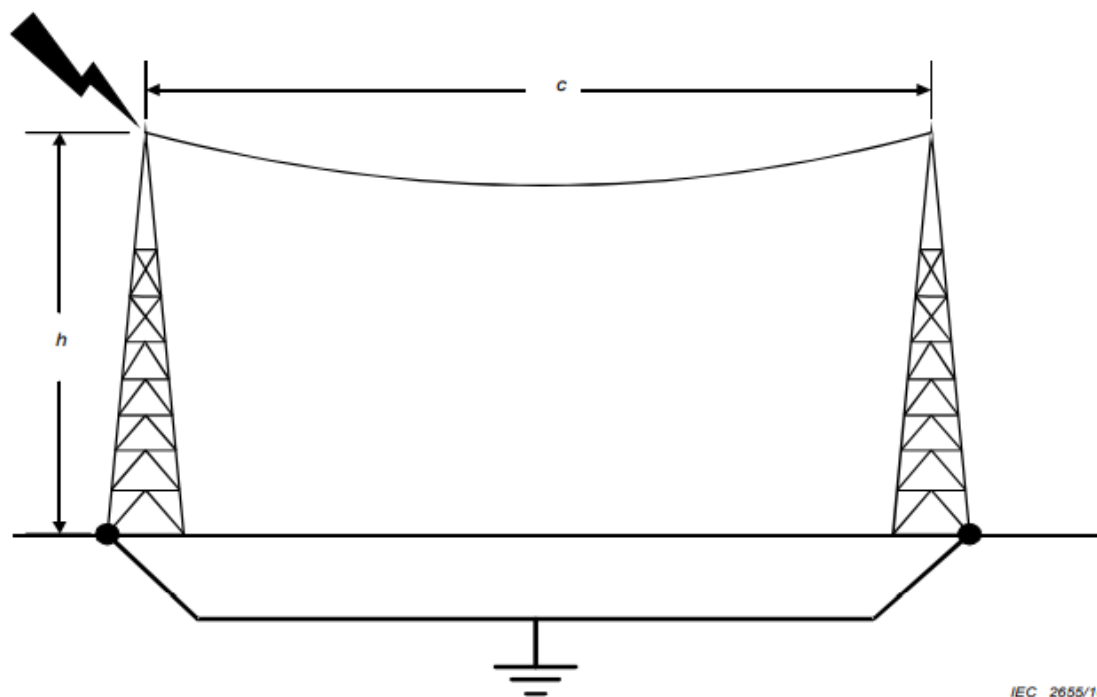
Evaluation of the separation distance s

The partitioning coefficient k_c of the lightning current amongst the air-terminations/down-conductors depends on the type of air-termination system, on the overall number, n , and on the position of the down-conductors and on the interconnecting ring conductors, and on the type of earth-termination system.

NOTE 1 The necessary separation distance depends on the voltage drop of the shortest path from the point where the separation distance is to be considered, to the nearest equipotential bonding point.

NOTE 2 The information in this annex applies for all type B earthing arrangements and for type A earthing arrangements, provided that the earth resistance of neighbouring earth electrodes do not differ by more than a factor of 2. If the earth resistances of single earth electrodes differ by more than a factor of 2, $k_c = 1$ is to be assumed.

When the air-terminations or down-conductors have the constant value of current flowing over the lengths of the conductors, Figures C.1, C.2 and C.3 apply (see 6.3.2. Simplified approach).

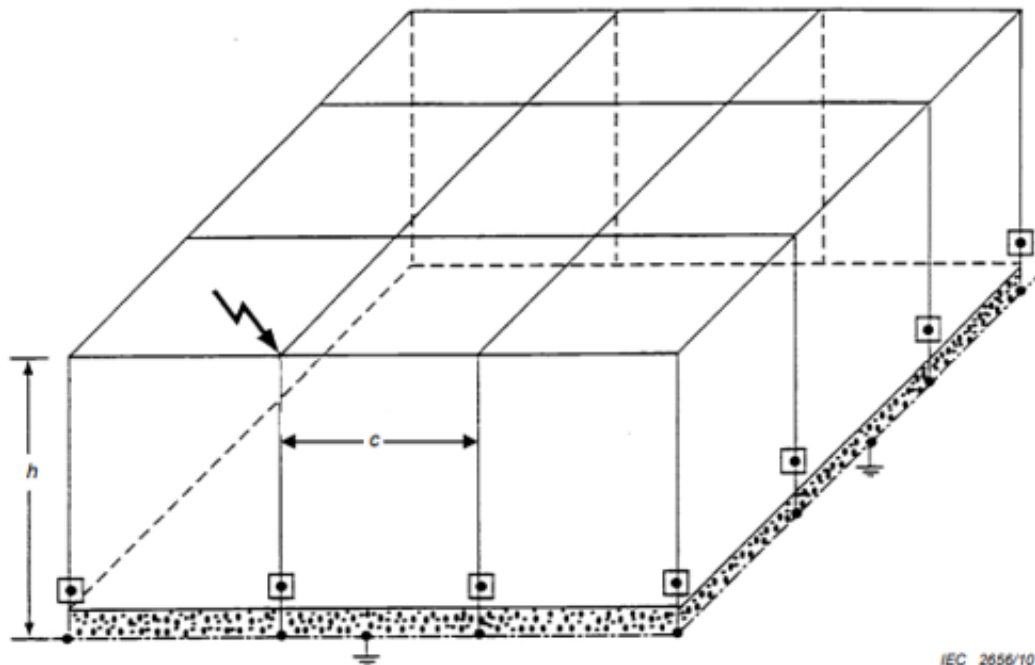


$$k_c = \frac{h + c}{2h + c}$$

Figure C.1 – Values of coefficient k_c in the case of a wire air-termination system

62305-3 © IEC:2010(E)

– 47 –



$$k_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \times \sqrt[3]{\frac{c}{h}}$$

Key

- n total number of down-conductors
- c distance of a down-conductor to the next down-conductor
- h spacing (or height) between ring conductors

NOTE 1 The equation for k_c is an approximation for cubic structures and for $n \geq 4$. The values of h and c are assumed to be in the range of 3 m to 20 m.

NOTE 2 If internal down-conductors exist, they should be taken into account in the number n .

Figure C.2 – Values of coefficient k_c in the case of multiple down-conductors system

	$\frac{c}{h}$	0,33	0,50	1,00	2,00	
	k_c	0,57	0,60	0,66	0,75	<p><i>c</i> Distance from the nearest down-conductor along the ridge</p> <p><i>h</i> Length of the down-conductor from the ridge to the next equipotential bonding point or to the earth-termination system</p> <p>The values of k_c shown in the table, refer to the down-conductors represented by a thick line and a strike point</p> <p>The location of the down conductor (to be considered for k_c) is to be compared with the figure representative for that down-conductor</p> <p>The actual relation c/h is to be determined. If this relation ranges between two values in the columns, k_c may be found by interpolation</p> <p>NOTE 1 Additional down-conductors with more distance than illustrated in the figures are of insignificant influence.</p> <p>NOTE 2 In case of inter-connecting ring-conductors below the ridge see Figure C.4.</p> <p>NOTE 3 The values are determined by simple calculation of parallel impedances following the formula of Figure C.1.</p>
	k_c	0,47	0,52	0,62	0,73	
	k_c	0,44	0,50	0,62	0,73	
	k_c	0,40	0,43	0,50	0,60	
	k_c	0,35	0,39	0,47	0,59	
	k_c	0,31	0,35	0,45	0,58	

Figure C.3 (continued overleaf)

IEC 2168/05

Figure C.3 (continued overleaf)

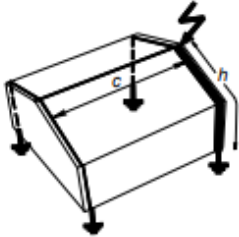
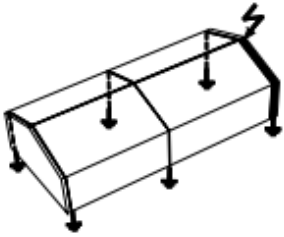
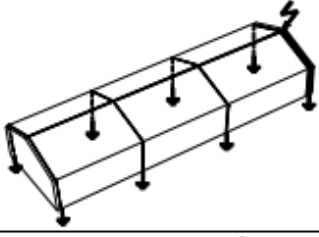
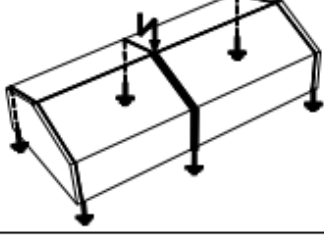
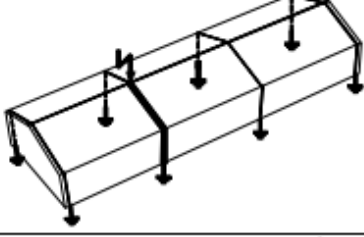
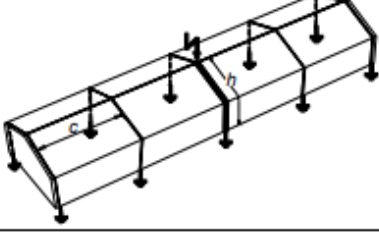
	k_c	0,31	0,33	0,37	0,41
	k_c	0,28	0,33	0,37	0,41
	k_c	0,27	0,33	0,37	0,41
	k_c	0,23	0,25	0,30	0,35
	k_c	0,21	0,24	0,29	0,35
	k_c	0,20	0,23	0,29	0,35

Figure C.3 – Values of coefficient k_c in the case of a sloped roof with air-termination on the ridge

$$d_a \geq s_a = \frac{k_y}{k_m} \times k_{c1} \times l_a$$

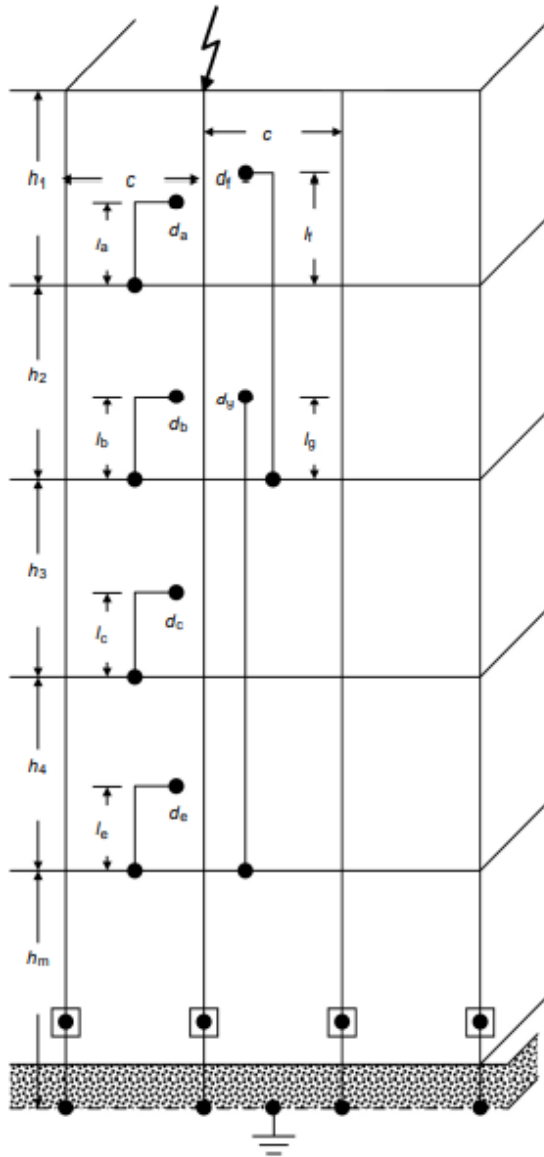
$$d_b \geq s_b = \frac{k_y}{k_m} \times k_{c2} \times l_b$$

$$d_c \geq s_c = \frac{k_y}{k_m} \times k_{c3} \times l_c$$

$$d_e \geq s_e = \frac{k_y}{k_m} \times k_{c4} \times l_e$$

$$d_f \geq s_f = \frac{k_y}{k_m} \times (k_{c1} \times l_f + k_{c2} \times h_2)$$

$$d_g \geq s_g = \frac{k_y}{k_m} \times (k_{c2} \times l_g + k_{c3} \times h_3 + k_{c4} \times h_4)$$



$$k_{c1} = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \times \sqrt[3]{\frac{c}{h_1}}$$

$$k_{c2} = \frac{1}{n} + 0,1$$

$$k_{c3} = \frac{1}{n} + 0,01$$

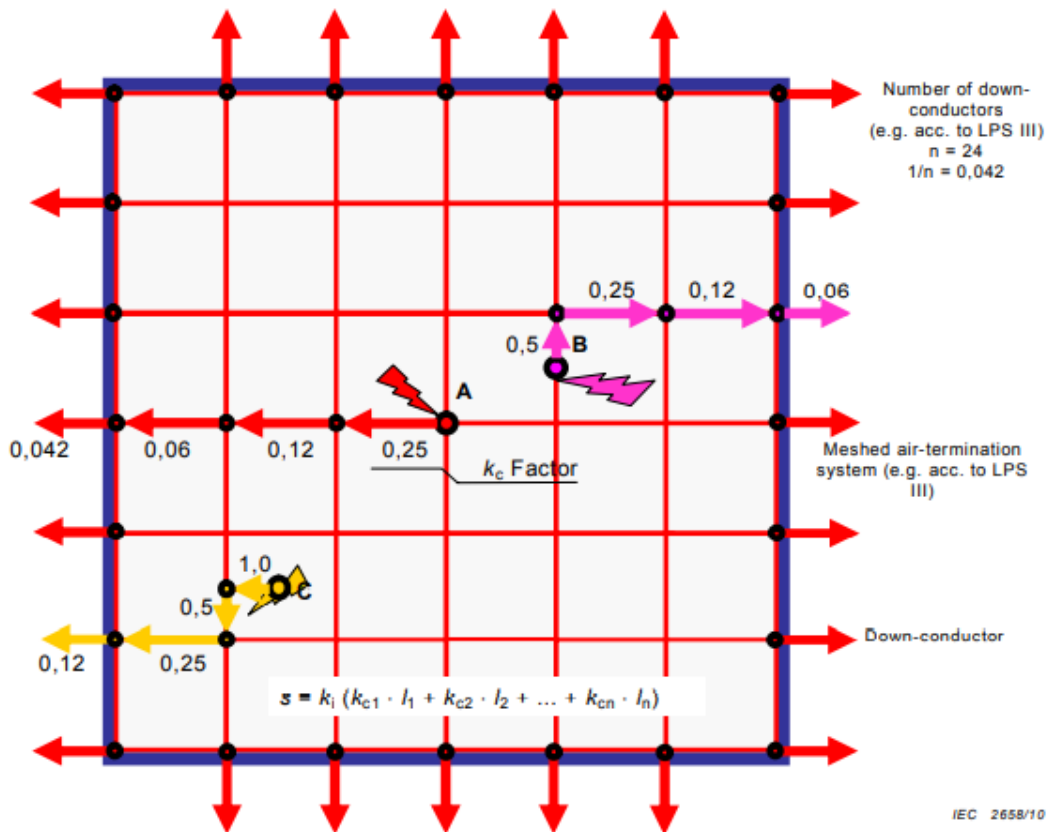
$$k_{c4} = \frac{1}{n}$$

$$k_{cm} = k_{c4} = \frac{1}{n}$$

Key

- n* total number of down-conductors
- c* spacing between down-conductors
- h* spacing (height) between ring conductors
- m* total number of levels
- d* distance to the nearest down-conductor
- l* height above the bonding point

Figure C.4 – Examples of calculation of the separation distance in the case of multiple down-conductors with an interconnecting ring of the down-conductors at each level



Key

A, B, C injection points

NOTE 1 Rules for current partitioning:

a) Injection point

Current is divided by the number of possible current paths at the injection point into the meshed air-termination system.

b) Further junctions (joints)

Current is reduced by 50 % at any further joint of the air-termination mesh.

c) Down-conductor

Current is again reduced by 50 %, but the value of k_c must not be less than $1/n$.

(n ... total number of down-conductors)

NOTE 2 Values of k_c have to be considered from the point of strike to the edge of the roof. The path along the roof edge to the down-conductor does not need to be considered. The values of k_c along the down-conductors depend on the value of k_c of the connected air-termination at the edge of the roof.

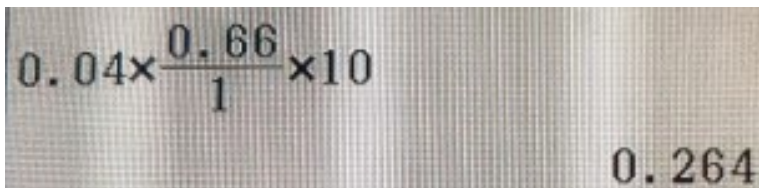
NOTE 3 As shown above, if there are fewer meshes from the point of strike to the edge of the roof, only the relevant values of k_c , beginning from the point where the proximity distance is to be considered, have to be used.

NOTE 4 If internal down-conductors exist, they should be taken into account in evaluating the number n .

Figure C.5 – Values of coefficient k_c in the case of a meshed air-termination system, with a multiple down-conductors system

Tilanne 1 erotusetäisyys s.

- Suojausluokka LPL IV ki (0,04).
- A tyypin elektrodi. Alastulojohtimien lukumäärä 2. Kc (0,66).
- Väliaineen johtavuus km ilma (1).
- Etäisyys lähimpään potentiaalintasaukseen L (10 metriä).
- Erotusetäisyys s on 0,26 m. Niinpä suojaetäisyys A on 0,27 m.


$$0.04 \times \frac{0.66}{1} \times 10 = 0.264$$

Tilanne 2 liitteen 2 kc-arvon laskukaava rengasliitetyille alastulojohtimille. (15, s. 47.)

$$k_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \times \sqrt[3]{\frac{c}{h}}$$

Tilanne 2 kc-arvo

$$\frac{1}{2 \times 3} + 0.1 + 0.2 \times \left(\sqrt[3]{\frac{20}{25}} \right)$$

0.45233022

- Suojausluokka LPL II $k_i = 0,06$.
- B tyyppin elektrodi ja alastulojohtimien etäisyys toisistaan on 20 m
- Kc-arvo lasketaan erikseen liitteen 2 kaavalla. Alastulojohtimien sivuttais- etäisyys toisiinsa on 20 metriä ja niitä on kolme. $K_c = 0,45$
- Väliaineen johtavuus ilma (1).
- Etäisyys lähimpään potentiaalintasaukseen $L = 25$ metriä.
- Erotusetäisyys s on tilanteessa 0,68 m. Niinpä suojaetäisyys $A = 0,69$ m.

Tilanne 2 erotusetäisyys s .

$$0.06 \times \frac{0.45233022}{1} \times 25$$

0.67849533

Ylijännitesuojauksen tarpeen määrittäminen.

$$CRL = f_{env} / (L_p \times N_g)$$

Jos laskelman arvo CRL on 1000 tai suurempi ylijännitesuojausta ei tarvita. Jos arvo on pienempi kuin 1000 ylijännitesuojaus tarvitaan ja toteutetaan liittämätyyppin 2 laitteilla.

CRL = Riskitaso.

f_{env} = (muut kuin asuinrakennukset) kaupunkiympäristö 850. Maaseutu- ja taajamaympäristö 85.

f_{env} = (asuinrakennukset) kaupunkiympäristö 2550. Maaseutu- ja taajamaympäristö 255.

L_p = edeltävän verkon rakenne. Tarkastellaan 1 km liittymäkohdasta taaksepäin tai mahdollisen verkon ylijännitesuojan kohdasta. L_p :n arvo nousee eniten pienjänniteilmajohtorakenne ja vähiten suurjännitemaakaapelirakenne.

N_g = salamatiheyden suure (isku km²/vuosi) Suomen keskiarvo 0,38.