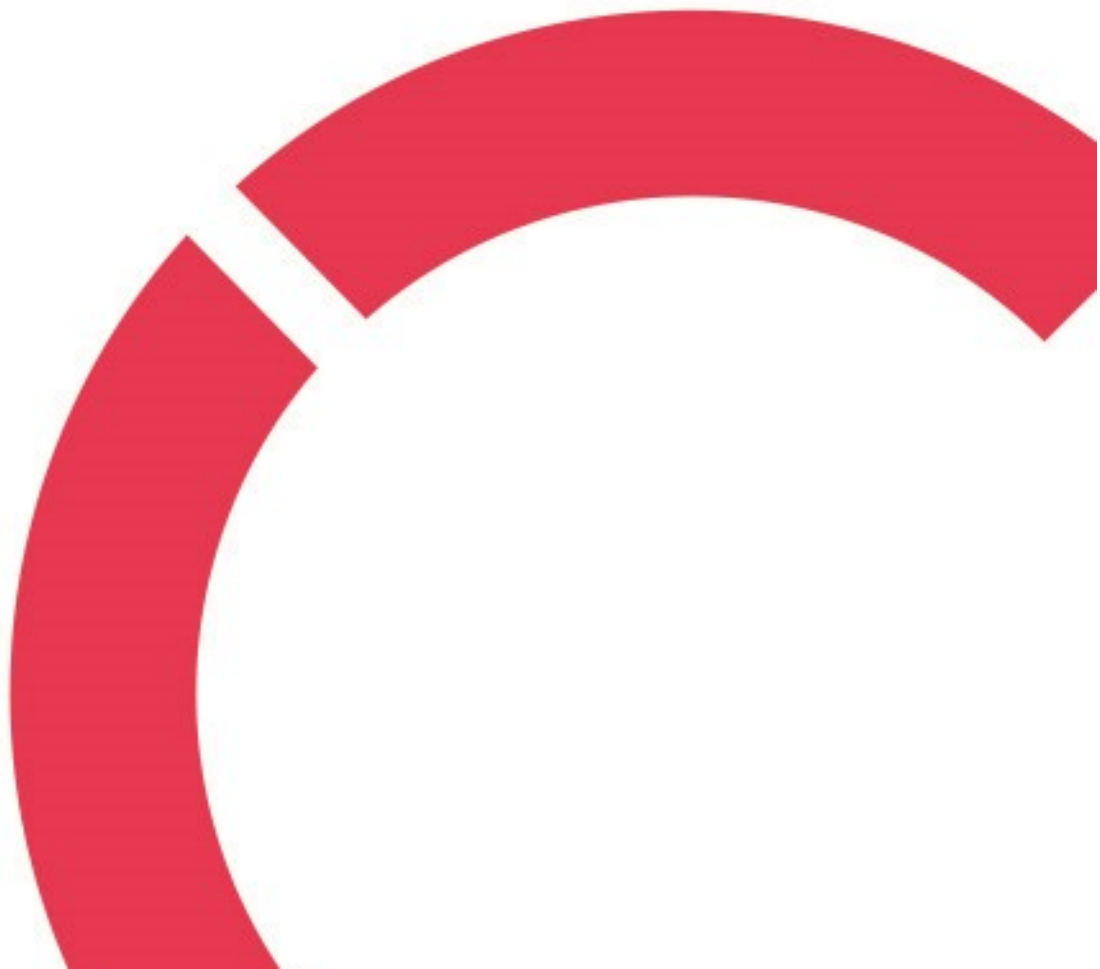


**Samuli Tanska**

# **SÄHKÖASEMAN GIS-RAKENNUKSEN SÄHKÖTURVALLISUUS**

**GIS-rakennuksen ja sähköasema-alueen pienjännitejärjestelmien ja maadoituk-  
sien suunnittelu**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus  
Joulukuu 2023**



<b>Centria-ammattikorkeakoulu</b>	<b>Aika</b> Joulukuu 2023	<b>Tekijä/tekijät</b> Samuli Tanska
<b>Koulutus</b> Sähkö- ja automaatiotekniikka		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
<b>Työn nimi</b> SÄHKÖASEMAN GIS-RAKENNUKSEN SÄHKÖTURVALLISUUS		
<b>Työn ohjaaja</b> Kari Saaranen		<b>Sivumäärä</b> 49 + 2
<b>Työelämäohjaaja</b> Kari Tanska		
<p>Tämä insinöörityö toteutettiin yhteistyössä Insinööritoimisto KTS Oy:n ja Fingrid Oyj:n kanssa. KTS Oy sai toteutettavaksi kiinteistösähkö- ja maadoitussuunnitelmat GIS-rakennukseen ja sähköasema-alueelle. Fingrid oli suunnitteluhankkeen tilaaja.</p> <p>GIS-rakennus ja sähköasema-alue sisältävät suurjännitetekniikkaa. Suurjännitejärjestelmät on otettava huomioon pienjännitesähkö- ja maadoitusjärjestelmiä suunniteltaessa. Suunnitteluprojektin yhdeksi haasteeksi koettiin sähköturvallisuuden huomioiminen. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mitä sähköturvallisuuteen vaikuttavia asioita suunnittelussa on huomioitava. Opinnäytetyön sisältöön kuului kiinteistösähkö- ja maadoitusjärjestelmien suunnittelu ja tämän kirjallisen ohjeen laatiminen.</p> <p>Keskeisimmät työssä käytetyt tiedonlähteet olivat standardit SFS 6000 ja 6001. Lisäksi tiedonlähteinä käytettiin sähköturvallisuuslakia, sähköalan kirjallisuutta ja Fingrid:n asiantuntijoille pidettyä haastattelua. Vaatimuksia, suosituksia ja ohjeita on useissa eri julkaisuissa. Tämän ohjeen tarkoituksena on selvittää lukijalle, mistä löytyvät tarvittavat tiedot.</p> <p>Opinnäytetyön suunnitteluprojektin aikana sain neuvoja ja ohjeita esimieholtäni. Suunnitelmat valmistuivat ajallaan ja ne toimitettiin tilaajalle. Tästä kirjallisesta ohjeesta muodostui pitkä ja laaja kokonaisuus. Ohje käsittelee sähköturvallisuutta monipuolisesti monesta eri näkökulmasta.</p>		
<b>Asiasanat</b> GIS-rakennus, maadoitus, sähkölaitteisto, sähkösuunnittelu, sähköturvallisuus.		

**ABSTRACT**

<b>Centria University of Applied Sciences</b>	<b>Date</b> December 2023	<b>Author</b> Samuli Tanska
<b>Degree programme</b> Electrical and Automation Engineering		
<b>Name of thesis</b> ELECTRICAL SAFETY OF THE GIS-BUILDING OF THE SUBSTATION		
<b>Centria supervisor</b> Kari Saaranen	<b>Pages</b> 49 + 2	
<b>Instructor representing commissioning institution or company</b> Kari Tanska		
<p>This engineering work was carried out in cooperation with Insinööritoimisto KTS Ltd and Fingrid Plc. KTS Ltd was commissioned to implement the real estate electrical and earthing plans for the GIS building and substation area. Fingrid Plc was a subscriber to the design project.</p> <p>The GIS building and substation area contain high-voltage technology. High-voltage systems must be taken into account when designing low-voltage electrical and earthing systems. One of the challenges of the design project was to pay attention to electrical safety. The aim of this thesis was to find out what issues affecting electrical safety need to be taken into account in planning. The content of the thesis included the design of real estate electrical and earthing systems and the drafting of this written instruction.</p> <p>The main sources of information used in the work were standards SFS 6000 and 6001. In addition, the sources of information were the electricity safety act, electricity literature and an interview with Fingrid experts. The purpose of this instruction is to explain to the reader where to find the necessary information.</p> <p>During the thesis design project, I received advice and instructions from my supervisor. The plans were completed on time and delivered to the client. This written instruction formed a long and extensive whole. The instruction deals with electrical safety from a variety of perspectives.</p>		

**Key words**

Earthing, electrical design, electrical installation, electrical safety, GIS-building.

## **KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**

### **ATEX**

ATMosphères EXplosibles, vanhempi tunnus EX, räjähdysvaarallinen.

### **EMC**

ElectroMagnetic Compatibility on sähkömagneettinen yhteensopivuus.

### **CRL**

Ylijännitesuojauksen riskin arviointimenetelmässä käytetty suure.

### **IFC**

Industry Foundation Classes on yleinen tiedostomuoto, joka mahdollistaa yhteismitallisen tiedonvaihdon eri alojen ja ohjelmistoalustojen välillä.

### **GIS**

Gas Insulated Switchgear on kaasueristeinen kytkinlaite, jota käytetään keski- ja suurjännitetekniikassa virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen.

### **LVI**

On lyhenne sanoista lämpö, vesi ja ilma. Käytetään rakennustekniikkaan viitatessa.

### **3D**

Three Dimensional on kolmiulotteinen grafiikka.

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY  
SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 INSINÖÖRITOIMISTO KTS OY</b> .....	<b>3</b>
<b>3 FINGRID OYJ</b> .....	<b>4</b>
3.1 Kantaverkko .....	5
3.2 Sähköasemat .....	6
<b>4 SÄHKÖTURVALLISUUS</b> .....	<b>8</b>
4.1 Sähkötapaturmat ja -palot .....	8
4.2 Järjestelmien luotettava toimivuus .....	9
4.3 Sähköturvallisuuslaki .....	9
4.4 Sähköturvallisuusstandardit .....	12
4.5 Sähköturvallisuustekijät .....	13
<b>5 SÄHKÖTURVALLISUUS GIS-RAKENNUKSISSA</b> .....	<b>14</b>
5.1 GIS-rakennukset .....	14
5.1.1 Rakennus .....	14
5.1.2 GIS-kojeet .....	15
5.2 Suojausmenetelmät .....	17
5.2.1 Suojaus sähköiskulta .....	18
5.2.2 Suojaus lämmön vaikutuksilta .....	19
5.2.3 Ylivirtasuojaus .....	20
5.2.4 Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä .....	21
5.3 Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen .....	23
5.3.1 Yleistä .....	24
5.3.2 Johtojärjestelmät .....	25
5.4 Maadoitukset .....	27
5.4.1 Yleistä .....	27
5.4.2 Maadoitukset rakennuksessa .....	30
5.4.3 Sähköasema-alue .....	32
5.4.4 Erityistoimenpiteet .....	34
5.4.5 Tarkastukset .....	35
5.5 Akusto .....	36
5.6 Salamasuojaus .....	37
5.7 Paloturvallisuus .....	40
5.8 Käyttö, huolto ja korjaukset .....	41
<b>6 KIINTEISTÖSÄHKÖSUUNNITELMAT</b> .....	<b>43</b>
6.1.1 Suunnitelmien sisältö .....	43
6.1.2 Suunnittelu menetelmät .....	44
<b>7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINNAT</b> .....	<b>47</b>
<b>LÄHTEET</b> .....	<b>48</b>

## LIITTEET

### KUVAT

KUVA 1. Fingrid Oyj:n sähkösiirtoverkko 1.1.2022.....	5
KUVA 2. Sähköasema .....	7
KUVA 3. Työhön liittyvään kohteeseen laadittu 3D-mallinnus GIS-rakennuksesta .....	15
KUVA 4. Siemensin SF <sub>6</sub> -vapaa kaasueristeinen kojeisto .....	17
KUVA 5. Esimerkki järjestelmien asennuksesta johtoteille .....	23
KUVA 6. Periaatepiirustukset TN-järjestelmistä.....	29
KUVA 7. Maadoituksia GIS-rakennuksen kaapelikellarissa.....	31
KUVA 8. Työhön liittyvään kohteeseen suunnitellut mastojen ja pylväiden maadoitus detaljit .....	34
KUVA 9. Yksittäisen ukkosmaston muodostama suojavyöhyke .....	39
KUVA 10. Kahden ukkosmaston muodostama suojavyöhyke .....	39
KUVA 11. GIS-rakennuksen läpileikkaus Trimble Connect-ohjelmassa .....	46
KUVA 12. Sähköaseman piha-alueen kulkuvalaistus .....	46

### TAULUKOT

TAULUKKO 1. Perussuojausmenetelmät .....	18
TAULUKKO 2. Kaapelien palotekninen luokittelu .....	26

## 1 JOHDANTO

Sähkösuunnittelun yksi keskeisimmistä huomioitavista asioista on sähköturvallisuus. Sähköasennusten, sähköllä toimivien laitteiden ja sähköisten järjestelmien on oltava turvallisia käyttää, huoltaa ja korjata. Sähköturvallisuus liittyy oleellisesti myös asennusten, laitteiden ja järjestelmien toimivuuteen ja luotettavuuteen. Sähköturvallisuutta määrää Sähköturvallisuuslaki 1135/2016 ja soveltavat standardit. Keskeisimpiä käytettäviä standardeja kiinteistöjen sähkösuunnittelussa ovat SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset ja SFS 6001 Suurjännitesähköasennukset. Turvallisuuteen vaikuttavat monet eri osa-alueet, ja näiden kaikkien yhtäaikainen huomioiminen on usein haastavaa. Suunnittelijan on tiedettävä, millaisia asioita on huomioitava erityyppisissä kohteissa ja mistä löytyvät määräykset ja ohjeet kyseiselle kohdetyypille tai aihealueelle. Turvallisuuden lisäksi suunnittelussa täytyy ottaa huomioon muun muassa asiakkaan toiveet ja taloudelliset ratkaisut.

Sähköasemilla on käytössä useita eri jännitetasoja. Asemien pääkäyttötarkoitukset liittyvät keski- ja suurjänniteverkkojen toimintoihin. Keskijännite on Suomessa pääsääntöisesti 20 kV ja suurjännitteeksi katsotaan jännitetasot 110 kV, 220 kV ja 400 kV. Sähköasemilla on lisäksi käytössä pien- ja pienoisjännite järjestelmiä. Rakennusten kiinteistösähköt ja esimerkiksi aluevalaistukset toimivat 400 V:n pienjännitteellä. Pienoisjännitettä, joka käsittää tasajännitteen 120 V:n saakka ja vaihtojännitteen 50 V:n saakka, käytetään sähköasemalaitteiden ohjaus- ja mittausjärjestelmissä. Lisäksi on paljon tietoteknisiä yhteyksiä ja laitteita. Näiden kaikkien turvallisuuden ja luotettavan toimivuuden huomioiminen sähkösuunnittelussa on haastavaa.

Sähkösuunnittelijat jakautuvat usein koulutuksen ja työkokemuksen perusteella joko kiinteistösähköjen tai sähköverkkojen suunnittelijoiksi. Käytännön tasolla tämä tarkoittaa, että suunnittelijalla on usein kokemusta joko keski- ja suurjännitejärjestelmistä tai pienjännitejärjestelmistä. Sähköasemille tulevien rakennusten kiinteistösähköjä suunnittelevan on otettava huomioon näiden molempien osa-alueiden määräykset ja erityispiirteet.

Tämän opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Insinööritoimisto KTS Oy:n ja kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n kanssa. KTS Oy tässä työssä toimeksiantajana ja Fingrid on sähkösuunnitelmien tilaaja. Työkentelen itse KTS Oy: palveluksessa sähkösuunnittelijana. Kohtasimme edellä kuvatun haasteen, kun saimme suunniteltavaksi sähköasemalle rakennettavan GIS-rakennuksen ja sähköasema-alueen kiinteistösähköt. Toimiston suunnittelijoilla on paljon kokemusta erilaisten pienten ja suurten kiinteistöjen

sähkösuunnittelusta, mutta tällaisen sähköasemarakennuksen ja piha-alueen suunnittelu on kuitenkin uusi aluevaltaus ja se tuo mukanaan paljon uuden tiedon etsimistä ja selvittämistä. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tutkia ja selvittää millaisia asioita on sähköturvallisuuden näkökulmasta huomioitava suunniteltaessa sähköaseman GIS-rakennuksen kiinteistösähköjä. Tavoitteena on selvittää, mistä standardeista ja asetuksista löytyvät kyseiseen kohteeseen sovellettavat määräykset. Tutkimustulosten perusteella on tarkoitus laatia kokonaisuus, joka voi toimia ohjeena tällaisen rakennuksen sähkösuunnittelijalle. Ohjeistuksessa on keskeisimpänä tavoitteena opastaa, mitä asioita on huomioitava ja mistä niihin löytyy määräykset. Lisäksi tämän työn tavoitteena on laatia GIS-rakennuksen kiinteistösähkösuunnitelmat Fingrid:lle urakkakilpailutusta varten. Suunnitelmat eivät ole kaikilta osin julkista materiaalia, jonka vuoksi niitä ei esitellä kokonaisuudessaan tämän työn yhteydessä.

Opinnäytetyö koostuu suunnitelmien laatimisesta, tiedon hankkimisesta ja näiden yhdistämisestä tähän kirjalliseen versioon. Suunnitelmien laadinta on aloitettu syksyn 2023 aikana. Lopulliset suunnitelmat on tarkoitus valmistua keväällä 2024. Tietoa on hankittu koko suunnitteluprosessin ajan. Merkittävimpiä tiedon lähteitä ovat Standardit SFS 6000 ja SFS 6001 sekä Fingrid:n omat ohjeistukset. Suunnittelun aikana on saatu apua ja neuvoja Fingrid:n asiantuntijoilta. Kirjoitusprosessin aikana tiedonlähteinä on käytetty standardien lisäksi sähköturvallisuuslakia, sähköalan ammattikirjallisuutta sekä Fingrid:n asiantuntijoille järjestettyä haastattelua.



## 2 INSINÖÖRITOIMISTO KTS OY

Insinööritoimisto KTS Oy on Oulaisista lähtöisin oleva suunnittelutoimisto. Tällä hetkellä yrityksellä on toimistot Oulaisissa ja Oulussa. Yritys on perustettu vuonna 2010, jolloin se työllisti aluksi yhden henkilön. Myöhemmin toiminta on kasvanut tasaisesti ja tällä hetkellä yritys työllistää noin 10 insinööriä. Alkuvuosina yrityksen palvelun tarjonta rajoittui sähköasennuksiin ja -suunnitteluun. Tällä hetkellä yritys ei enää tarjoa asennuspalveluita, mutta suunnittelutarjontaa on laajennettu LVIA-alan palveluihin. Yrityksen liikevaihto on viimevuosina ollut keskimääräisesti noin 800 000 euroa. Yrityksen vahvuuksia ovat erinomainen asiakaspalvelu ja henkilöstön vahva osaaminen ja kokemus. Joustavana ja palvelevana toimijana yritys on mukana niin pienissä kuin suurissakin hankkeissa. (Insinööritoimisto KTS Oy 2023.)

Yrityksen eniten työllistävä palvelu on suunnittelu, joka pitää sisällään LVIA- ja sähköalansuunnittelut. Suunnitteluprojektit kohdistuvat pääasiassa uusiin kiinteistöihin. Satunnaisesti projektit ovat myös saneerauskohteita. Pienet omakotitalon tasoiset hankkeet ovat harvinaisempia. Tyypillisimpiä suunnitteluprojekteja ovat koulut, palvelutalot, terveyskeskukset, päiväkodit, kaupat ja liikekeskukset, automyymälät, varastohallit ja kerros- ja rivitalot. Osaamista ja kokemusta on myös infra-alueiden sähkösuunnittelusta. Yritys tuottaa tehokkaat ja taloudelliset ratkaisut talotekniikoihin. Erityisosaamista on ajanmukainen ja nopeasti kehittyvä LVIA- ja sähköalansuunnittelu, joka tarkoittaa laadukasta mallintamista, luotettavaa laskentaa, luettelointia ja dokumentointia. 3D-mallien tuottaminen kuuluu suunnittelijoilla päivittäiseen työhön ja suunnittelu tarjoaa tietomallinnuksen, jota voidaan hyödyntää tekniikoiden ja rakennuksen tilojen yhteen sovittamisessa. (Insinööritoimisto KTS Oy 2023.)

Yritys tarjoaa myös konsultointipalvelua LVIA- ja sähköalan talotekniikoihin liittyvissä hankkeissa. Konsultointipalveluihin kuuluvat esimerkiksi mitoitukset, hankekartoitukset, urakkaselosteiden laadinta sekä muut asiantuntija tietoa vaativat opastukset. Yritys tarjoaa kaikkia palveluitaan julkisiin kohteisiin, yrityksille, yhtiöille ja yksityisille toimijoille. Pääasiallisia asiakkaita ovat kunnat ja kaupungit, rakennusliikkeet ja muut suunnittelutoimistot. Joustavana suunnittelutoimistona yritys pystyy tarjoamaan palveluitaan myös uusille asiakkaille. (Insinööritoimisto KTS Oy 2023.)

### 3 FINGRID OYJ

Fingrid Oyj on suomalaisten kantaverkkoyhtiö. Sen omistajia ovat Suomen valtio ja eläkeyhtiöt. Kantaverkkoyhtiön keskeisin tehtävä on turvata yhteiskunnalle varma ja luotettava sähkö kaikissa tilanteissa ja kaikkialla sekä edistää puhdasta ympäristöystävällistä, markkinaehtoista sähköjärjestelmää. Fingrid:n perustamisasiakirjat on allekirjoitettu marraskuussa 1996 ja operatiivinen toiminta käynnistetty syyskuussa 1997. Yhtiön on toiminut kantaverkon haltijana ja ylläpitäjänä noin 26 vuotta, mikä on suhteellisen lyhyt aika koko kantaverkon historiassa. Suomen kantaverkko on saanut alkunsa 1920-luvun lopulla. Maan ensimmäinen kantaverkoksi katsottava suurjännitelinja on rakennettu Imatran ja Turun välille. Se otettiin käyttöön vuonna 1929 ja on tullut tunnetuksi nimellä ”Rautarouva”. Kantaverkon omisti ennen Fingrid:n perustamista Imatran Voima Oy, Pohjolan Voima Oy ja Suomen valtio. Nyt vuonna 2023 Fingrid vastaa koko Suomen sähköjärjestelmästä. (Esittely 2023.)

Fingrid on arvostettu energiavaikuttaja Suomessa ja kansainvälisesti. Yhtiö tunnetaan vastuullisista toimintatavoista ja tehokkaasta ja ammattitaitoisesta henkilöstöstä. Yhtiön palveluksessa oli vuoden 2022 lopussa 489 henkilöä, määräaikaiset työntekijät mukaan lukien. Yhtiön päätoimipaikka sijaitsee Helsingissä, aluetoimipaikat sijaitsevat Hämeenlinnassa, Jyväskylässä, Varkaudessa, Oulussa, Rovaniemellä ja Vaasassa. (Toimipaikat 2023.)

Sähköenergia järjestelmät ovat tällä suuressa murroksessa. Ilmastonmuutos ajaa sähköenergian tuotanto muotoja puhtaampiin ja ympäristöystävällisempiin tapoihin tuottaa energiaa. Toisaalta sähkön käyttö energian lähteenä on itsessään hyvin puhdasta, jonka ajaa käytön lisääntymiseen kiihtyvällä tahdilla. Tästä hyviä esimerkkejä ovat liikenteen ja teollisuuden sähköistyminen. Kantaverkkoyhtiölle yhteiskunnan kasvava sähköntarve tuo haasteita siirtoyhteyksien riittävyyden ja luotettavuuden kanssa. Uudet puhtaammat sähköenergian tuotantomuodot, kuten aurinko- ja tuulivoima tuovat omat haasteensa toimivan sähköenergiajärjestelmän ylläpitoon, koska niissä tuotanto on ailahtelevampaa. Sähköverkossa tuotannon ja kulutuksen on pysyttävä tasapainossa, jotta sähkölaatu pysyy sille asetetuissa rajoissa.

### 3.1 Kantaverkko

Kantaverkko koostuu silmukoidusta verkosta, johon kuuluvat kaikki käytössä olevat 400, 220 ja 110 kilovoltin suurjännitelinjat ja sähköasemat. Kantaverkko on yksi yhteiskunnan tärkeimmistä infrastruktuureista. Monet yhteiskunnan välttämättömät toiminnot ovat sähköenergian varassa. Vastuu kantaverkon ylläpidosta on Fingrid:llä. Kantaverkkoon kuuluu yhteensä noin 14 000 km suurjännitevoimalinjaa (2023) ja 121 sähköasemaa (2023). Suomessa kantaverkon kautta kulkee noin 75 % kaikesta siirretystä sähköenergiasta. Fingrid:n sähkönsiirto verkko on esitetty kuvassa 1. (Fingridin sähkönsiirtoverkko 2023.)



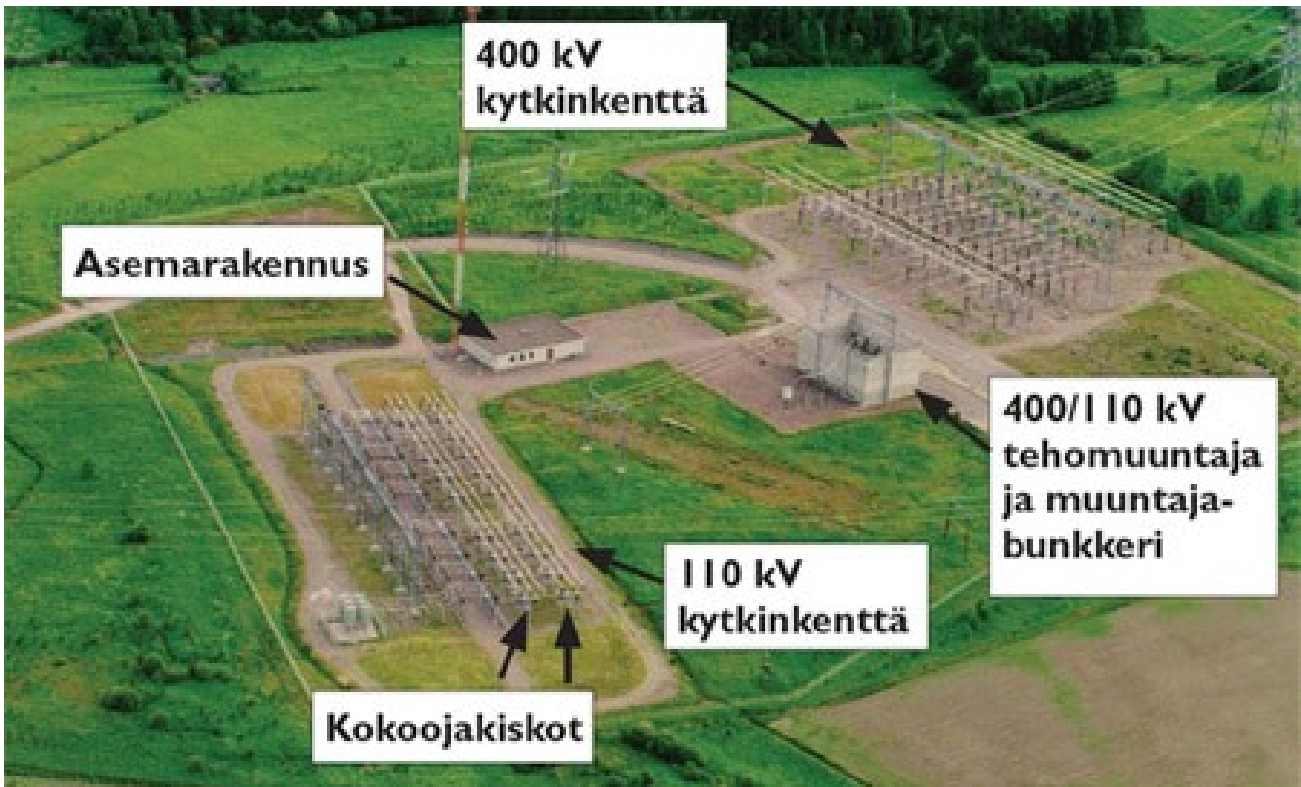
KUVA 1. Fingrid Oyj:n sähkönsiirtoverkko 1.1.2022 (Fingridin sähkönsiirtoverkko 2023)

Suomen kantaverkko yhdistyy runkoverkon kautta yhteispohjoismaiseen sähköjärjestelmään. Tähän yhteiseen järjestelmään kuuluvat Suomen, Ruotsin, Norjan ja Itä-Tanskan kantaverkkojärjestelmät. Tämän lisäksi Suomesta on tasasähköyhteys Viroon, jonka välityksellä yhteispohjoismainen järjestelmä yhdistyy Baltian voimajärjestelmään. (Fingridin sähkönsiirtoverkko 2023.) Yhteispohjoismainen sähköjärjestelmä on erittäin hyödyllinen kantaverkkoyhtiön kannalta. Yhteisenjärjestelmän avulla Fingrid:n on helpompi pitää yllä energiatasapainoa verkossa, mikä takaa sähkön laadun käyttäjälle. Sähkön hinta muodostuu osittain yhteisjärjestelmän siirtokapasiteettien perusteella ja tämän vuoksi energian tuottajien kilpailu alue on suurempi, mikä isossa kuvassa laskee energian hintaa loppukäyttäjälle. (Yhtenäiset sähkömarkkinat 2023.)

Kantaverkkoon liittyy sähköasemien kautta voimalaitoksia, paikallisia jakeluverkkoyhtiöitä ja joitain suurempia yksittäisiä sähkön kuluttajia. Voimalaitokset tuottavat sähköjärjestelmään sähköenergiaa ja ne liittyvät verkkoon voimalaitoksen koon mukaan joko suoraan kantaverkon 110, 220 tai 400 kilovoltin linjoihin tai jakeluverkkojen ja muuntoasemien kautta. Jakeluverkot liittyvät kantaverkkoon tyypillisesti 110 kilovoltin verkon kautta. Jakeluverkot hoitavat sähkön alueellisen jakelun 0,4–110 kilovoltin jännitetasoilla. Kotitaloudet liittyvät verkkoon 400 voltin jännitteellä jakeluverkon välityksellä. Suuremmat yksittäiset kuluttajat kuten teollisuuden suuret yritykset voivat liittyä joko suoraan kantaverkkoon tai jakeluverkkoon. Liittymiseen vaikuttavat muun muassa liittymispisteen sijainti ja energian määrän tarve. Suuremmat liittymispyynnöt käsitellään tapauskohtaisesti. (Fingridin sähkönsiirtoverkko 2023.)

### 3.2 Sähköasemat

Sähköasemat ovat osa kanta- ja jakeluverkkoja. Sähköasema on verkon osa, jossa suoritetaan siirto- ja jakeluverkkoon kytkentöjä ja jännitetaso muunnoksia ja jaetaan tai keskitetään verkkoja yhteen. Sähköasemat ovat verkon solmukohtia. Sähköasemat ovat laajoja aidattuja ja valvottuja alueita, joihin on asiattomilta pääsy kielletty. Sähköasemilla esiintyy suurjännitteitä, jotka ovat vaarallisia ulkopuolisille henkilöille, joita ei ole perehdytetty alueen vaaroihin. Sähköaseman haltija voi olla kantaverkkoyhtiö, jakeluverkkoyhtiö, jokin yksittäinen kuluttaja kuten suuri teollisuus yritys tai voimalaitosyhtiö. Sähköasemilla sijaitsee muuntajia, kytkinkenttiä, kiskostoja ja asemarakennuksia. Muita toimintojen kannalta tärkeitä komponentteja ovat katkaisijat, erottimet ja mittamuuntajat. (Elovaara & Haarla 2011, 76.)



KUVA 2. Sähköasema (Sähköasemat 2023)

Nimellisjännitteeltään yli 1000 voltin vaihtojännitteisten sähköasennusten suunnittelua ja rakentamista koskevat vaatimukset ja määräykset on annettu SFS-standardissa 6001. Standardi koskee uusien asennusten suunnittelun lisäksi vanhojen korjaus-, huolto-, ja laajennustöitä. Standardin tarkoituksena on huolehtia, että tehdyt asennukset ovat turvallisia käyttää ja että ne toimivat luotettavasti. (Elovaara & Haarla 2011, 76.)

## 4 SÄHKÖTURVALLISUUS

Sähköturvallisuus käsittää useita eri osa-alueita. Sähköasennusten, -laitteiden ja -järjestelmien tulee olla turvallisia niiden käyttäjille. Sähköllä toimivat järjestelmät on suunniteltava ja asennettava niin, että ne eivät aiheuta rakennuksessa esimerkiksi tulipaloriskiä, joka taas aiheuttaisi vaaran ihmisille. Sähköturvallisuus tulee ottaa huomioon myös erilaisten sähkölaitteiden välillä, jolloin voidaan turvata laitteiden ja järjestelmien toimivuus ja luotettavuus. Sähköturvallisuus nousee esille myös työskennellessä sähköisten järjestelmien parissa. Sähköturvallisuutta ohjaa SFS-standardi 6002. Yhteenvedonä sähköturvallisuus voidaan ilmaista tarkoittavan turvallisuus osa-alueita, joissa sähkö voi aiheuttaa joko suoraan tai välillisesti vaaraa ihmisille, kotieläimille tai omaisuudelle.

### 4.1 Sähkötapaturmat ja -palot

Sähkön aiheuttamat onnettomuudet voidaan jakaa kahteen pääluokkaan, jotka ovat tapaturmat ja palot. Huolellisella ja tarkalla sähköturvallisuudella voidaan vähentää näiden onnettomuuksien tapahtumista. Turvatekniikan keskus Tukes ylläpitää vaurio- ja onnettomuusrekisteriä Varoa, johon kerätään vuosittain tiedot eri toimialoilla sattuneista onnettomuuksista. Tietojen saanti sähköalan onnettomuus- ja vaaratilanteista perustuu sähköturvallisuuslainsäädäntöön, joka velvoittaa poliisin, pelastus- ja työsuojeluviranomaiset sekä verkonhaltijat ilmoittamaan Tukesille sähkötapaturmista. (Elovaara & Haarla 2011, 492.)

Sähköpaloiksi luokitellaan ne tulipalot, joissa voidaan todeta palon syttymisen aiheuttajaksi sähköenergia. Sähköpalot aiheutuvat tyypillisesti sähkölaitteiden vioista, laitteiden tai asennusten vääränlaisesta käytöstä tai kunnossapidon puutteesta. Kuolema, joka johtuu sähköenergian aiheuttamasta tulipalosta, luokitellaan sähköpalokuolemaksi, nämä onnettomuudet menevät tilastoinneissa sähköpalokategorian alle. Tulipalo- ja sähköpalolukumäärien osalta pääasiallinen tietolähde on pelastuslaitosten käyttämä Pronto-rekisteri. (Sähköpalot ja -tapaturmat 2023.)

Sähkötapaturmiksi luokitellaan tapaukset, joissa ihminen tai eläin on saanut sähköiskun ja valokaarionnettomuudet, joissa valokaari on aiheuttanut ihmiselle tai eläimelle loukkaantumisen. Lisäksi sähkötapaturmiin luokitellaan tapaukset, joissa edellä mainitut seikat ovat aiheuttaneet ihmisen tai eläimen pu-

toamisen tai muun vastaavan, joka on välillisesti aiheuttanut loukkaantumisen. Parhaiten Tukes saa tietoon ne tapaturmat, jotka ovat sattuneet työelämässä. Lievemmat vapaa-ajalla sattuneet tapaukset jäävät usein tilastointien ulkopuolelle. Tilastoinnin tärkeys korostuu tapaturmien ehkäisykeinoja mietittäessä. Tukesin tietoon tulleiden tapausten perusteella lähes kaikki sähkötapaturmat sattuvat alle 1000 voltin kojeistoissa tai laitteilla. Suurjännitetöihin liittyviä tapaturmia on vuosittain vain muutamia. Maallikoiden suurjännitetapaturmat liittyvät usein luvattomaan toimintaan. Suurin osa tietoon tulleista tapaturmista ovat ihmisen saamat sähköiskut. (Sähköpalot ja -tapaturmat 2023.)

## 4.2 Järjestelmien luotettava toimivuus

Järjestelmien luotettava toimivuus sähköturvallisuuden näkökulmasta korostuu, kun käsitellään järjestelmiä, jossa esiintyy useita eri jännitetasoja. Tällaisista järjestelmistä ovat hyviä esimerkkejä sähköasemat. Sähköasemilla esiintyy jännitetasoja pienenjännitteistä suurjännitteisiin saakka, ja lisäksi on vielä tietoteknisiä laitteita ja yhteyksiä, jotka ovat erittäin häiriöherkkiä. Eri jännitetasojen välillä on sähköturvallisuuden näkökulmasta tärkeää, että jännitetasot on selkeästi eroteltu toisistaan ja että on merkitty huolellisesti eri tasojen väliset kohdat. Korkeammat jännitteet ja virrat aiheuttavat sähkömagneettista häiriötä pienemmillä jännitetasoilla toimiviin järjestelmiin. Sähköturvallisuuden laiminlyönti suuremmalla jännitetasolla voi aiheuttaa vian esimerkiksi pienjännitteellä toimivaan ohjaus- tai mittauspiiriin. Vian aiheuttama virhetulkinta mittauksissa ja sen myötä virheellinen ohjaus voi aiheuttaa vaaran suurjännitepuolella. Tämän perusteella sähköturvallisuudella voidaan taata järjestelmien luotettava toiminta. Sähköturvallisuuslaissa säädetään, että sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava, korjattava sekä käytettävä niin, että niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti (Sähköturvallisuuslaki 6§ 1135/2016).

## 4.3 Sähköturvallisuuslaki

Sähköturvallisuuslain viimeisin versio 1135/2016 tuli voimaan joulukuussa 2016. Laki on luettavissa Finlexin verkkosivuilta. Sähköturvallisuuslain tarkoitus määritellään 1 §:ssä näin:

Tämän lain tarkoituksena on varmistaa sähkölaitteen ja -laitteiston käytön pitäminen turvallisena ja estää sähkön käytöstä aiheutuvien sähkömagneettisten häiriöiden haitalliset

vaikutukset sekä turvata sähkölaitteen tai -laitteiston sähkövirran tai magneettikentän välityksellä aiheuttamasta vahingosta kärsineen oikeudet. Lisäksi lain tarkoituksena on varmistaa sähkölaitteiden vaatimustenmukaisuus ja vapaa liikkuvuus.

Tässä laissa säädetään sähkölaitteille ja -laitteistoille asetettavista vaatimuksista, sähkölaitteiden ja –laitteistojen vaatimustenmukaisuuden osoittamisesta ja vaatimustenmukaisuuden valvonnasta, sähköalan töistä ja niiden valvonnasta sekä sähkölaitteen ja -laitteiston haltijan vahingonkorvausvelvollisuudesta.

Tällä lailla pannaan täytäntöön sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta (uudelleenlaadittu) annettu Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/30/EU, jäljempänä EMC-direktiivi, ja tietyillä jännitealueilla toimivien sähkölaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta annettu Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/35/EU, jäljempänä pienjännitedirektiivi. (Sähköturvallisuuslaki 1 § 1135/2016.)

Sähköturvallisuuslakia sovelletaan kaikkiin sähkölaitteisiin ja -järjestelmiin, joita käytetään sähköntuottamisessa, siirtämisessä, jakelussa tai käytössä. Lisäksi lakia sovelletaan laitteisiin ja järjestelmiin, joiden sähkömagneettisista ominaisuuksista voi aiheutua vaaraa tai häiriötä ihmisille, eläimille tai muille laitteille. Tätä lakia ei sovelleta vahinkoihin, jotka ovat aiheutuneet sähkönsiirron, -jakelun, tai -toimituksen keskeytymisen vuoksi. Sähkösuunnittelussa on huomioitava muitakin lakeja sähköturvallisuuslain lisäksi. Esimerkiksi räjähdysvaarallisten tilojen laitteiden ja suojajärjestelmien vaatimustenmukaisuudesta säädetään erillisessä laissa 1139/2016. (Sähköturvallisuuslaki 2–5 § 1135/2016.)

Sähkösuunnittelijan valitsevat suunnitelmia tehdessään sopivia tehdasvalmisteisia komponentteja ja laitekokonaisuuksia. Suunnittelija vastaa siitä, että laitteet ovat valittu kyseiseen käyttötarkoitukseen sopiviksi. Laite valinnoissa olennaisia nimellisarvoja ovat muun muassa nimellisjännite, tehonkesto, oikosulkuvirran kesto, kotelointiluokka ja asennustapa. Sähköturvallisuuslaissa säädetään, että sähkölaitteen valmistaja on velvollinen varmistamaan sähkölaitteen vaatimustenmukaisuuden (Sähköturvallisuuslaki 13 § 1135/2016).

Sähköturvallisuuslaissa säädetään, että sähkölaitteiston on täytettävä olennaiset turvallisuusvaatimukset, joita ovat suojaus sähköiskulta, suojaus tulipaloa ja kuumuutta vastaan, suojaus muilta haittavaikutuksilta, erityislaitteistojen sekä erityisolosuhteiden vaatimuksia, eri laitteistojen keskinäistä yhteensopivuutta sekä muita olennaisia rakennevaatimuksia (Sähköturvallisuuslaki 31 § 1135/2016).



Suomessa sähköturvallisuusviranomaisena on Tukes. Sähköturvallisuuslain mukaan sähköturvallisuusviranomaisena julkaisee luettelon niistä standardeista, joita noudattamalla sähkölaitteiston katsotaan täyttävän tämän lain vaatimukset (Sähköturvallisuuslaki 33§ 1135/2016). Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit ovat listattuna Tukesin laatimassa luettelossa S10-2023.

Sähkösuunnittelussa ja asennuksissa on lain nojalla lupa poiketa standardien asettamista vaatimuksesta tarpeen vaatiessa. Standardista poikkeuksen tekemisen on kuitenkin varmistettava, että vastaava turvallisuustaso voidaan saavuttaa muilla keinoilla. Tällaisia poikkeus tilanteita tulee usein saneerauskohteiden remonteissa ja laajennuksissa. Poikkeuksen tekijän on laadittava kirjallinen selvitys poikkeamisesta ennen sähkölaitteiston rakentamisen tai korjaamisen aloittamista, ja sille on oltava tilaajan antama kirjallinen suostumus. Selvityksestä tulee käydä ilmi, miten vastaava turvallisuustaso on saavutettu. (Sähköturvallisuuslaki 34§ 1135/2016.)

Oleellinen osa sähköturvallisuutta on laitteistojen ja asennusten tarkistaminen ennen niiden käyttöönottoa. Käyttöönottotarkastuksissa varmistetaan laitteistojen ja asennusten turvallisuudesta. Käyttöönottotarkastukset on tehtävä uusille asennuksille sekä muutos- ja laajennustöille. Lain mukaan on sähkölaitteiston rakentajan vastuulla huolehtia sähkölaitteiston käyttöönottotarkastuksista. Poikkeustapauksissa jo laitteiston rakentaja laiminlyö velvollisuutensa tai on estynyt huolehtimaan niistä, on laitteiston haltija velvollinen huolehtimaan tarkastuksien tekemisestä. Käyttöönottotarkastuksista on laadittava aina kirjallinen tarkastuspöytäkirja haltijan käyttöön. (Sähköturvallisuuslaki 43§ 1135/2016.)

Sähkölaitteistojen turvallisuuden varmistamiseksi tietyille laitteistoille tulee tehdä käyttöönottotarkastusten lisäksi varmennus- ja/tai määräaikaistarkastuksia. Sähkölaitteistoluokitukset on määritelty Sähköturvallisuuslaissa 44 §:ssä. Varmennustarkastuksen teettämisestä vastaa laitteiston rakentaja. Sähkölaitteiston huoltaja on vastuussa laitteistojen huollosta ja kunnossapidosta. Määräaikaistarkastuksissa varmistetaan siitä, että onko laitteiston haltija huolehtinut huolto- ja kunnossapitotehtävistä. Määräaikaistarkastuksen pitäminen on laitteiston haltijan vastuulla. (Sähköturvallisuuslaki 44–51§ 1135/2016.)

#### 4.4 Sähköturvallisuusstandardit

Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit ovat listattuna Tukesin laatimassa luettelossa S10-2023. Keskeisimpiä sähköasennuksia ja -suunnittelua koskevat standardit ovat SFS 6000 ja SFS 6001. Standardisarja SFS 6000 koskee sähköasennuksia, joiden nimellisjännite on vaihtojännitteellä (AC) enintään 1000 V (tehollisarvo) ja tasajännitteellä (DC) enintään 1500 V (SFS 6000-1:2022, 6). Standardisarja SFS 6001 koskee sähköasennuksia, joiden nimellisjännite on vaihtojännitteellä yli 1 kV:n ja nimellistaajuudeltaan enintään 60 Hz (SFS 6001:2018, 8).

Standardien tavoitteena on lisätä turvallisuutta, laatua, sujuvuutta ja yhteensopivuutta (Standardeista on hyötyä meille kaikille 2023). Noudattamalla kulloinkin kyseisen standardisarjan määräyksiä täytetään sähköturvallisuuslain (1135/2016) ja sen perusteella annettujen valtioneuvoston asetusten mukaiset sähkölaitteistojen sähköturvallisuutta ja sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevat vaatimukset (SFS 6000-1:2022, 6). Tavoitteissa mainitut turvallisuus ja laatu vaikuttavat vahvasti toisiinsa. Sähkölaitteistojen laatuvaatimukset täyttyvät usein, kun suunnittelussa ja asennuksissa huomioidaan sähköturvallisuusmääräykset. Laatutekijöitä korostavat myös hyvien asennustapojen noudattaminen. Hyvistä asennustavoista löytyy muun muassa Sähköinfon julkaisemaa kirjallisuutta, esimerkkinä kirja Hyvät asennustavat, sähkö- ja tietotekniset järjestelmät, ST-käsikirja 34. Sujuvuus ja yhteensopivuus ovat myös tekijöitä, jotka vaikuttavat vahvasti toisiinsa. SFS 6000- ja SFS 6001-standardeista suurin osa määräyksistä perustuu yleiseurooppalaisiin standardeihin, mikä tuo laajaa yhteensopivuutta laitteistojen välillä. Laitteistojen suunnittelu ja asennus onnistuvat huomattavasti helpommin, mitä yhteensopivampia eri laitteistot ovat keskenään. Yhteensopivilla laitteilla saadaan myös turvallisempia laitekoko-  
naisuuksia.

Standardien käytöstä on tutkittu, että ne edistävät yritysten liiketoimintaa ja kasvattavat asiakkaiden luottamusta (Standardeista on hyötyä meille kaikille 2023). Tutkimuksen tulos liiketoiminnan edistymisestä selittyy osaltaan standardien tavoitteiden perusteella. Edistyvän liiketoiminnan taustalla täytyy olla sujuvaa työskentelyä, ja sujuvuutta tukee laitteiden yhteensopivuus. Asiakkaiden luottamus taas nojaa pitkälti suunnitelmien ja asennusten turvallisuuden ja laadun varaan.

## 4.5 Sähköturvallisuustekijät

Sähköturvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä on useita. Sähköturvallisuutta voidaan käsitellä siitä näkökulmasta, että millaisia vaaroja tai vahinkoja sähkölaitteistot voivat aiheuttaa ihmisille, kotieläimille tai omaisuudelle. Sähköturvallisuuslaissa termi sähkölaitteisto määritellään tarkoittavan kiinteää asennusta tai muuta vastaavaa sähkölaitteista ja mahdollisesti muista laitteista, tarvikkeista ja rakenteista koostuvaa toiminnallista kokonaisuutta. Termillä sähkölaitteisto viitataan siis standardeissa esimerkiksi kiinteistöjen kaikkiin sähköasennuksiin, vaikka termiä laite tai laitteisto käytetään puhekielessä enemmän laitteista ja koneista.

Valtioneuvoston asetuksen (1434/2016) liitteessä 1 luetellaan sähkölaitteistojen olennaisimmat sähköturvallisuusvaatimukset. Sähköinfon tuottamassa D1-käsikirjassa on käyty läpi nämä kaikki Valtioneuvoston asetuksen kohdat. Käsikirjassa avataan tarkemmin jokaisen vaatimuksen osalta, mitä vaatimuksella esimerkiksi tarkoitetaan ja mistä kohdasta kyseisestä asiasta löytyy enemmän tietoa. D1-käsikirja on laadittu standardin SFS 6000 pohjalta ja siinä aihealueiden numerointi on tehty vastaavaksi standardin SFS 6000 kanssa. Usein tarvittava vaatimuksen kohta on helpompi löytää D1-käsikirjasta, jonka jälkeen kyseisen kohdan voi avata standardista saman alaluvun kohdalta. D1-käsikirjassa vaatimuksia tarkastellaan pienjännitelaitteistojen näkökulmasta, vaikka Valtioneuvoston asetuksessa mainitut vaatimukset koskevat yhtä lailla suurjännitelaitteistoja (Tiainen 2022, 1). Valtioneuvoston asetuksissa vaatimuksia on yhteensä 24, jonka vuoksi ei ole tarkoituksen mukaista käsitellä niitä kaikkia tässä työssä. Käsitelen keskeisesti tämän työn aiheeseen liittyviä kohtia tarkemmin pääluvussa 5.

Sähköturvallisuusvaatimukset perustuvat sähköenergian aiheuttamiin vaaratekijöihin. Vaaratekijöitä ovat muun muassa sähköiskuvirrat, vaarallisen korkeat lämpötilat, räjähdysvaarallisessa tilassa tapahtuva syttyminen sähköenergian kipinän vuoksi, ali- ja ylijännitteet sekä sähkömagneettiset häiriöt. Näiden lisäksi vaaratekijöitä voivat olla sähkönsyötön keskeytyminen ja/tai turvajärjestelmien toiminnan keskeytyminen, valokaaret ja sähkötoimisten laitteiden mekaaniset liikkeet. Valokaaret voivat aiheuttaa häikäistymistä, ylipainetta ja/tai myrkyllisiä kaasuja. (SFS 6000-131 2022.)

Standardeissa on esitetty suojaustoimet, joilla suojaudutaan edellä mainittuja vaaratekijöitä vastaan. Standardissa SFS 6000 keskeisimpiä turvallisuuteen vaikuttavia toimia käsitellään kohdissa 4 ja 5. Kohta 4 käsittelee suojausmenetelmiä ja kohta 5 sähkölaitteiden valintaa ja asentamista. Sähköturvallisuuteen liittyviä toimia on aina tarkasteltava niin, että suojaukset, laitevalinnat, yms. toimivat normaali käyttötilanteen lisäksi myös vikatilanteissa.

## 5 SÄHKÖTURVALLISUUS GIS-RAKENNUKSISSA

Tässä luvussa käsitellään sähköturvallisuutta GIS-rakennuksissa. Sähköturvallisuus koostuu useista eri osa-alueista ja näiden yhdistämistä toimivaksi kokonaisuudeksi. GIS-rakennuksissa sähköturvallisuu-teen sisältyy erityispiirteitä, jotka on huomioitava suunnittelu- ja asennusvaiheessa. Turvallisuusasiat on sähkösuunnittelun lisäksi huomioitava myös muilla suunnittelu osa-alueilla, kuten rakenne- ja LVI-suunnitteluissa. Tässä työssä käsitellään pääasiassa sähkösuunnittelussa huomioitavia asioita. Joissain kohdissa, kuten maadoituksissa, voidaan viitata muihin suunnittelualoihin. Tämä työ on toteutettu osana suunnitteluprojektia, jossa suunniteltiin Fingrid:lle GIS-rakennuksen kiinteistötekniikka. Tämän vuoksi tässä työssä otetaan huomioon yleisten vaatimusten lisäksi Fingrid:n omia ohjeistuksia ja vaatimuksia GIS-rakennuksista.

### 5.1 GIS-rakennukset

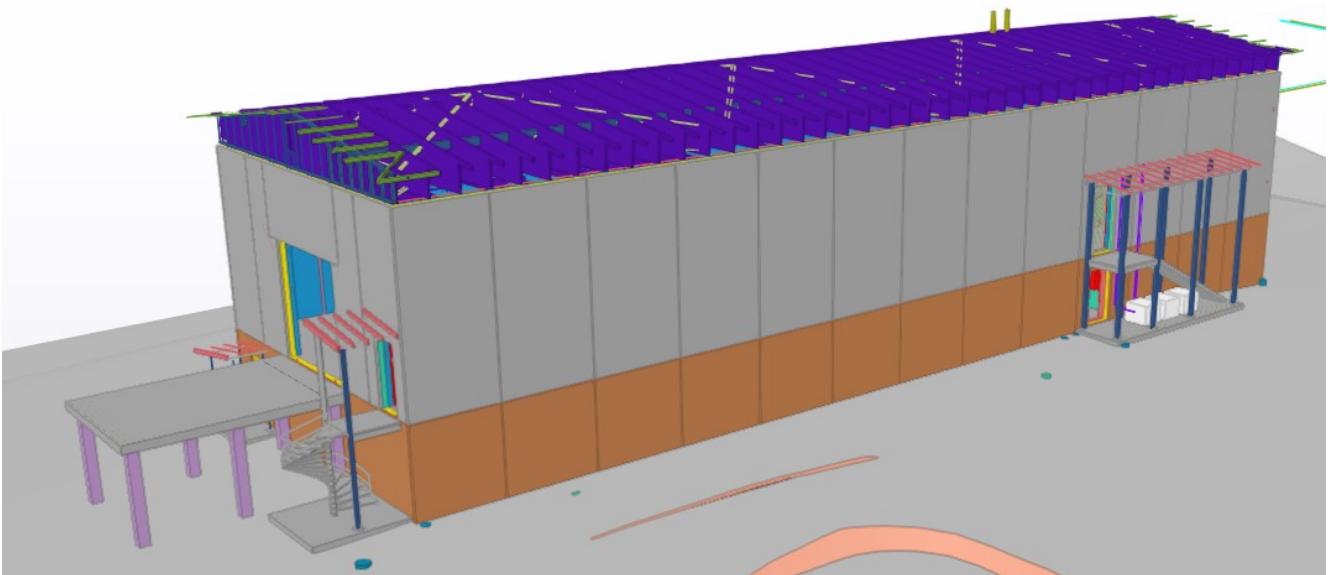
Lyhenne GIS tulee englannin kielen sanoista gas insulated switchgear. Suomeksi käännettynä lyhenne tarkoittaa kaasueristettyä kytkinlaitetta. GIS-rakennuksella tarkoitetaan rakennuskokonaisuutta, joka sisältää yksittäisen tai useamman kaasueristeen kytkinlaitteen. GIS-rakennukset sijaitsevat sähköasemilla ja kuuluvat yhtenä osana sähköaseman toimintoihin. Rakennuksessa on GIS-laitetilojen lisäksi muun muassa kytkinlaitteisiin liittyvä rele- ja valvomotila, kaapelikellari, akustotila, ilmanvaihdon tekniikkatila, apusähkötila, varastotila sekä sosiaalityöt.

#### 5.1.1 Rakennus

Rakennusten suunnittelu toteutetaan Fingrid:n mallipiirustusten ja vaatimusten mukaisesti. Rakennuksen tilojen koon vaatimus määräytyy käytännössä GIS-kojeiden määrän mukaan. Rakennukset ovat 2-kerroksisia, joka mahdollistaa varsinkin paksujen suurjännitekaapeleiden järkevän asennustavan. Ensimmäisessä kerroksessa ovat kaapelikellari, akustotila, ilmanvaihdon tekniikkatila, apusähköhuone ja käytävä-/varastotila. Kaapelikellarin kautta tuodaan suurjännitekaapelit rakennuksen sisälle ja sieltä välipohjan läpi GIS-kojeiden alle. Kaapelikellarin kautta kaapeloidaan myös kiinteistön ja piha-alueen talo- ja tietotekniikkajärjestelmien kaapeleita. Akustotilassa sijaitsee sähköaseman turvallisen toiminnan kannalta oleellinen tasajänniteakusto. Apusähkötilassa sijaitsevat akuston tasajännitekeskukset ja

latauslaitteet sekä muita kiinteistön sähkökeskuksia, kuten pää-, kiinteistösähkö ja valvonta-automaatiokeskukset. Ilmanvaihdon tekniikkatilassa on kiinteistön pääilmanvaihtokone ja päävesimittaus. Käytävälle on sijoitettu joitain kiinteistön toiminnan ja turvallisuuden kannalta olennaisia keskuksia ja laitteita, kuten paloilmaisin-, kulunvalvonta- ja savunpoistokeskukset. Varaston tarkoituksena on toimia tilana, jossa voidaan säilyttää sähköasematyöskentelyssä tarvittavia työkaluja, kuten maadoitussarjoja.

Toisessa kerroksessa sijaitsevat GIS-halli ja rele- ja valvomotila. GIS-hallissa sijaitsevat ainoastaan kaikki GIS-kojeet. GIS-kojeille kaikki kaapeloinnit tulevat alhaalta päin kaapelikellarin kautta. Hallin katossa on pieni nosturi asennus- ja korjaustöitä varten. Rele- ja valvomotilassa sijaitsevat GIS-kojeita ohjaavat relelaitteistot sekä koko sähköasemaa palveleva valvomo. Kuvassa 3 on suunnitteluprojektissa 3D-mallinnettu GIS-rakennus.



KUVA 3. Työhön liittyvään kohteeseen laadittu 3D-mallinnus GIS-rakennuksesta

### 5.1.2 GIS-kojeet

GIS-kojeet ovat katkaisijoita, joita käytetään enimmäkseen suurjännitetekniikassa. Katkaisija on laite, jota käytetään virtapiirin sulkemiseen ja avaamiseen. Katkaisijat voivat toimia sekä käsiohjauksella että automaattisesti releiden ohjaamina. Yleisin automaattitoiminto on katkaisijan avaaminen ylivirran

vaikutuksesta. Katkaisijat sekoitetaan tyypillisesti kytkimien kanssa samaksi laitteeksi. Sähkötekniikassa nämä kaksi termiä tarkoittavat kuitenkin ominaisuuksiltaan erilaisia laitteita. Oleellinen ero katkaisijan ja kytkimen välillä on niiden virtapiirin katkaisukyky. Katkaisijan ominaisuuksiin kuuluu sen kyky avata ja sulkea virtapiiri vaurioitumatta nimellisvirtaa suuremmillakin virroilla, esimerkiksi oikotai maasulkuvikatapauksissa. Kytkimet taas on suunniteltu virtapiirien avaamiseen ja sulkemiseen nimellisvirralla. Kytkimissä ei yleensä myöskään ole automaattiohjaustoimintoja. Pääasiassa kytkimiä käytetään pienjännitelaitteistoissa. (Elovaara & Laiho 2007, 245–246.)

Katkaisijoissa virtapiirin avaus ja sulkeminen tapahtuu katkaisukammiossa. Katkaisijat voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin katkaisukammiossa käytettävän väliaineen mukaan:

- ilmakatkaisijat,
- öljykatkaisijat,
- vähäöljykatkaisijat,
- paineilmakatkaisijat,
- SF<sub>6</sub>- tai yleisemmin kaasukatkaisijat ja
- tyhjiökatkaisijat.

Kaikkia mainittuja katkaisijatyyppejä on käytössä yhä. Suurilla jännitteillä kaasukatkaisijat ovat syrjäyttäneet lähes täysin muut katkaisijatyypit. (Elovaara & Laiho 2007, 246.)

GIS-kojeet kuuluvat kaasukatkaisija ryhmään, jossa katkaisukammion väliaineena on käytetty tyypillisesti SF<sub>6</sub>-rikkiheksafluoridi-kaasua tai kaasuseosta, jossa SF<sub>6</sub>-kaasuun on lisätty tyyppiä kaasun nesteytymisen välttämiseksi. SF<sub>6</sub>-katkaisijalla on monien hyvien teknisten ominaisuuksien lisäksi muitakin etuja muihin katkaisijatyyppeihin nähden. Näitä ovat taloudellisuus ja pienempi tilan tarve. (Elovaara & Laiho 2007, 259.)

SF<sub>6</sub>-kaasu on kasvihuonekaasu, minkä vuoksi se ei ole lainkaan ympäristöystävällistä. Kyseisen kaasun hajoamisaika on yli 3000 vuotta. SF<sub>6</sub>-kaasua käytetään sähkötekniikassa sen hyvän eristyskyvyn vuoksi, sillä on kolme kertaa ilmaa parempi sähköeriste. Hyvä eristävyys tarkoittaa käytännössä pienempää tilantarvetta. Pienemmän kaasun määrän vuoksi laitteet tarvitsevat vähemmän tilaa ja tämä on yksi taloudellisen edun selittävä tekijä. Ympäristönsuojeluyistä SF<sub>6</sub>-kaasusta kuitenkin pyritään pääsemään eroon. Uusia innovaatioita tulee eri suunnista maailmalta. Sähköalan kirjallisuudesta ei vielä löydy kovin paljon tutkittua tietoa näistä uusista eristekaasuista. Esimerkiksi Schneider Electric ja Siemens ovat tuoneet markkinoille kaasueristeisiä katkaisijoita, joissa eristeenä käytetään puhdasta ilmaa.

Schneider Electricin Pure Air tekniikka perustuu ilman ja tyhjiötekniikan yhdistelmään. (Uusi innovaatio syrjäyttää ilmastopahiksena tunnetun SF<sub>6</sub>-kaasun 2022.)



KUVA 4. Siemensin SF<sub>6</sub>-vapaa kaasueristeinen kojeisto (For a greener Finland: Siemens Energy seals largest order for SF<sub>6</sub>-free gas-imsulated switchgear in Europe 2021)

## 5.2 Suojausmenetelmät

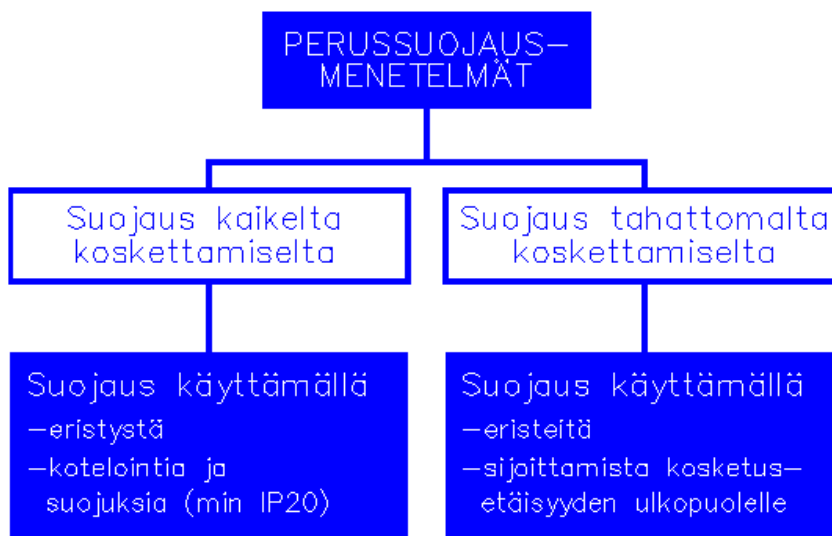
Kiinteistösähkölaitteistot ovat pienjännitteellä toimivia järjestelmiä, jonka vuoksi niitä koskevat suojausmenetelmät on esitetty pääosin standardisarjassa SFS 6000 pienjännitesähköasennukset. Suujänniteasennuksia koskevassa SFS 6001-standardissa on lisäksi muutamia vaatimuksia liittyen tasa- ja vaihtosähkösyöttöihin osana apu- ja ohjausjärjestelmiä. Suojausmenetelmällä tarkoitetaan niitä ratkaisuja, joilla suojaudutaan sähköenergian aiheuttamilta vaaroilta. Standardissa SFS 6000 suojausmenetelmät on jaettu neljään pääluokkaan, jotka ovat suojaus sähköiskulta, suojaus lämmön vaikutuksilta, ylivirtasuojaus ja suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä. Nämä kaikki standardin kohdat on otettava huomioon suunniteltaessa GIS-rakennuksen kiinteistösähkölaitteistoja sekä asema-alueen pienjännitejärjestelmiä.

### 5.2.1 Suojaus sähköiskulta

Standardin SFS 6000 osa 4–41 perustuu kansainväliseen standardiin SFS-EN 61140, jossa sähköiskulta suojaamisen peruseräite määritellään niin, että ihmisille tai eläimille vaaralliset jännitteiset osat eivät saa olla kosketeltavissa, ja kosketeltavat osat eivät saa tulla vaarallisesti jännitteisiksi normaaliolosuhteissa ja yhden vian olosuhteissa. Normaaliolosuhteissa suojaus saavutetaan perussuojauksen menetelmillä ja yhden vian olosuhteissa vikasuojauksen menetelmillä. Vaihtoehtoisesti suojaus voidaan toteuttaa lisäsuojausmenetelmillä. (SFS 6000-4.410 2022.)

Perussuojaus tarkoittaa suojausta, jossa estetään ihmistä joutumasta kosketuksiin jännitteisten osien kanssa sähkölaitteiston normaaliolosuhteissa, eli ei vika tilanteissa. Perussuojausmenetelmät voidaan jakaa kahteen pääluokkaan, jotka on esitetty taulukossa 1 (Tiainen 2022, 72–73). GIS-rakennus on luokiteltu kokonaan sähkötilaksi, mikä tarkoittaa sitä, että rakennukseen on pääsy vain sähköalan ammattilaisella tai opastetulla henkilöllä tai henkilöillä ammattihenkilön tai opastetun henkilön valvonnassa. Sähkötilaluokitus mahdollistaa käyttämään suojaustoimenpiteenä esteiden käyttämisen tai jännitteisten osien sijoittamisen kosketusetäisyyden ulkopuolelle (Tiainen 2022, 72–73). Kokonaisturvallisuuden kannalta on kuitenkin aina suotavaa käyttää suojausta kaikelta koskettamiselta. Osittainen suojausien väliaikainen purkaminen voi tulla kyseeseen esimerkiksi joissain koekäyttö- tai mittaustilanteissa.

TAULUKKO 1. Perussuojausmenetelmät (Tiainen 2022, 73)





Vikatilanteen suojaus perustuu jännitteelle alttiiden osien suojamaadoittamiseen, suojaavaan potentiaalintasaukseen ja syötön automaattiseen poiskytkentään vian takia. Suojamaadoitus täytyy tehdä kyseessä olevan maadoitustavan vaatimusten mukaisesti. Maadoituksia ja potentiaalintasauksia on käsitelty tarkemmin kohdassa maadoitukset. Syötön automaattinen poiskytkentä on toteuttava niin, että suojalaite katkaisee jännitteensyötön piirin tai laitteen äärijohtimista standardissa vaaditussa ajassa. (SFS 6000-441.3.1–2 2022.)

Sähkösuunnittelijan on varmistettava vikasuojauksen toimivuus laskennoilla sähkölaitteistoa suunniteltaessa. Suojaustoimintoja laskiessa ja tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon useita eri asioita. Suojaus- ehtoja tarkistaessa on otettava huomioon valitun suojalaitteen pienin sallittu oikosulkuvirta, jolla suojalaite toimii vaaditussa ajassa. Oikosulkuvirran suuruuteen ryhmän kauimmaisella pisteellä vaikuttaa syöttävän muuntajan koko ja muuntajan ja ryhmän kauimmaisen pisteen välillä olevien kaapeleiden pituudet ja poikkipinta-alat. Suunnittelijan tehdessä laskentoja ei välttämättä ole muuntajan koko ja sijainti vielä tarkalleen tiedossa, ja sen vuoksi ei ole saatavilla todellisia oikosulkuvirta arvoja. Todellisten oikosulkuvirtojen käyttäminen sisältää myös sen riskin, että verkkoyhtiön muuntopiiriin tulee myöhemmin muutoksia, jolloin oikosulkuvirrat saattavat muuttua. Näiden syiden vuoksi on mitoituksissa järkevää käyttää taulukoissa annettuja oikosulkuvirta-arvoja. Taulukoissa sähköliittymien mitoitusoikosulkuvirrat perustuvat liittymän kokoon ja annettu oikosulkuvirta arvo on vähimmäisarvo, jolloin suunnitelmien laskennoissa ollaan turvallisella puolella.

### **5.2.2 Suojaus lämmön vaikutuksilta**

Suojaus lämmön vaikutuksilta ja ylivirtasuojaus liittyvät osaltaan toisiinsa sähköenergian aiheuttaman lämmön vaikutusten vuoksi. Standardissa SFS 6000 ja D1-käsikirjassa näitä suojausmenetelmiä käsitellään kuitenkin omina erillisinä kohtinaan. Standardissa SFS 6000 luvussa 420.1 vaatimukset suojaukseen lämmön vaikutuksilta määritellään niin, että ihmisten, kotieläinten ja omaisuuden suojaamiseksi sähkölaitteisto on suojattava:

- lämpöilmiöiltä, materiaalien palamiselta, syttymiseltä tai huononemiselta ja sähkölaitteiden aiheuttamilta palovammoilta,
- liekeiltä silloin, kun palovaara leviää sähköasennuksista muihin lähellä oleviin palo-osastoihin,
- asennettujen sähkölaitteiden mukaan luettuna turvajärjestelmien turvallisen toiminnan huonon- tumiselta. (SFS 6000-420.1 2022.)

GIS-rakennuksissa on paljon sähkötekniikkaan liittyviä laitteita, jotka itsessään tuottavat huoneisiin paljon lämpöenergiaa. Rakennuksen tilojen jäähdyttäminen ja lämpötilojen jatkuva automaattinen seuraaminen ovat turvallisen toiminnan kannalta tärkeitä huomioitavia asioita. Kaapelikellari on tila, jossa lämpöä tuottavia laitteita ei sijaitse, ja siellä huonelämpötilakin saa olla normaalia alhaisempi. Suomen vaihtelevan ilmaston vuoksi rakennukseen on kuitenkin suunniteltava ja asennettava lämmitysjärjestelmä. Lämmitysenergian suhteellisen pienen tarpeen vuoksi taloudellisin tapa tuottaa lämpöä on suora sähkölämmitys. Lämmitysjärjestelmän mitoittamisen alkutiedoiksi tarvitaan tilojen energialaskennat. Energialaskentojen perusteella voidaan mitoittaa tiloihin riittävän tehokas lämmitysjärjestelmä.

Suojaus lämmön vaikutuksilta asettaa vaatimuksia sähkölaitteiden valinnalle, sijoittamiselle, ohjaamiselle ja mitoittamiselle. Jos GIS-rakennuksessa on palovaaralliseksi luokiteltuja tiloja, on niiden suunnittelussa otettava huomioon standardissa SFS 6000 kohdan 422 vaatimukset. Lisäksi rakennuksessa on uloskäytäviksi luokiteltuja poistumisreittejä, joita käsitellään samassa 422 luvussa omana kohtanaan. Vaatimukset vaikuttavat sähkölaitteiden valinnan lisäksi käytettäviin suojalaitteisiin. Joissain tapauksissa ryhmäjohdot ja sähkölaitteet on lisäsuojattava vikavirtasuojalla. (SFS 6000-422 2022.)

### 5.2.3 Ylivirtasuojaus

Ylivirtasuojaus koostuu ylikuormitussuojauksesta tai oikosulkusuojauksesta tai näiden yhdistelmästä. Ylivirtasuojauksen tarkoitus on suojata jännitteiset johtimet ylivirralla. Ylivirta voi aiheuttaa vaurioita johtojen eristeessä, johtimissa, jatkoksissa ja liittimissä sekä välillisesti aiheuttaa vaaraa muille ympäröiville materiaaleille termisten tai mekaanisten ilmiöiden vuoksi. Standardissa SFS 6000 kohdassa 4–43 määritellään, miten äärijohtimet suojataan ylikuormitukselta ja oikosululta yhdellä tai useammalla syötön automaattisesti poiskytkevällä suojalaitteella. (SFS 6000-430.1–3 2022.)

Ylikuormitussuojauksen ja oikosulkusuojauksen oleellisin ero on siinä, että ylikuormitussuoja suojaa ryhmän johtimia ylikuormittumiselta normaaleissa käyttöolosuhteissa, kun taas oikosulkuoja hoitaa ryhmän johtimien suojauksen vikaolosuhteissa. Esimerkki ylikuormitussuojan toimimisesta voi olla tilanne, jossa pistorasia ryhmään kytketään liian monta laitetta, jolloin ryhmän sallittu maksimivirta ylittyy ja ylivirtasuoja katkaisee äärijohtimien jännitteen vaadituissa rajoissa. Esimerkki oikosulkusuojauksen toimimisesta voi olla tilanne, jossa ryhmään kytketyssä laitteessa on äärijohtimen ja maan välinen vika, joka aiheuttaa piirissä oikosulun, tällöin oikosulkusuojan on katkaistava äärijohtimien jännitteet vaadituissa rajoissa.

Pääsääntöisesti kiinteistöjen pienjänniteasennuksissa suojalaitteet toimivat sekä ylikuormitussuojana että oikosukusuojana. Samalla ylikuormitussuoja toimii myös vikasuojana, jolloin sen valinnassa täytyy ottaa huomioon standardin SFS 6000 kohdan 41 vaatimukset. Tapauksissa, joissa sama suojalaite toimii sekä ylikuormitussuojana että oikosulkusuojana, on suojalaite mitoitettava ylikuormituksen suojaamiseen, eli sen on suojattava kyseisen ryhmän johtojen ylikuormittuminen. Tällöin oikosulkusuojaus toteutuu samalla, mikäli suojana toimivan suojalaitteen katkaisukyky on riittävä. Katkaisukyvyllä tarkoitetaan sitä, kuinka suuren prospektiivisen oikosulkuvirran suojalaite kykenee katkaisemaan vaurioitumatta. (Tiainen 2022, 132.)

Pääsääntöisesti johtimille on asennettava ylikuormitussuojaus ja oikosulkusuojaus. Standardissa SFS 6000 annetaan joitain poikkeuksia, jolloin suojauksia voidaan jättää pois. GIS-rakennuksen osalla ylikuormitussuojan poisjättämistä voidaan harkita esimerkiksi savunpoistojärjestelmän kohdalla, joka voidaan katsoa osaksi palonsammutusjärjestelmää. Vaihtoehto ylikuormitussuojan poisjättämiselle on ylikuormitushälytyksen käyttöönotto, eli toiminto, jossa ylikuormitussuojan toiminnasta saadaan hälytys. Hälytys voidaan välittää eteenpäin tarvittavien toimenpiteiden tekemistä varten. (Tiainen 2022, 132.)

#### **5.2.4 Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä**

Suunnittelussa on otettava huomioon pienjänniteasennusten suojaaminen suurjännitejärjestelmien maasulkujen aiheuttamilta tilapäisiltä ylijännitteiltä ja pienjännitejärjestelmän vikojen vaikutuksilta (SFS 6000-440 2022). Standardin SFS 6000 kohta 442 määrittelee pienjänniteasennuksia koskevia vaatimuksia ihmisten, kotieläinten ja laitteiden turvallisuudelle tilanteissa, kun pienjänniteasennuksia syöttävällä muuntamolla sattuu vika suurjännitejärjestelmän ja maan välillä (SFS 6000-440.1 2022).

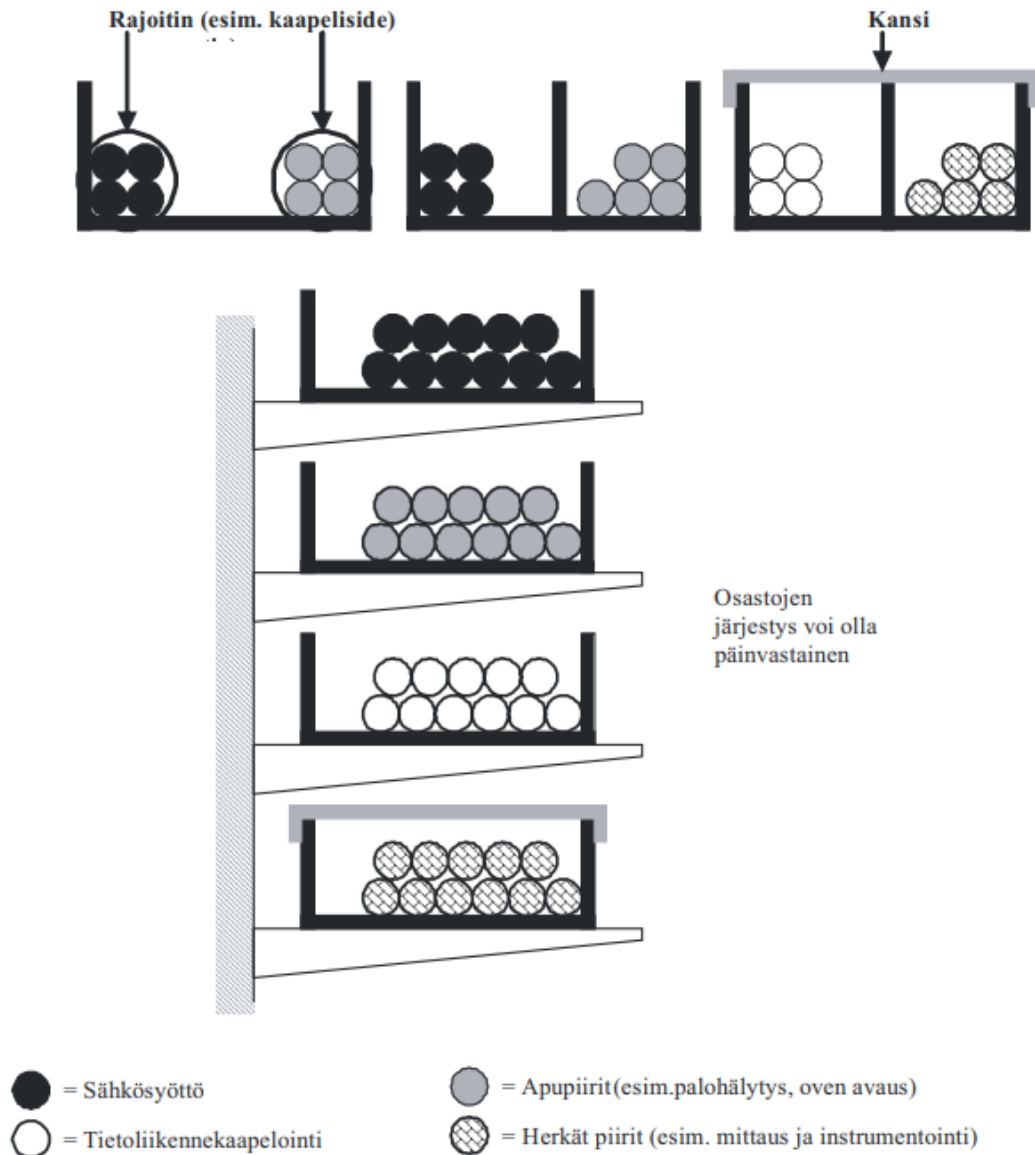
Standardin SFS 6000 kohta 442 koskee lähinnä muuntamoiden suunnittelijoita ja asentajia (SFS 6000-442.1.1). GIS-rakennuksen kiinteistösähkösuunnittelijan on kuitenkin huomioitava suunnitelmissa, onko pienjännitemaadoitukset yhdistetty suurjännitemaadoituksien kanssa. Jos pienjännitejärjestelmä rajoittuu kokonaan suurjännitemaadoituksen kattamalle alueelle, molemmat maadoitusjärjestelmät tulee kytkeä yhteen, vaikka kyseessä ei ole laaja maadoitusjärjestelmä (SFS 6001-11.1.2 2018).

Sähkömagneettiset häiriöt (electromagnetic interferences EMI) voivat häiritä tai vahingoittaa prosessi-järjestelmiä, ohjaus- ja valvontajärjestelmiä, yhteisantenniverkkoja tai tietotekniikan järjestelmiä. Ylijännitteitä ja sähkömagneettisia häiriöitä voivat aiheuttaa salamoiden, kytkentätoimenpiteiden, oikosulkujen ja muiden sähkömagneettisten ilmiöiden aiheuttamat virrat. Voimakkaapelit, joissa kulkee suuria virtoja, voivat indusoida ylijännitteitä ohjaus-, säätö-, mittaus- ja tietoliikennekaapeleihin, jotka voivat tämän myötä aiheuttaa vahinkoa niihin liitettyihin järjestelmiin. (SFS 6000-444.0 2022.)

Standardissa SFS 6001 sähkömagneettisia häiriöitä käsitellään enemmän suurjännitetekniikan näkökulmasta. Häiriöt voivat johtua suurjännitelaitteistoihin johtumalla, kapasitiivisesti, indusoitumalla tai säteilemällä. Häiriöiden aiheuttajia käsitellään kahdessa eri pääluokassa, suurtaajuiset häiriölähteet ja pientaajuiset häiriölähteet. Tärkeimpiä häiriövaikutuksia vähentäviä toimenpiteitä käsitellään myös omina osiinaan. Lisäksi standardissa annetaan vaatimuksia ja suosituksia laitteiden valintoihin ja muita yleisiä toimenpiteitä häiriöiden vähentämiseksi. (SFS 6001-9.6 2018.)

Sähköasemalla GIS-rakennuksen kiinteistösähkösuunnittelijan ja sähköaseman suurjännitetekniikan suunnittelijan on yhteensovitettava molemmat järjestelmät. Yksi yhteensovittamisen tärkeistä kohdista on juuri sähkömagneettisten häiriöiden huomioiminen. Kiinteistön johtoteiden suunnittelu voi olla kiinteistösähköjä suunnittelevan vastuulla. Johtotiet on järjestelmässä yksi merkittävä yksityiskohta, jossa sähkömagneettiset häiriöt indusoiduvat järjestelmästä toiseen. Kuvassa 5 on esitetty esimerkki siitä, kuinka eri järjestelmien asennukset tulisi tehdä johtoteille häiriöiden vähentämiseksi. Johtoteiden maadoituksissa on huomioitava kaikkien metalliosien liittäminen potentiaalintasaukseen.

Standardin SFS 6000 luvussa 444.4.2 esitetään pienjännitesähköasennusten osalta toimenpiteitä, joilla voidaan vähentää sähkömagneettisia häiriöitä. Toimenpiteet koskevat sekä häiriön aiheuttajia että myös häiriöherkkiä järjestelmiä. Suojausta voidaan tehdä molemmin päin. Johtoteiden suunnittelussa on hyvä ottaa huomioon induktiivisten silmukoiden syntymisen estäminen käyttämällä voima- ja tietoliikennekaapeleille samoja reittejä, kuitenkin niin, että kaapelit kulkevat eri tasoilla omilla johtoteilla ja johtoteiden välinen korkeus ero on riittävä. Kaapelien valinnassa suositellaan käytettävän konsentrisella johtimella varustettuja kaapeleita, joiden avulla vähennetään suojajohtimeen indusoituneita virtoja. Mikäli kohteeseen on suunniteltu salamasuojajärjestelmä, on sitä varten standardissa annettu erikseen muutama toimintatapa häiriöiden vähentämiseen. (SFS 6000-444.4.2 2022.)



KUVA 5. Esimerkki järjestelmien asennuksesta johtoteille (SFS 6000 44.R.17 2022)

### 5.3 Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen

Sähkölaitteiden valintaan ja asentamiseen liittyviä vaatimuksia, ohjeita ja suosituksia esitetään SFS 6000-standardissa osassa 5 ja SFS 6001-standardissa osassa 6. Näiden kansallisten standardien lisäksi tilaajalla tai käyttäjällä voi olla omia lisävaatimuksia ja -ohjeistuksia. Suunniteltaessa hanketta Fingrid:lle on heillä esimerkiksi useita eri ohjeita, jotka vaikuttavat sähkölaitteiden valintaan ja asentamiseen. Suunnittelun alkuvaiheessa onkin johdonmukaisen suunnitteluprojektin onnistumiseksi järkevää

sopia tilaajan asiantuntijoiden tai edustajien kanssa, mitä erillisiä ohjeistuksia suunnittelussa on noudatettava. Sähkölaitteiden oikeilla valinnoilla ja asentamisella pyritään turvalliseen kokonaisuuteen. Standardien mukaiset toimintatavat tekevät asennuksista yhdenmukaisia ja selkeitä ja mahdollistavat laitteiden ja asennusten huoltamisen ja korjaamisen sekä myöhemmin tehtävät muutokset ja lisäykset

### 5.3.1 Yleistä

GIS-rakennuksessa kiinteistösähköihin sisältyviä sähkölaitteita ovat muun muassa valaisimet, asennuskalusteet (pistorasiat, kytkimet, jakorasiat, turvakytkimet, yms.), kaikki johtojärjestelmät ja keskuskeskukset. Laittevalinnoissa on huomioitava käyttöominaisuudet ja ulkoisten tekijöiden vaikutukset. Käyttöominaisuuksia ovat muun muassa jännite, virta, taajuus, teho ja laitteiden yhteensopivuus. Ulkoisia tekijöitä ja niiden vaikutuksia on esitetty standardissa SFS 6000 liitteessä 51A. (SFS 6000-512 2022.)

GIS-rakennuksen kiinteistösähköjen osalta merkittävimpiä erityispiirteitä ulkoisten tekijöiden huomioimiseksi ovat sähkömagneettiset, sähköstaattiset tai ionisoivat vaikutukset (SFS 6000 Taulukko 51A.1 2022). Näiden tekijöiden tarkemmat kuvaukset, laitteiden valintaan ja asentamiseen vaadittavat ominaisuudet ja viittaukset on esitetty taulukossa SFS 6000 Taulukko 51A.2 kohdassa AM.

GIS-rakennuksessa kiinteistösähköihin liittyviä sähkölaitteita on suhteellisen vähän. Rakennus sisältää kaikkienensa paljon erilaisia laitteita, mutta suurin osa niistä sisältyy suurjännitetekniikkaan ja ne eivät näin ollen kuulu kiinteistösähköjä suunnittelevan suunnittelijan työhön. Rakennuksessa on myös joi-tain talotekniikkaan sisältyviä laitteita, jotka sisältyvät LVI-suunnitteluun. Näissä tapauksissa laitevalinnan ja asennuksen ohjeistuksen tekee sen alan suunnittelija. Sähkösuunnittelijalle kuuluu suunnitella näille laitteille muun muassa johtotiet, kaapeloinnit, kytkentä kalusteet, suojaukset ja ohjaukset. Johtojärjestelmät ja maadoitukset ovat kokonaisuuksia, joita GIS-rakennuksessa on paljon ja niissä on paljon huomioitavia vaatimuksia ja suosituksia.

Sähkölaitteiden yksilöity tunnistaminen muodostaa osan sähköturvallisuudesta. Huolellisesti ja yhdenmukaisesti tehdyt laitteiden yksilöintimerkinnot helpottavat etenkin laitteiden huolto- ja korjaustöitä. Sähkölaitteiden tunnistamiseen ja dokumentointiin annetaan hyviä ohjeita ja suosituksia D1-Käsikirjassa kohdassa 514. Fingrid:llä on lisäksi oma ohjeistus S22160E1 Tunnusjärjestelmät ja merkinnät, jossa annetaan ohjeet tunnuksien käytöstä Fingrid:n omistamilla sähköasemilla.

### 5.3.2 Johtojärjestelmät

Standardissa SFS 6000 johtojärjestelmä määritellään kokonaisuudeksi, joka muodostuu paljaista tai eristetyistä johtimista, kaapeleista tai virtakiskoista sekä kaikkien näiden osista, jotka kiinnittävät ja tarvittaessa suojaavat koteloinnilla johtimet, kaapelit tai virtakiskot (SFS 6000-520.3.1). Johtojärjestelmien suunnittelussa on otettava huomioon useita eri vaikuttavia tekijöitä, joita ovat muun muassa ulkoiset olosuhteet, asennustavat, kuormitettavuus, poikkipinta-alat, jännitteenalenema, liitokset, paloturvallisuus, muut laitteet ja järjestelmät sekä huollettavuus.

Pienjännitesähköasennusten johtojärjestelmien vaatimukset, ohjeet ja suositukset on annettu standardissa SFS 6000 kohdassa 5–52. Suurjännitesähköasennusten osalta kaapeleita käsitellään standardin SFS 6001 kohdassa 6.2.9. Kaapeleiden valintaan annetaan vaatimuksia myös EU:n rakennustuoteasetuksessa (305/2011). Näiden lisäksi voi sähkölaitteiston haltijalla olla omia tarkentavia ohjeistuksia. Fingrid:n omistamilla sähköasemilla lisävaatimuksia antaa ohje S22650E1 Kaapelit, johdotus ja kaapelien asennus.

Johtojärjestelmien suunnittelu kuuluu sähkösuunnittelijan päivittäiseen työnkuvaan. Huomioon otettavia asioita on pohdittava useasta eri näkökulmasta ja niiden perusteella on valittava kulloinkin sopivimmat ratkaisut. Ratkaisuissa on pyrittävä ottamaan huomioon teknisten ratkaisuiden lisäksi taloudelliset vaikutukset. Esimerkiksi valitsemalla aina yhtä pykälää suurempi kaapelin poikkipinta, voidaan päästä vähemmällä laskemisella, mutta taloudellisesti valinta ei ole aina järkevä.

Kaapelien valinnassa on otettava huomioon niiden käyttäytyminen tulipalotilanteessa. Nämä vaatimukset koetaan usein haastaviksi ymmärtää monimutkaisten ja pitkien tunnuksien vuoksi. Kaapelit luokitellaan paloon osallistumisen, savun tuottamisen, putoavien pisaroiden tai partikkeleiden ja vapautuvien happojen ja syövyttävien palokaasujen mukaan. Kaapelien lukitukset, merkinnät ja selitykset on esitetty taulukossa 2. (SFS 6000-Liite 52X.2.)

TAULUKKO 2. Kaapelien palotekninen luokittelu (SFS 6000-Liite 52X.2)

<b>Kaapelien palotekninen luokittelu</b>	
<b>Palokäyttäytymisen perusteella</b>	
<b>Luokka</b>	<b>Selite</b>
A <sub>ca</sub>	Korkein luokka, johon ei voi yhdistää mitään lisäluokkia. Mineraalieristeinen erikoiskaapeli, joka ei osallistu paloon tai osallistuu siihen erittäin rajoitetusti.
B1 <sub>ca</sub>	Järjestyksessä ylhäältä alas niin, että korkeimman vaatimuksen omaava luokka on ylimpänä.
B2 <sub>ca</sub>	
C <sub>ca</sub>	
D <sub>ca</sub>	
E <sub>ca</sub>	
F <sub>ca</sub>	
<b>B1<sub>ca</sub>, B2<sub>ca</sub>, C<sub>ca</sub>, D<sub>ca</sub> yhdistetään aina johonkin seuraavista lisäluokista</b>	
<b>Lisä-luokka</b>	<b>Selite</b>
s1	Kaapelista saa vapautua hyvin rajoitettu määrä savua.
s2	Kaapelista saa vapautua rajoitettu määrä savua.
s3	Ei vaatimuksia savun vapautumiselle, mutta ominaisuus testataan, jos se halutaan ilmoittaa.
d0	Kaapelista ei saa pudota palavia pisaroita tai partikkeleita
d1	Kaapelista saa pudota rajoitettu määrä palavia pisaroita tai partikkeleita
d2	Ei rajoituksia palavien pisaroiden ja partikkeleiden vapautumiselle, mutta ominaisuus testataan, jos se halutaan ilmoittaa.
<b>B1<sub>ca</sub>, B2<sub>ca</sub>, C<sub>ca</sub>, D<sub>ca</sub> voidaan yhdistää johonkin seuraavista lisäluokista</b>	
<b>Lisä-luokka</b>	<b>Selite</b>
a1	Kaapelista saa vapautua hyvin rajoitettu määrä happoja ja syövyttäviä palokaasuja.
a2	Kaapelista saa vapautua rajoitettu määrä happoja ja syövyttäviä palokaasuja.
a3	Ei vaatimuksia happojen ja syövyttävien palokaasujen vapautumiselle, mutta ominaisuus testataan, jos se halutaan ilmoittaa.
<b>Lisähuomiot:</b>	
Luokassa E <sub>ca</sub> kaapelista testataan vain sen itsestään sammuvuus yksittäisenä kaapelina, eikä siihen voi yhdistää mitään edellä mainittua lisäluokkaa.	
Luokka F <sub>ca</sub> tarkoittaa, että suoritustasoa ei ole määritelty.	



Standardissa SFS 6000 suositellaan, että Suomessa käytettäisiin seuraavia luokkia:  $C_{ca-s1}$ ,  $d1$ ,  $a2$ ;  $D_{ca-s2}$ ,  $d2$ ,  $a2$ ;  $E_{ca}$  ja  $F_{ca}$  (SFS 6000-Liite 52X.3). Paremman paloluokan kaapelin käyttö on tietysti aina sallittua. Fingrid:n omistuksessa olevilla sähköasemille kaapeleiden on oltava paloteknisen luokittelun  $D_{ca-s2}$ ,  $d2$ ,  $a2$  täyttäviä (Kaapelit, johdotus ja kaapelien asennus 2020, 3).

GIS-rakennuksen kiinteistösähköjen johtojärjestelmissä erityistä huomiota tulee kiinnittää kaapelijärjestelmän muodostamaan kokonaisuuteen, muihin laitteisiin ja paloturvallisuuteen. Kokonaisuuden huomioimisella tarkoitetaan tässä sitä, että täytyy huomioida muut vieressä olevat kuormitetut kaapelit. Johtojärjestelmät keskittyvät etenkin apusähköhuoneessa keskusten lähellä hyvin pienelle alueelle, jonka vuoksi johtoteillä on paljon kuormitettuja kaapeleita rinnakkain ja johtoteitä on useita päällekkäin. Mitoituksissa on huomioitava standardien taulukoissa annetut korjauskertoimet. Muiden laitteiden huomioimisessa on erityisesti kiinnitettävä huomioita sähkömagneettisten häiriöiden minimoimiseen. Rakennuksessa on paljon eri jännitetason järjestelmiä sekä hyvin herkkiä suurjännitetekniikan mittaus- ja ohjausjärjestelmiä, joissa häiriöt voivat aiheuttaa välillisesti vakavia vaaratilanteita. Paloturvallisuuden näkökulmasta huomion arvoisia ovat palo-osastojen väliset kaapeliläpiviennit.

## 5.4 Maadoitukset

Maadoitukset ovat yhtenä erillisenä kokonaisuutena merkittävä osa sähkölaitteiston turvallisuutta. Maadoitusjärjestelmiä on useampia erilaisia eri käyttötarkoituksiin soveltuvia. Maadoitukset ovat osa toimivaa suojausjärjestelmää. Maadoitukset voidaan jakaa kahteen pääryhmään, jotka ovat suojamaadoitus ja potentiaalintasaus. Pien- ja suurjännitesähköasennusten maadoitukset poikkeavat joltain osaltaan toisistaan. Tässä maadoitukset osiossa käsitellään maadoituksia hieman yleisellä tasolla, pääpainopiste on GIS-rakennuksen ja sähköasema-alueen maadoituksissa.

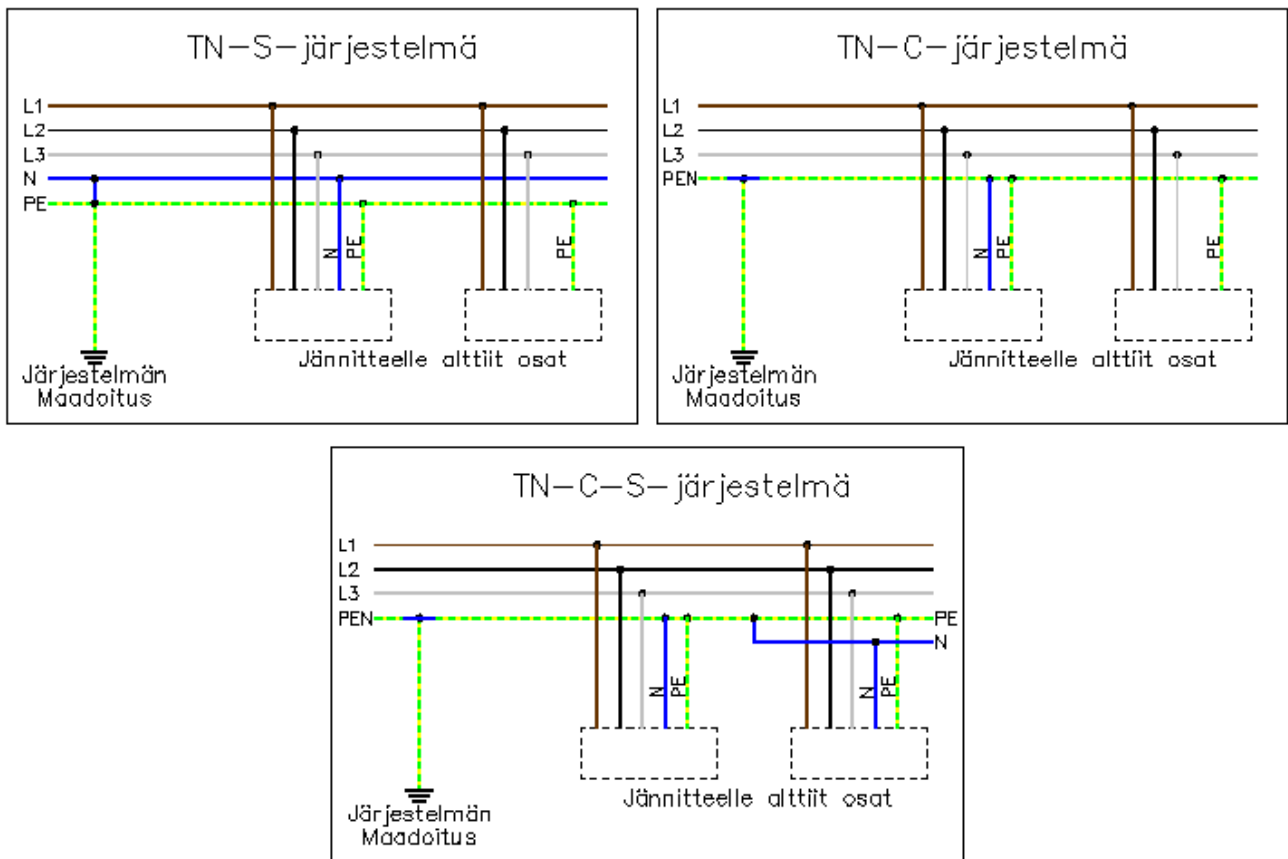
### 5.4.1 Yleistä

Sähtöturvallisuuden kannalta maadoitusten ensisijainen tehtävä on rajoittaa vikatapauksissa esiintyviä kosketusjännitteitä ja askeljännitteitä. Vikatilanne voi syntyä rakennuksen sähkölaitteistossa tai sitä syöttävässä jakeluverkossa. Vikatilanteeksi voidaan katsoa myös ukkosen aiheuttamat ylijännitteet.

Sähköturvallisuuden kannalta muita oleellisia maadoituksen tarkoituksia ovat muun muassa luoda toimintaedellytykset maasulku- ja vikasuojaukselle, estää vaarallisten vuotovirtojen, valokaarien ja kipinäiden syntyminen ja estää vaarallisten jännitteiden siirtyminen järjestelmästä tai laitteesta toiseen. Näiden lisäksi maadoituksella on merkitystä myös häiriösuojaukseen liittyen. (Tiainen 2022, 281.)

Maadoituksiin ja potentiaalintasauksiin liittyy paljon hyvin samanlaisia termejä, joilla on kuitenkin kaikilla oma merkitys. Jotta standardien ja muiden julkaisujen vaatimuksia ja ohjeita tulkitaan oikein, on hyvä selvittää käytettyjen termien määritelmät. Määritelmät on avattu selkeästi esimerkiksi D1-käsikirjassa luvussa 54.1 tai Sähköinfon tuottamassa maadoituskirjassa. Maadoitusjohtimien merkitseminen on turvallisuuden kannalta tärkeää. Maadoittamiseen käytetty johdin voidaan johtimen värin perusteella tunnistaa mihin maadoitusjärjestelmään johdin kuuluu, mikäli väri valinnoissa noudatetaan yleisiä vaatimuksia. Suojajohdin on aina väriltään keltavihreä yhdistelmä, tätä väriyhdistelmää ei saa käyttää mihinkään muuhun tarkoitukseen ja lisäksi suojajohdin on oltava tunnistettavissa koko kaapelin matkalta. (Tiainen, Nurmi & Koivisto 2014, 28.)

Maadoitusjärjestelmän rakenteen valintaan vaikuttaa sähköjärjestelmän maadoitustapa. Maadoitustapojen pää luokat ovat TN-, TT- tai IT järjestelmä. TN-järjestelmä jakautuu vielä kolmeen eri alaluokkaan, jotka ovat TN-S, TN-C ja näiden yhdistelmä TN-C-S. TT-järjestelmää ei käytetä Suomessa lainkaan (SFS 6000-312.2.2 2022). IT-järjestelmää voidaan käyttää esimerkiksi sairaaloiden leikkaussaleissa. TN-järjestelmät ovat yleisimmin käytössä olevat järjestelmät. Karkeasti voidaan jakaa niin, että uusissa asennuksissa TN-C-järjestelmä on käytössä jakeluverkon puolella ja TN-S-järjestelmä pienjänniteliittymien jälkeisissä asennuksissa. Keskeisin ero näiden kahden järjestelmän välillä on suoja- ja nollajohtimen välinen yhteys. TN-C-järjestelmässä on PEN-johdin, joka toimii sekä suoja- että nollajohtimena. TN-S-järjestelmässä on erilliset PE ja N johtimet. Uusissa rakennuksissa TN-S-järjestelmää tulee käyttää liittymiskohdasta (pääkeskuksesta) eteenpäin (SFS 6000-444.4.3.2 2022). TN-järjestelmien periaatepiirustukset on esitetty kuvassa 6.



KUVA 6. Periaatepiirustukset TN-järjestelmistä (Tiainen 2022, 57–59)

Pienjänniteliittymissä verkkoyhtiön mittaus on yleisesti pääkeskuksessa, jolloin liittymispiste määritellään hyvin yksiselitteisesti liittymiskaapelin kytkentäpisteeseen. GIS-rakennuksissa apusähköjärjestelmien energia voidaan ottaa sähköaseman omakäyttömuuntajan kautta tai normaalina pienjänniteliittymänä paikalliselta jakeluverkkoyhtiöltä. Mikäli liittymä otetaan paikalliselta jakeluverkkoyhtiöltä, tulee verkkoyhtiön edustajalla olla pääsy heidän omistamalle liittymän päämittarille. Tästä syystä päämittaus pyritään sijoittamaan sähköaseman ulkopuolelle, jotta pääsy mittarin luokse on helpompi järjestää. (LIITE 1.)

Fingrid:n apusähköjärjestelmien pääkaavion S22620L8.2 mukaisesti liittymispiste tulkitaan pääkeskukselle rakennuksen sisälle, vaikka mittauspiste on ulkona erillisessä mittauskeskuksessa. Näin ollen mittauskeskuksen ja pääkeskuksen välinen osuus on TN-C järjestelmää ja pääkeskuksen jälkeiset osat TN-S järjestelmää.

Maadoitusjärjestelmissä keskeisimpiä käytettyjä määritelmiä ovat maadoituselektrodi, suojamaadoitus, toiminnallinen maadoitus ja potentiaalintasaus. Maadoituselektrodi on järjestelmän se johtava osa, joka

on yhteydessä maahan. Maadoituselektrodilla voidaan toteuttaa yhteys maahan joko suoraan tai johtavan aineen esimerkiksi betonin välityksellä. Maadoituselektrodissa ei kulje normaalitilanteessa virtaa, joten sen poikkipinta mitoitetaan lähtökohtaisesti mekaanisen kestävyuden ja korroosiokestävyyden perusteella. Suojamaadoituksella tarkoitetaan sähköjärjestelmän tai -asennuksen pisteen maadoittamista suojauksen takia. Se liittyy siis olennaisesti sähköiskulta suojaamiseen. Toiminnallisella maadoituksella tarkoitetaan sähköjärjestelmän-, laitteen- tai asennuksen pisteen tai pisteiden maadoittamista muun syy kuin sähköiskulta suojaamisen vuoksi. Muu syy voi olla esimerkiksi järjestelmän häiriösuojaus. Suojamaadoitus ja toiminnallinen maadoitus voivat olla yhdistetty järjestelmä. Potentiaalintasaus on johtavien osien väliin muodostettu sähköinen yhteys, jolla saavutetaan tasapotentiaali. Potentiaalintasaus yhdistetään maadoituksiin. Oleellisin eropotentialitasauksella suojamaadoitukseen verrattuna on, että potentiaalintasausta tehdään jännitteelle alttiisiin osiin ja niiden suojajohtimiin sekä muihin johtaviin osiin, kun taas suojamaadoitus tehdään pääasiassa pelkästään jännitteelle alttiisiin osiin. (Tiainen 2014, 14–17, 21–22.)

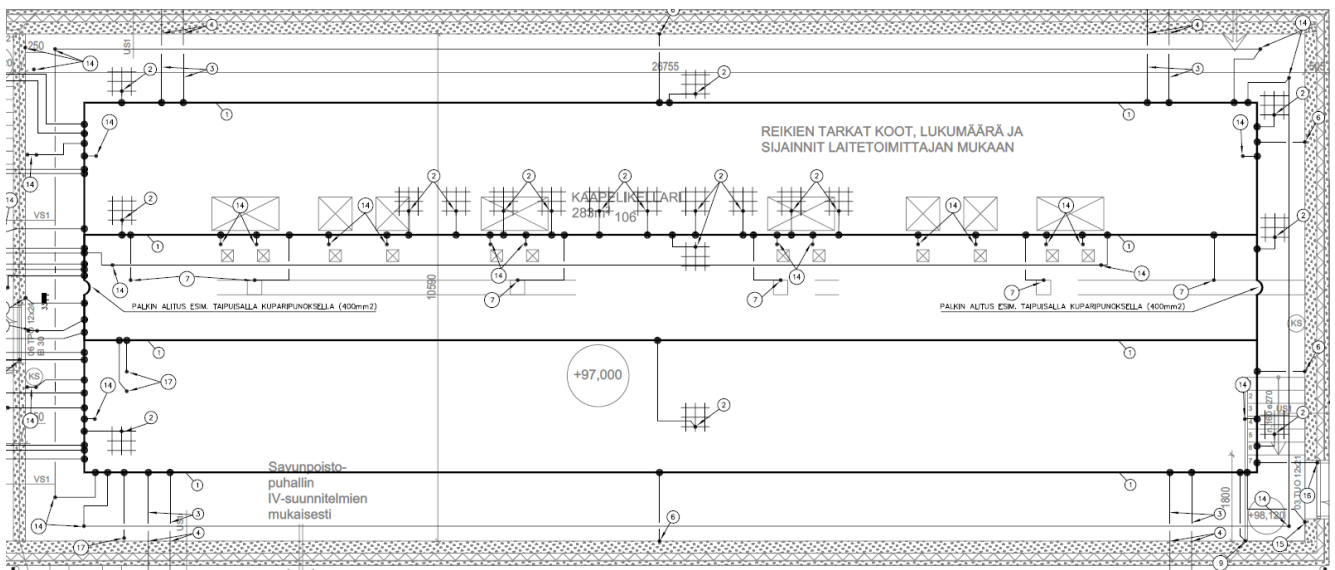
#### 5.4.2 Maadoitukset rakennuksessa

Pienjänniteasennuksia koskevia maadoitus vaatimuksia käsitellään standardissa SFS 6000 kohdissa 4–41 Suojaus sähköiskulta ja 5–54 Maadoittaminen ja suojajohtimet. Suurjännitetekniikan osalta maadoituksia käsitellään standardissa SFS 6001 kohdissa 10–12. Maadoitusjärjestelmän rakenteen suunnitteluun vaikuttaa niin moni asia, että ei ole valmiita patenttiratkaisuja, jotka sopisivat suoraan jonkun kyseisen kohteen ohjeeksi. Rakenteen suunnittelu täytyy perustua perustietoihin ja tapauskohtaiseen harkintaa. Sähköasemilla maadoitusjärjestelmän erityispiirteet perustuvat pitkälti suurjännitelaitteistojen tuomiin vaatimuksiin. Pienjännitejärjestelmien suojamaadoitukset on joka tapauksessa mitoitettava standardin SFS 6000 vaatimusten mukaisesti, mutta toiminnallisen maadoituksen ja potentiaalintasauksen vaatimukset tulevat enemmän suurjännitelaitteistojen vaatimuksista.

Tapauskohtaisen harkinnan tueksi löytyy usein erikseen laadittuja järjestelmä esimerkkejä rakennustyyppikohtaisesti. Fingrid:n omistamilla sähköasemilla noudatetaan velvoittavien standardien lisäksi heidän omaa ohjeistustansa S22330E1 Maadoitus ja ukkossuojaus. Kyseinen ohje esittää maadoitusta sekä suojautumista suoralta salamaniskulta koskevat vaatimukset 20–400 kilovoltin sähköasemilla. (Maadoitus ja ukkossuojaus 2020, 2.)

GIS-rakennuksen sisälle suunniteltavien pienjännitelaitteistojen suojamaadoituksen mitoittamisessa ei sinänsä ole mitään erityispiirteitä muihin kiinteistöihin verrattuna. Tämän vuoksi pienjännitelaitteistojen suojamaadoituksia ei tässä työssä käsitellä tarkemmin. Toiminnallisia maadoituksia esiintyy suurjännitetekniikan laitteistoissa, joten niiden suunnittelu sisältyy sähköasematekniikan suunnittelijalle. Toiminnallisia maadoituksia varten suunnitellaan omat maadoituskiskot, jotka yhdistetään muuhun maadoitusjärjestelmään vain yhdestä pisteestä.

Maadoitusjärjestelmän sydän on päämaadoituskisko, siitä käytetään usein lyhennettä PMK tai MEB, joka tulee englannin kielen sanoista Main Earthing Bar. Päämaadoituskiskoon liitetään käytännössä kaikki maadoitusjärjestelmän osat. Fingrid:n maadoitusohjeessa S22330L18 määritetään, että päämaadoituskisko on GIS-rakennuksissa kaapelikellarin kattoon asennettava koko tilan kiertävä silmukka. Kuvassa 7 on esitetty päämaadoituskisko mustalla hieman muuta vahvemmalla viivalla. Silmukan lisäksi on keskelle tilaa vedetty kaksi pitkittäistä linjaa, jotka on yhdistetty molemmista päistä reunalla kiertävään osaan. Kisko voi olla esimerkiksi 40 mm leveää ja 10 mm vahvaa kuparilattaa, joka asennetaan hieman katosta irti pultiliitoksien mahdollistamiseksi.



KUVA 7. Maadoituksia GIS-rakennuksen kaapelikellarissa (työhön liittyvään kohteeseen laadittu suunnitelma)

GIS-kojeet sijaitsevat kaapelikellarin päällä toisessa kerroksessa erillisessä GIS-hallissa. GIS-kojeiden kaikki kaapeloinnit mukaan lukien maadoitukset, tuodaan kojeelle alakautta kaapelikellarin johtoteitä pitkin. Standardissa SFS 6001 kohdassa 7.4.2.4 annetaan suositukset GIS-kojeiston maadoittamiselle.

Suosituksen mukaan GIS-kojeiston kotelo olisi liitettävä maadoitusjärjestelmään ainakin seuraavissa kohdissa:

- a) kennoissa
  - katkaisijan lähellä
  - kaapelipäättien lähellä
  - SF6 -kaasun ja ilman välisen läpiviennin lähellä
  - mittamuuntajan lähellä.
- b) kiskostoissa
  - molemmissa päissä ja niiden välillä, kiskojen pituuden mukaan.

Tarkemman GIS-kojeistojen maadoitustavan määrittelee kojeiston valmistaja. Kojeiston valmistajan on otettava huomioon standardin vaatimukset ja lisäksi valmistajalla saattaa olla erityisvaatimuksia kojeen maadoituksista. (LIITE 1.)

Maadoitusjärjestelmän mitoituksessa olennaiset tekijät ovat vikavirran suuruus, vian kesto aika ja maaperän ja maadoituselektrodin ominaisuudet (SFS 6000-10.1 2018). Fingrid:n sähköasemilla Fingrid ilmoittaa maadoitusjärjestelmän suunnittelijalle oikosulku- ja maasulkuvirratt, joiden perusteella tehdään maadoitussuunnitelma (Maadoitus ja ukkossuojaus 2020, 3). Maadoitusten mitoitusohjeet löytyvät standardista SFS 6001 luvusta 10.

### 5.4.3 Sähköasema-alue

Sähköasema-alueella on maadoitusjärjestelmissä huomioitava pien- ja suurjännitejärjestelmien maadoitusten yhtensovittaminen. Sähköasemilla pienjänniteasennukset ovat lähes poikkeuksetta suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmän alueen sisällä. Edellä kuvatussa tapauksessa kaikki suoja- ja järjestelmämaadoitukset on kytkettävä yhteiseen maadoitusjärjestelmään. Yhteinen maadoitusjärjestelmä on suositeltavaa myös silloin, kun pienjänniteasennukset ovat suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmän ulkopuolella. Tapauksissa joissa yhteisten maadoitusten ehtoja ei voida toteuttaa, on maadoitusjärjestelmät toteuttava erillisinä. Erilliset järjestelmät ovat harvinaisia ja niissä on monenlaisia haasteita. (Tiainen 2014, 54.)

Käytettäessä yhteistä maadoitusjärjestelmää on huomioitava, että suurjänniteverkossa tapahtuvan maasulkuvian aikana ei pienjänniteverkossa tai siihen liitetyissä sähkön käyttäjän laitteistoissa saa esiintyä

vaarallisia kosketusjännitteitä, eikä sähkön käyttäjän pienjännitteisissä laitteistoissa esiintyvä pienjännitejärjestelmän tähtipisteen potentiaalin noususta johtuva käyttötaajuuden rasiusjännitteen suuruus saa ylittää sallittuja raja-arvoja. (Tiainen 2014, 54.)

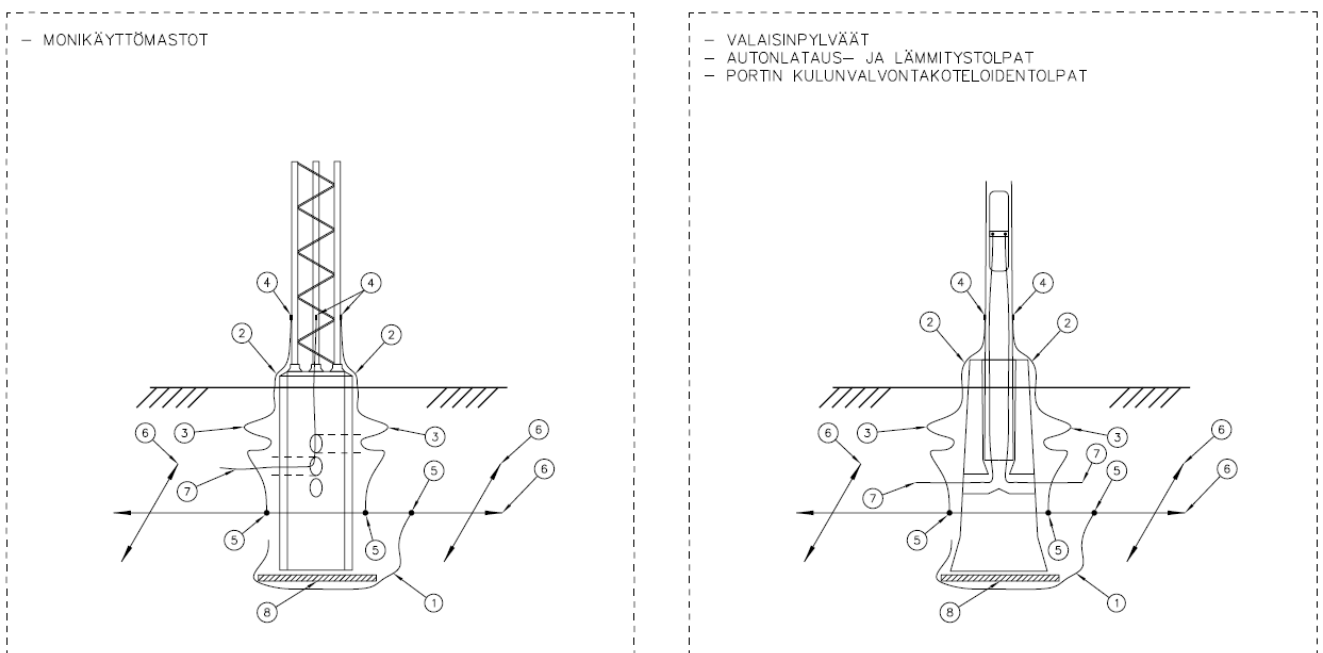
Fingrid:n sähköasemilla on käytössä laaja maadoitusjärjestelmä (LIITE 1). Maadoituskirjassa laaja maadoitusjärjestelmä määritellään seuraavasti: yhtenäinen maadoitusjärjestelmä, joka on toteutettu kytkemällä yhteen paikalliset maadoitusjärjestelmät. Yhteen kytkettyjen paikallisten maadoitusjärjestelmien läheisyys varmistaa sen, ettei vaarallisia kosketusjännitteitä esiinny. (Tiainen 2014, 70.) Laajan maadoitusjärjestelmän ominaisuuksia käsitellään muun muassa standardissa SFS 6001 liitteissä O ja NA.

Sähköasemien laajamaadoitusjärjestelmä pyritään erottamaan täysin omaksi järjestelmäksi. Tavoitteena on, että 110–400 kilovoltin suurjännitejärjestelmien maadoitusjärjestelmät pidetään erillään jakeluverkon keskijännitejärjestelmien maadoitusjärjestelmistä. Tämä erittely tehdään sen vuoksi, että suurjännitejärjestelmässä maasulkuvirrat ovat keski- ja pienjännitejärjestelmää suuremmat. Jos sähköaseman apusähköjärjestelmiä syötetään aseman omalla muuntajalla, on laajan maadoitusjärjestelmän erillään pitäminen yksinkertaista. Mikäli asemalla ei ole lainkaan omakäyttömuuntajaa, täytyy apusähköille ottaa sähkö jakeluverkkoyhtiöltä erillisenä sähköliittymänä. Näissä tapauksissa tulee huomioida maadoitusjärjestelmien erillään pitäminen. Käytännössä jakeluverkon puolella täytyy olla oma muuntaja sähköasemalle syötettäviä pienjänniteliittymiä varten, jotta jakeluverkon ja sähköaseman suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmät saadaan pidettyä erillään. Jakeluverkon muuntaja kytketään tällöin sähköaseman laajaan maadoitusjärjestelmään ja samalla se täytyy erottaa jakeluverkon omasta laajasta maadoitusjärjestelmästä. (LIITE 1.)

Sähköasema-alueelle on asiattomilta pääsy kielletty, jonka vuoksi asema-alue aidataan. Fingrid:n Maadoitus ja ukkossuojaus ohjeessa määritellään, että aidan kaikki rakenteet tulee yhdistää luotettavalla johtavalla yhteydellä potentiaalinhojauselektrodiin. Aseman laaja maadoitusjärjestelmä rajoittuu käytännössä aidan ulkopuolelle noin 1 metrin etäisyydelle ja 0,2–0,5 metrin syvyydelle asennettavaan potentiaalinhojauselektrodiin. Tämä potentiaalinhojauselektrodi yhdistetään asema-alueen potentiaalintausruudukkoon. Aidan tolpat yhdistetään potentiaalinhojauselektrodiin vähintään 40 metrin välein ja lisäksi suurjänniteilmajohtojen ja -maakaapeleiden kohdalla jokainen aidan tolppa yhdistetään potentiaalinhojauselektrodiin. Aidan liukuportin ja kulkuoven kaikki johtavien osien maadoitukset tulee tehdä luotettavalla yhteydellä potentiaalinhojauselektrodiin. (Maadoitus ja ukkossuojaus 2020, 6.)

### 5.4.4 Erityistoimenpiteet

Standardissa SFS 6001 liitteessä E on kuvattu erityistoimenpiteitä M. Toimenpiteiden tarkoitus on antaa menetelmiä sallittujen kosketusjännitteiden takaamiseksi. Standardien vaatimusten lisäksi Fingrid:n ohjeissa annetaan lisää joitain yksityiskohtaisia toimenpiteitä maadoitukseen ja potentiaalintasauksiin. Joidenkin näiden annettujen lisä toimenpiteiden hyötyjen perusteleminen esimerkiksi laskennallisesti on haastavaa tai jopa mahdotonta. Kaikella maadoittamisella ja potentiaalintasauksella pyritään kuitenkin ehkäisemään kosketus- ja askeljännitteiden syntyä ja parantamaan potentiaalintasausta ja häiriönsuojausta. (LIITE 1.)



KUVA 8. Työhön liittyvään kohteeseen suunnitellut mastojen ja pylväiden maadoitusdetaljit

Kuvassa 8 on esitetty Fingrid:n sähköasema-alueelle asennettavien mastojen ja pylväiden maadoitusdetaljit. Kuvan 8 numeroiden selitykset ja merkitykset:

1. Betonijalustojen alle asennettava J-lenkki, yhdistetään maadoitusruudukkoon. J-lenkin tarkoitus on parantaa potentiaalintasausta betonijalustan ympärillä.
2. Mastojen tai pylväiden maadoitus, yhdistetään kahdella maadoitusjohtimella maadoitusruudukkoon maston tai pylvään kahdelta eri sivulta.
3. Z-lenkki maadoitusjohtimessa. Estää maadoitusjohtimen kiristymisen ja irtoamisen mahdollisen routimisen tai muun syyn takia.
4. Kaapelikenkä-pulttiliitos maston tai pylvään runkoon.



5. Maadoitusjohtimien luotettava liitos maadoitusverkon johtimeen, esimerkiksi C-liitin.
6. Maadoitusruudukon johtimet. Maadoitusruudukko on asema-alueella noin 10\*10 metrin ruudukolla toteutettu maadoituselektrodi, joka on osa laajaa maadoitusjärjestelmää.
7. Saattomaadoitus putkesta. Liitetään betonijalustaan asennetun maston tai pylvään runkoon.
8. Mahdollinen betonijalustan routaeriste. J-lenkki tulee asentaa aina routaeristeen alapuolelle.

Saattomaadoitukset putkistoissa ovat yksi Fingrid:n asemilla toteutettavista erityistoimenpiteistä. Ohjeistuksessa sanotaan, että kaikkiin piha-alueen putkituksiin, joissa kulkee johtavaa materiaalia, on asennettava saattomaadoitus. Rakennuksen puoleisessa päässä tai kaapelikaivolla saattomaadoitus yhdistetään potentiaalintasauselektrodeihin ja toisessa päässä esimerkiksi valaisinpylvään runkoon. Saattomaadoituksen tarkoituksena on parantaa koko asema-alueen potentiaalintasausta ja vähentää sähkömagneettisiahäiriöitä. (LIITE 1.)

#### 5.4.5 Tarkastukset

Keskeinen osa sähköturvallisuutta ovat huolellisesti tehdyt mittaukset, tarkastukset ja koekäytöt. Näiden tekemisestä säädetään sähköturvallisuuslaissa. Suurjännitelaitteistoon liittyvien laitteistojen mittauksista, tarkastuksista ja koekäytöistä on esitetty vaatimuksia ja ohjeistuksia standardissa SFS 6001 luvuissa 13 ja 14, lisäksi tarkentavia ohjeita on annettu liitteissä H, L ja M. Liitteessä H käsitellään kosketusjännitteiden mittauksia, liitteessä L käsitellään maadoitusjärjestelmän mittauksia ja liitteessä M käsitellään maadoitusjärjestelmien vastaanottotarkastuksia ja dokumentointia.

Pienjännitejärjestelmien osalta tarkastuksia käsitellään SFS 6000 standardissa luvussa 6. Luku 6 esittää vaatimukset tarkastuksena ja testauksena tehtävälle käyttöönottotarkastukselle, jossa määritetään niin hyvin kuin käytännössä mahdollista, että täytetäänkö SFS 6000 standardissa esitetyt vaatimukset. Lisäksi luvussa 6 käsitellään vaadittavia tarkastuksien dokumentointeja. (SFS 6000-6.1 2022.)

Maadoitusjärjestelmien mittauksissa varmennetaan suunniteltujen ratkaisujen riittävyys ja vaatimusten toteutuminen. Mittauksiin voi sisältyä muun muassa maadoitusimpedanssin mittausta, prospektiivisen (suurimman) askel- ja kosketusjännitteen mittausta ja tarvittaessa siirtyvien jännitteiden mittausta. Maadoitusjärjestelmien rakenteen ja asennusten on oltava sellaisia, että määräajoin tai muutosten yhteydessä tehtävät mittaukset on mahdollista suorittaa. (SFS 6001-13 2018.)

Fingrid:n ohjeistuksessa määritetään, että maadoitusjärjestelmän asentava urakoitsija on vastuussa maadoitusjärjestelmälle tehtävistä mittauksista ja tarkastuksista. Mittaukset ja tarkastukset tulee tehdä erillisen ohjeen S22193-E1 mukaisesti. Lisäksi erityishuomioina mainitaan, että urakoitsija vastaa maadoitusimpedanssin mittaamisesta, joka on suoritettava vuoden kuluttua asennusurakan valmistumisesta. Maadoitusmittausten selkeän dokumentoinnin vuoksi, kaikki maadoituspisteet tulee olla merkittyinä. Maadoitusjärjestelmien merkitsemisestä Fingrid:n asema-alueella ohjeistetaan erillisessä Tunnusjärjestelmä ja merkinnät S22160E1 ohjeessa. (Maadoitus ja ukkossuojaus 2020, 12, 14.)

Maadoitusten mittauksia käsitellään ja avataan selkeästi Sähköinfon tuottamassa Maadoitukset kirjassa luvuissa 7 ja 8. Kirjassa käsitellään erikseen maadoitusresistanssin mittaamista ja PE-, PEN- ja potentiaalintasausjohtimien jatkuvuusmittauksia. Maadoitusresistanssi on mitattava aina, jos maadoitusresistanssille on määrätty suurin sallittu arvo. Suurimman sallitun arvon määrää pääsääntöisesti maasulkuvirta ja maadoitusjännitteelle sekä sen kestoajalle määritetyt raja-arvot. Pienjänniteverkoissa maadoitusresistanssille ei ole annettu raja-arvoja, joten niissä mittausta ei tarvitse suorittaa. Sähköasemilla, joissa on suurjännitejärjestelmiä, on maadoitusresistanssi mittaukset suoritettava ja varmistettava onko tulokset sallittujen raja-arvojen mukaisia. (Tiainen 2014, 141.)

## 5.5 Akusto

Kantaverkko ja siihen sisältyvät sähköasemat ovat yhteiskunnan kriittisiä toimintoja, joiden keskeytymätön toiminta on pyrittävä turvaamaan. Sähköasemilla on paljon kriittiseen toimintavarmuuteen liittyviä laitteita, joiden sähkön syöttö ei saa katketa odottamattomasti. Odottamaton äkillinen sähkökatko voi tietyissä laitteissa aiheuttaa vaaraa sähköasemalla, kantaverkossa ja välillisesti laajalla alueella.

Sähköasemilla apusähköjärjestelmien varasähkönsyötön tulee kyetä kattamaan sähköaseman omakäyttö vähintään 24 tunnin ajan. Varmennus on toteutettu tasajännite akustolla ja lisäksi joissakin erikseen määritetyissä kohteissa on akuston lisäksi erillinen varavoimakone. Kiinteistösähköihin liittyvistä toiminnoista varmennettuja ovat vain turvajärjestelmät, joihin sisältyy muun muassa poistumisopastusvalaistus, kulunvalvonta ja automaattinen palovaroitinjärjestelmä. (LIITE 1.)

Akusto sijoitetaan GIS-rakennuksessa omaan tilaan. Latauslaitteet sijaitsevat apusähköhuoneessa. Akutilassa akustosta voi muodostua tilaan vetyä, mikä on otettava huomioon tilan ilmanvaihdossa. Il-

manvaihto toteutetaan kahdella poistopuhaltimella sekä toiminnan varmennuksen että myös tehostuksen vuoksi. Ilmanvaihdon toimintaa valvotaan virtausvahdilla. Palohälytystilanteessa puhaltimet pysäytetään ja tilan palopellit sulkeutuvat automaattisesti. Akkuhuonetta ei luokitella Fingrid:n GIS-rakennuksissa ATEX-tilaksi. (LIITE 1.)

Ohjeita akkutilojen ilmanvaihdon suunnitteluun annetaan standardissa SFS-EN 50272-2 (SFS 6001-7.5.7.1 2018). Tasasähkösyöttöjen vaatimuksista annetaan vaatimuksia ja ohjeita standardissa SFS 6001 luvussa 9.2.3. Kyseisessä kohdassa mainitaan, että jos akustotilan räjähdysvaaraa ei voida välttää millään toimenpiteillä, on tilassa käytettävä räjähdysuojattuja sähkölaitteita. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tila luokitellaan ATEX-tilaksi, mikäli räjähdysvaaraa ei kyetä välttämään. Tilan ilmanvaihtojärjestelyillä on mahdollista välttää räjähdysvaara, jolloin tilaa ei tarvitse luokitella ATEX-tilaksi. (SFS 6001-9.2.3 2018.)

Räjähdysvaaran välttämiseen sisältyy olennaisesti ilmanvaihtojärjestelyiden lisäksi sähköenergiasta mahdollisesti aiheutuvien kipinöiden syntyminen estäminen. Kipinöiden syntyminen voidaan välttää laajalla potentiaalintasauksella. Akustotilassa kaikki johtava materiaali on kytkettävä samaan potentiaaliin. Tilan sisälle asennetaan vain välttämättömät sähkölaitteet, kuten ilmanvaihdon puhaltimet ja anturit, tilan valaisimet, vara- ja poistumisopastusvalaistus ja palovaroitinjärjestelmän ilmaisimet ja palopainike. Tilan lämmitys toteutetaan sähköisellä lattialämmityksellä, jolloin voidaan välttyä asentamasta lämmitintä suoraan tilan sisälle. Akustotilaan on hyvä asentaa oma maadoituskisko, johon liitetään kaikki potentiaalintasaukset. Potentiaalintasaukseen yhdistetään muun muassa ilmanvaihtokanavat, kaapelihylyt ja valaisinripustuskisko, katon, ja seinien betoniraudoitukset, tilan metallinen palo-ovi ja tilan puolijohtava lattiamatto.

## 5.6 Salamasuojaus

Suojautuminen salaman aiheuttamilta vahingoilta voidaan jakaa kahteen pääosaan, suojautuminen suorilta salamaniskuilta ja suojautuminen salamaniskun aiheuttamilta ylijännitteiltä. Kokonaisuutena näistä käytetään useassa kirjallisuudessa termiä ilmastollisilta ylijännitteiltä suojautuminen. Päätökseen siitä, suunnitellaanko ja asennetaanko suojausta ja minkä tasoisena se tehdään, vaikuttavat monet tekijät. Vaatimuksia ja ohjeistuksia suojautumiseen annetaan useissa standardeissa ja selventävissä ohjeissa, kuten käsikirjoissa ja ST(sähkötieto)-korteissa. GIS-rakennuksen ja sähköasema-alueen salamasuojaukseen vaikuttavat keskeisimmät standardit ovat SFS 6000 ja 6001.

Suorilta salamaniskuilta suojautuminen on huomattavasti suurempi järjestelmä kokonaisuus, kuin ylijännitteiltä suojautuminen. Näiden molempien järjestelmien tarpeen ja laajuuden selvittämiseen on olemassa erilaisia analysointimenetelmiä. Selvityksissä keskeisimpiä vaikuttavia tekijöitä ovat alueen ukkostiheys, käytettyjen sähkölaitteiden herkkyys, verkkoon liittymistapa (ilmajohto vai maakaapeli) sekä se, että voidaanko laitevauriot sallia vai aiheuttaako laitevaurio välillisesti suurempaa haittaa. (Tiainen 2022, 155.)

Standardissa SFS 6001 kohdassa 8.6 käsitellään suojautumista suorilta salamaniskuilta. Käytännössä salamasuojausta suunniteltaessa on kohteen käyttäjän valittava suojaustaso ja käytettävä suojausmenetelmä halutun luotettavuustason mukaisesti. Valinnassa usein suurena vaikuttavana tekijänä on järjestelmän kustannukset. Lisäksi on muistettava, että teknisistä ja taloudellisista syistä johtuen salamaniskujen aiheuttamia vaurioita ei voida täysin estää. (SFS 6001-8.6 2018.)

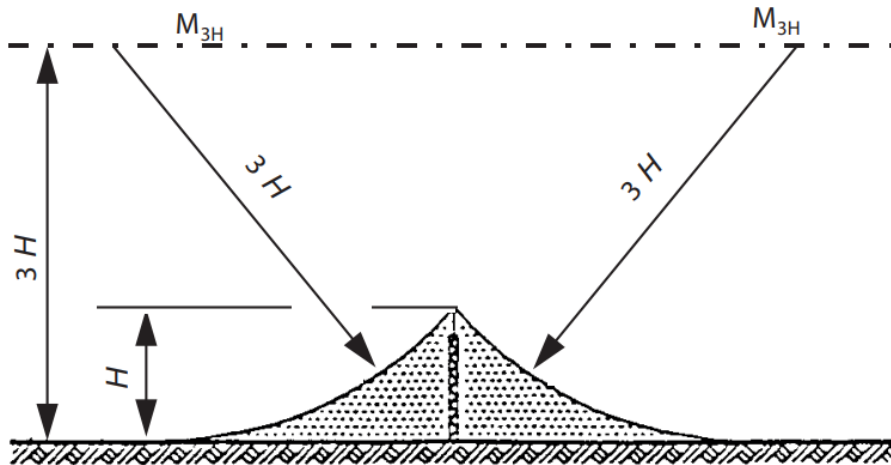
Standardissa SFS 6000 kohdassa 443.5 esitetään riskienarviointi menetelmät ylijännitesuojauksen tarpeesta ja laajuudesta. Riskitaso laskennassa lasketaan CRL-taso, jonka perusteella voidaan arvioida, tarvitaanko ylijännitesuojausta. Laskentaan vaikuttavat kyseisen alueen salamaniskutiheys ja kohdetta syöttävän sähköverkon rakenne. (SFS 6000-443.5 2022.)

Fingrid:n sähköasemilla suojaus suorilta salamaniskulta ja ylijännitesuojaus toteutetaan pääsääntöisesti aina. Suojaus suorilta salamaniskuilta toteutetaan ukkosköysillä ja ukkosmastoilla. Ylijännitesuojaus toteutetaan jakeluverkon tai omakäyttömuuntajan syöttämässä vaihtosähköpääkeskuksessa. Mikäli asemalla on päämuuntaja, asennetaan siihenkin ylijännitesuojat. (LIITE 1.)

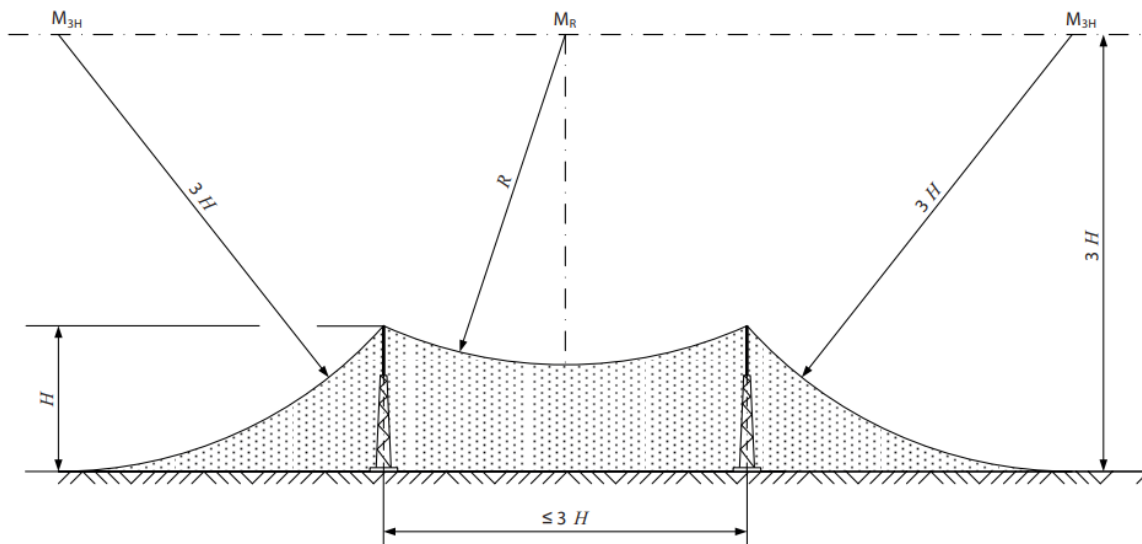
Fingrid:n ohjeessa S22330E1 Maadoitus ja ukkossuojaus ohjeistetaan suorilta salamaniskuilta suojautuminen sähköasemilla. Suojaus toteutetaan ukkosköysien muodostamalla suojaverkolla. Suoran salamasuojauksen ja ylijännitesuojien lisäksi järjestelmään kuuluu asemalle tulevien voimajohtojen mitoitus, jolla rajoitetaan sähköasemalle tulevia ylijännitteitä. Salamasuojaussuunnitelma on aina hyväksyttävä Fingrid:llä. (Maadoitus ja ukkossuojaus 2020, 12.)

Suojaus suorilta salamaniskuilta vähentää suuritaajuisia häiriövaikutuksia (SFS 6001-9.6.3 2018). Ukkosjohtimia ovat suurjännitevoimalinjoissa ylimpänä kulkevat johtimet. Suurjännitejärjestelmä voi liittyä sähköasemalle myös maakaapeilla, tällöin salamasuojaus voidaan toteuttaa ukkosmastoilla. Salamaniskuun liittyvät ylöspäin suuntautuvat esipurkaukset kehittyvät nopeammin mastoista, kuin ukkos-

johtimista. Suojamaston suojavyöhyke on yleensä laajempi, kuin saman korkuisen ukkosjohtimen. Yksittäinen suojamasto tuottaa kartiomaisen suojavyöhykkeen, jota rajoittaa kolme kertaa maston korkuisen säteen ja maston lakipisteen kautta kulkeva kaari, esitetty kuvassa 9. Kahdella mastolla toteutetussa suojauksessa suojavyöhykettä rajoittavat kolme kertaa maston korkuisen säteisten kaarien lisäksi mastojen huippujen kautta kulkeva R-säteinen kaari, jonka keskipiste  $M_R$  on korkeudella kolme kertaa maston korkeus. (SFS 6001-Liite R.)



KUVA 9. Yksittäisen ukkosmaston muodostama suojavyöhyke (SFS 6001-Liite R)



KUVA 10. Kahden ukkosmaston muodostama suojavyöhyke (SFS 6001-Liite R)

Erillisen salamasuojauksen lisäksi rakennuksen ulkopuolinen laaja potentiaalintasaus toimii myös suojana ylijännitteitä vastaan, mikäli salaman aiheuttamat ylijännitteet eivät johdu ukkosmastoja pitkin

maahan. Rakennuksen kaikki ulkopuoliset johtavat osat on liitettävä maadoitusjohtimilla maan alla rakennuksen sokkelin vierellä kulkevaan potentiaalintasauselektrodiin, joka on yhdistetty laajaan maadoitusjärjestelmään. Rakennuksen ulkopuolisia potentiaalintasaukseen yhdistettäviä osia ovat esimerkiksi teräsportaat, kaiteet, talotikkaat ja kattopellit. Ulkopuolisten osien maadoituksissa on hyvä ottaa huomioon, että maadoitusjohtimet kaapeloidaan rakennuksen ulkopuolella, eikä kuljeteta niitä rakennuksen rakenteissa, vaikka esimerkiksi kattopeltien maadoitus olisi helpompaa yhdistää toisen kerroksen sisäpuolisiin maadoituskiskoihin. Ulkopuolisella kaapeloinnilla vähennetään salamanisku tilanteessa tulipalon vaaraa, kun johtimet eivät kulje rakenteiden sisällä. Salamaniskun energia saattaa vahingoittaa potentiaalintasaus johdinta, mutta mikäli se suojaa rakennusta ja laitteita johtamalla sähköenergian suoraan maahan on se hoitanut sille suunnitellun tehtävän. (LIITE 1.)

## 5.7 Paloturvallisuus

Paloturvallisuus on osa sähköturvallisuutta, joko korostuu etenkin rakennusten sähkölaitteistoissa. Sähkölaitteistot ovat valitettavan usein tulipalojen aiheuttajia. Paloturvallisuutta voidaan lähestyä useammasta näkökulmasta, joita ovat muun muassa laitteiston tai rakennuksen käyttäjän turvallisuuden näkökulmasta, rakennuksen taloudellisesta omaisuus näkökulmasta tai tulipalon aiheuttaman sähkön jakelun keskeytymisen näkökulmasta. Sähköasemilla tulipalot aiheuttavat suoraan ja välillisesti suuria vahinkoja ja vaaroja sekä mahdollisesti sähkönjakelun katkeamisia laajoilla alueilla. Tämän vuoksi sähköasemilla ja siellä sijaitsevissa rakennuksissa paloturvallisuuteen kiinnitetään erityistä huomioita.

Standardissa SFS 6001 suojautumista tulipalolta käsitellään kohdassa 8.7. Siellä palovaara ja sähkölaitteiston paloriski jaetaan kahteen luokkaan, jotka ovat palokohteet ja palolähteet. Näiden luokkien osalta on standardissa annettu esimerkkejä varotoimenpiteistä. Rakennuksissa on huolehdittava poistumis- ja pelastusreittien kulkukelpoisuudesta tulipalo tilanteen sattuessa, tämä on osa käyttäjien turvallisuutta. (SFS 6001-8.7.1 2018.)

GIS-rakennusten osalta mitään rakennuksen sisällä olevia tiloja ei ole määritelty palovaarallisiksi tiloiksi. Rakennusluvan kannalta katsottuna koko rakennus voidaan määrittää yhdeksi palo-osatoksi. Fingrid:llä on kuitenkin katsottu järkeväksi toteuttaa GIS-rakennukset niin, että rakennuksen kaikki tilat ovat teknisesti omia palo-osastoja mahdollisen tulipalon leviämisen estämiseksi. Teknisesti valvomorakennukset ovat paloturvallisuusluokassa 1 ja suojaustasoluokassa 1. Mahdollisten tulipalojen

mahdollisimman aikaisen havaitsemisen vuoksi, GIS-rakennuksiin asennetaan automaattinen palovaroitinjärjestelmä. Palovaroitinjärjestelmästä saadaan hälytykset sähköaseman käytönvalvontajärjestelmän kautta Fingrid:n käyttökeskuksiin, joissa on ympärivuorokautinen päivystys. (LIITE 1.)

Palovaroitinjärjestelmästä viedään lisäksi tieto kiinteistöautomaatiojärjestelmään, jonka kautta voidaan ohjata ilmanvaihtokoneet pois päältä ja kaikki ilmanvaihtokanavien palopellit kiinni. Tulipalojen havaitsemiseksi rakennukseen suunnitellaan paloilmoitinjärjestelmää vastaava järjestelmä, joka sisältää ilmaisimia ja palopainikkeita. Palopainikkeiden tarkoituksena on mahdollistaa hälytyksen laukaiseminen manuaalisesti. Lisäksi ilmanvaihtokanavien palopelleissa on lämpöilmaisimet, joista saadaan tilatieto kiinteistöautomaatioon ja sitä kautta voidaan aktivoida palovaroitinjärjestelmän hälytys. (LIITE 1.)

Fingrid:llä on erillinen ohjeistus palovaroitinjärjestelmän suunnitteluun, S22643E1 Palovaroitinjärjestelmä. Ohjeessa annetaan lisävaatimuksia järjestelmän toteuttamiseen, käytettäviin komponentteihin, kaapelointiin, sähkösyöttöön ja maadoittamiseen, huoltoon ja varaosiin, koulutukseen ja käyttöönnottoon, takuuseen, tarkastuksiin ja dokumentointiin.

Osaksi paloturvallisuutta voidaan ajatella kuuluvan savunpoistojärjestelmä, jonka tarkoituksena on tehokas savunpoisto mahdollisen tulipalon sattuessa. Savunpoisto kuuluu osana sammutusmenetelmiin, eli toimiin, joita suoritetaan onnettomuuden jo satuttua, mutta sen avulla voidaan estää tai vähentää lisävahinkojen syntymistä. Savunpoistojärjestelmä voidaan käynnistää paikallisesti rakennuksen sisältä savunpoiston ohjauskeskuksesta. Järjestelmästä saadaan tilatietoja kiinteistöautomaatioon muun muassa vika- tai käyttötilanteessa. Savunpoistojärjestelmän poistopuhaltimia voidaan GIS-hallissa tarvittaessa käyttää tilan tuulettamiseen eristekaasuista.

## **5.8 Käyttö, huolto ja korjaukset**

Osa sähkösuunnittelussa huomioitavista asioista on suunniteltavien tilojen käyttö ja laitteistoihin tehtävät huollot ja korjaukset. Standardissa SFS 6001 osassa 7 annetaan rakennuksia koskevia vaatimuksia. Osana tätä 7 lukua annetaan käyttöä ja huoltoa palvelevien tilojen vaatimuksia. Käyttöä ja huoltoa palveleviin tiloihin katsotaan standardin mukaan hoitokäytävät, kulkutiet ja poistumistiet. Tilat on mitoitettava ja laitteet sijoitettava tilaan siten, että laitteiston käytölle ja huolto- ja korjaustöille jää riittävästi tilaa. Pääsääntöisenä vaatimuksena on, että käytävien on oltava vähintään 800 mm leveitä. Käytävien

minimi leveys täytyy toteutua myös silloin, kun jokin laite on huoltotilassa, eli esimerkiksi kojeistovaunu on vedetty ulkoasentoon. (SFS 6001-7.5.4 2018.)

Tilojen ja laitteistojen suunnittelussa on myös huomioitava tilasta poistuminen hätätilanteessa. Poistumisreitit on oltava selkeitä ja turvallisia. Poistumisreitit tulee olla hyvin opastettu ja niiden leveys tulee olla aina vähintään 500 mm, myös tilanteissa joissa jokin ulosvedettävä laite on huoltotilassa. (SFS 6001-7.5.4 2018.)

Sähkölaitteistojen sijoittelussa on pyrittävä huomioimaan mahdollisuuksien mukaan laitteistojen korjaukset ja huollot. Sellaiset laitteet, joihin tehdään määräaikaishuoltoja, pyritään sijoittamaan helposti saavutettavalle etäisyydelle. Laitteiston asennuskorkeus on yksi merkittävä haaste huoltotöiden yhteydessä, koska työturvallisuus huomioiden joudutaan työtä varten rakentamaan määräykset täyttävät työtasot tai käyttämään henkilönostimia. Näistä aiheutuu usein kohtuuttoman suuret kustannukset suhteessa laitteiston tarvitsemaan huoltoon tai korjaukseen.

Suunnittelussa on myös aina hyvä huomioida mahdollisesti myöhemmin tehtävät lisäykset asennuksiin. Tämä korostuu etenkin johtoteiden suunnittelussa, jossa ei kannata mitoittaa johtoteitä liian täyteen myöhempiä kaapelointeja ajatellen. Liian täyteen mitoitetut johtotiet tuovat haasteen myös lämpökuormituksessa, mikäli asennuksissa on suuri virtaisia kaapeleita. Myöhemmät asennukset tulee huomioida myös keskuksissa varalähtöinä ja varatilana.



## 6 KIINTEISTÖSÄHKÖSUUNNITELMAT

Osa tätä opinnäytetyötä oli urakkalaskentaa varten laadittujen sähkösuunnitelmien tekeminen. Suunnitelmien tilaaja oli Fingrid Oyj ja toteuttajana Insinööritoimisto KTS Oy Suunnittelu Laukka Oy:n alihankkijana, jolla oli hankkeen kokonaissuunnittelu-urakka. Suunniteltava kohde sijoittuu Savonlinnaan, johon rakentuu Fingrid:lle uusi sähköasema-alue ja 110 kilovoltin kytkinlaitos. Uusi sähköasema sijoittuu lähelle paikallisen verkkoyhtiön avokytkinlaitosta. Uusi kytkinlaitos tulee kahden 110 kilovoltin voimalinjan ja jakeluverkkoyhtiön avokytkinlaitoksen väliin. Uudelle asemalle on mahdollista liittää kolmaskin voimalinja. Uudelta kytkinlaitokselta 110 kilovoltin linja menee jatkossa suurjännite- maakaapelointina jakeluverkkoyhtiön kytkinlaitokselle.

Suunnitelmat eivät ole kaikilta osin julkista materiaalia, jonka vuoksi niitä ei julkaista tässä työssä kokonaisuudessaan. Tässä osassa käydään läpi mitä suunnitelmia kohteeseen laadittiin ja mitä menetelmiä suunnitelmien laadinnassa on käytetty.

### 6.1.1 Suunnitelmien sisältö

Sähkösuunnittelussa laaditaan pääsääntöisesti aina piirustusluettelo, josta käy ilmi projektiin liittyvät suunnitelmat ja joitain yleistietoja suunnitelmista. Tähän työhön liittyvän suunnitteluprojektin piirustusluettelo on esitelty liitteessä 2. Piirustusluettelossa on esitetty asiakirjojen nimet, dokumenttien tunnukset, piirustukset sisältö, luonti päivänmäärä, tiedostomuoto, muutokset ja huomautukset. Tämän projektin kohdalla piirustusten numeroinnissa käytettiin Fingrid:llä käytössä olevaa piirustuksien tunnusjärjestelmää. Projektin sähkösuunnitteluun sisältyi GIS-rakennuksen kiinteistösähkösuunnitelmien ja sähköasema-alueen pienjännitejärjestelmien sekä maadoitusten suunnittelut.

Suunnitelmat voidaan jakaa seuraaviin luokkiin: luettelot, tasokuvat, selosteet, kaaviot, detaljit, keskuskuvat ja 3D-mallit. Lähes kaikista suunnitelmista tuotetaan asiakkaalle PDF ja DWG versiot. Suunnittelutyö sisältää myös tiedostoja, joita ei välttämättä liitetä mukaan projektin suunnitelmiin, mutta niitä on käytetty suunnittelussa apuvälineenä. Tällaisia tiedostoja ovat esimerkiksi Excelillä tehdyt laskelmat tai Dialuxilla laaditut valaistussuunnitelmat. Tämän projektin osalta sovittiin työn tilaajan kanssa mitä suunnitelmia tulee olla urakkalaskenta vaiheeseen ja missä tiedostomuodossa tilaaja tarvitsee suunnitelmat.

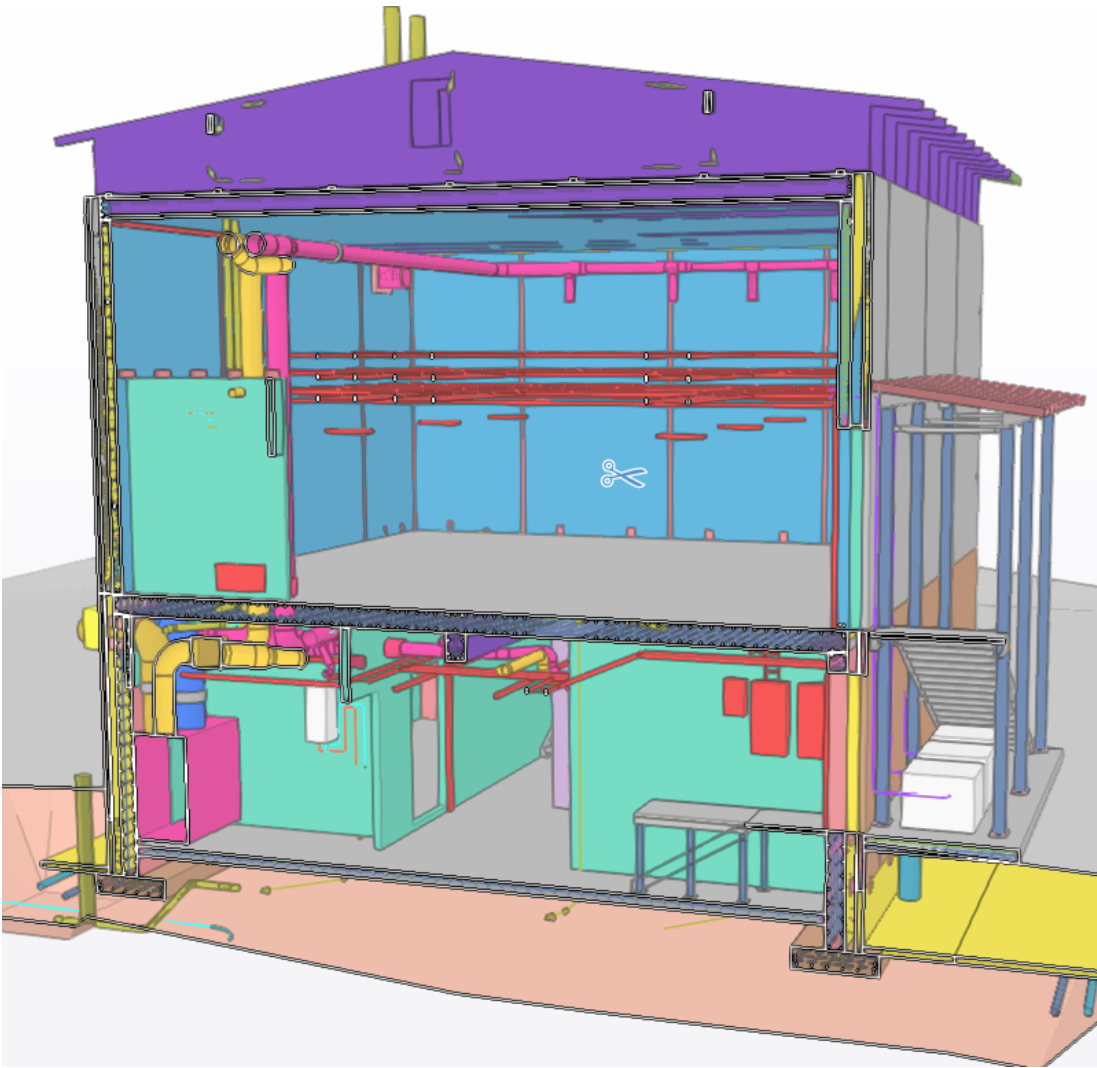
### 6.1.2 Suunnittelu menetelmät

Sähkösuunnittelu sisältää paljon eri osa-alueita ja vaatii useiden ohjelmien käyttöä. Suunnittelija tekee paljon selvittelyä ja taustatyötä, joka ei välttämättä suoraan välity suunnitelmien katsojille. Suunnitteluprojekti on kokonaisuus, joka koostuu suunnittelusta, laskennasta, piirtämisestä ja yhteensovittamisesta. Suurin osa suunnitelmista on laadittu CADMATIC Electrical-ohjelmalla, jolla voi tehdä myös osan laskennoista. Laskentoja on tehty lisäksi Excelillä. Valaistus suunnittelua on tehty DIALux Evo-ohjelmalla. 3D-mallinnuksessa on hyödynnetty Electrical-ohjelman lisäksi Trimble Connect-ohjelmaa.

CADMATIC Electrical-ohjelmalla on laadittu projektin suunnitelmista tasokuvat, luettelot, keskuskuvat, kaaviot, detaljit ja 3D-malli. Ohjelmalla voidaan hallita suunnittelun kokonaisuutta, hyödyntämällä ohjelman omia laskenta- ja mallinnusmenetelmiä. Luomalla ohjelmaan kaikista projektin suunnitelmista yhtenäinen suunnitteluprojekti, luo ohjelma projektille tietokannan, jota voidaan hyödyntää muun muassa oikosulkuvirtalaskennoissa ja luetteloiden laatimisessa. Suunnitelmat ovat ohjelmassa pääasiassa DRW-muodossa, mutta asiakkaille tiedostot luovutetaan pääsääntöisesti PDF- ja DWG-muodoissa.

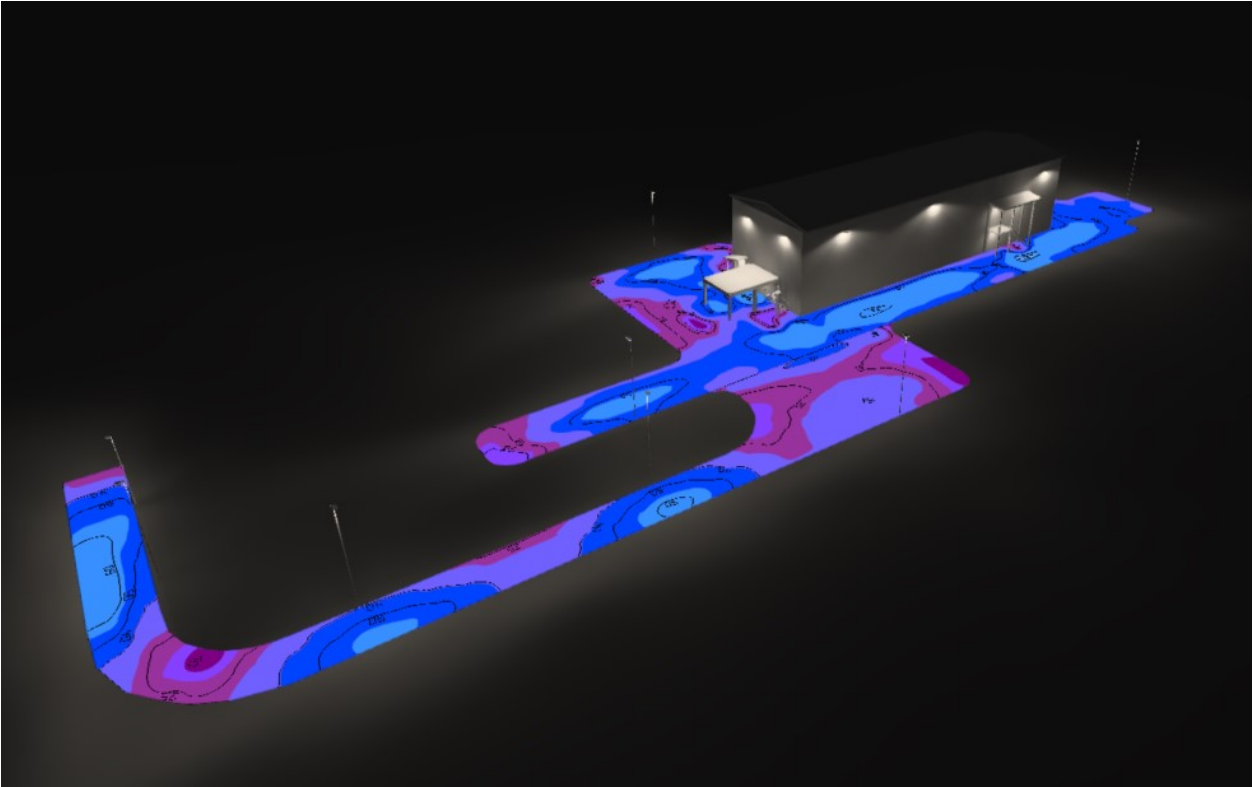
Oleellinen osa sähkösuunnittelun kokonaisuutta on suojausmenetelmien toimimisen varmistaminen. Tähän liittyy keskeisenä osana oikosulkuvirtojen laskenta. Syöttämällä Electrical-ohjelmaan tarvittavia lähtötietoja ja asetuksia, laskee ohjelma automaattisesti joitain suunnittelussa tarkasteltavia arvoja. Suunnittelijan täytyy esimerkiksi varmistaa automaattisten poiskytkentöjen toimivuus laskennallisesti. Lisäksi laskentoja tehdään usein Exceliin laadituilla taulukkolaskimilla. Tämän työn projektissa suojaus tarkasteluja on tehty Electrical-ohjelmalla ja Excelillä.

Kohteen projektista luotiin 3D-mallit eri suunnittelualoilta. Sähkön osalta mallinnettiin johtotiet ja keskuskeskukset. Mallinnuksella saavutetaan suunnittelun osalta paljon hyötyjä. Suurin hyöty on tekniikoiden yhteensovittaminen, joka voidaan tehdä 3D-mallien avulla helposti ja luotettavasti. Lisäksi tilaajan on helppo tarkastella mallin välityksellä käytettyjä suunnitteluratkaisuja ja antaa omat kommentit suunnittelusta. Projektin mallinnusta varten luotiin Trimble Connect-ohjelmaan yhteisprojekti, johon kaikki suunnittelualat päivittävät omaa 3D-mallia. Sähkösuunnittelussa malli luotiin CADMATIC Electrical-ohjelmalla. Trimble Connect-ohjelmassa on tehty tekniikoiden yhteen sovitus. Kuvassa 11 näkyy esimerkki Trimble Connect:n näkymästä mallin katselussa.



KUVA 11. GIS-rakennuksen läpileikkaus Trimble Connect-ohjelmassa

Projektin valaistussuunnittelussa on hyödynnetty DIALux Evo-ohjelmaa. Valaistuslaskentaa tehtiin sisä- ja ulkotiloihin. Valaistussuunnittelussa on noudatettu standardien EN 12464 ja EN 12646 vaatimuksia ja lisäksi Fingrid:n omia ohjeita sähköasema-alueiden valaistuksista. Fingrid:n ohjeessa S22640E1 annetaan vaaditut valaistusvoimakkuudet tila ja alue kohtaisesti. Näiden pohjalta on laadittu asetukset valaistuslaskentaan. DIALux Evo-ohjelmalla saadaan varmistettua vaadittavien valaistus tasojen täyttyminen ja lisäksi saadaan luotua visuaalisia esityksiä valaistusratkaisujen esittelemistä varten. Kuvassa 12 on esimerkki tämän työn projektin piha-alueen valaistuksen 3D-laskentamallista DIALux Evo-ohjelmasta.



KUVA 12. Sähköaseman piha-alueen kulkuvalaistus

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINNAT

Opinnäytetyön tavoite jakautui kahteen pääosaan. Tavoitteena oli laatia Fingrid:lle kiinteistösähkösuunnitelmat GIS-rakennukseen ja kirjallinen ohje sähkösuunnittelijoille GIS-rakennuksen suunnitelmien laadinnan tueksi. Opinnäytetyön oli tarkoitus vastata kysymykseen: mitä tarkoittaa sähköturvallisuus ja mitä sähköturvallisuuteen liittyviä asioita sähkösuunnittelijan on huomioitava suunnitellessa pienjännitejärjestelmän sähköjä ja maadoituksia sähköasemalle ja GIS-rakennukseen.

Sähkösuunnitelmien osalta tavoitteena oli laatia suunnitelmat, joilla tilaaja voi suorittaa urakkakilpailutuksen. Suunnitelmat valmistuivat ajallaan ja ne on toimitettu työn tilaajalle. Suunnitelmien tarkennuksia jatketaan myöhemmin. Suunnitelmat laadittiin lähes valmiiksi, ennen tämän kirjallisen osan kirjoittamista. Tätä kirjallista osaa varten tarvittua teoretietoa hankittiin paljon jo suunnittelun aikana, mikä osaltaan helpotti kirjallisen osan kirjoittamista.

Tämän kirjallisen osan tarkoituksena oli tehdä ohje, josta voi olla apua sähkösuunnittelijoille vastaavanlaisissa projekteissa. Ohjeessa käsitellään aluksi työhön liittyviä yhteistyötahoja ja sähköturvallisuutta yleisellä tasolla. Varsinainen tutkimusaihe oli sähköturvallisuus GIS-rakennuksessa. Kokonaisuudessaan ohjeesta muodostui laaja ja pitkä työ, jossa on käsitelty paljon ja kattavasti sähköturvallisuus asiaa. Mielestäni työ onnistui kokonaisuudessaan hyvin. Olen tyytyväinen etenkin työn monipuolisuuteen ja asioiden tarkasteluun monesta eri näkökulmasta.

Tämän opinnäytetyön lähteenä toimi pääasiassa standardit SFS 6000 ja 6001, joissa esitetään kaikki keskeisimmät vaatimukset ja ohjeet. Näiden lisäksi tietoja hankittiin laeista ja asetuksista, sähköalan kirjallisuudesta sekä asiantuntijoille pitämästäni haastattelusta. Haastattelin työtä varten kahta Fingrid:n asiantuntijaa. Haastattelusta on laadittu muistio, joka on liitteenä tässä työssä ja sitä on käytetty yhtenä lähteenä. Haastattelun etuna oli lisäksi se, että asiantuntijat osasivat neuvoa mistä standardeista löytyy vaatimuksia kyseisiin aihealueisiin.

## LÄHTEET

- Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot II Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto.
- Elovaara, J. & Laiho, Y. 2022. Sähkölaitostekniikan perusteet. 6. painos. Helsinki: Otatieto.
- Esittely. 2023. Fingrid. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/esittely/>. Viitattu 10.11.2023.
- Fingrid:n sähkönsiirtoverkko. 2023. Fingrid. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/fingridin-sahkonsiirtoverkko/>. Viitattu 12.11.2023.
- For a greener Finland: Siemens Energy seals largest order for SF<sub>6</sub>-free gas-insulated switchgear in Europe. 2021. Siemens Energy. Saatavilla: <https://assets.siemens-energy.com/siemens/assets/api/uuid:ef302cbf-df0d-4ae2-8387-6073ca930c21/PR-Siemens-Energy-seals-largest-order-for-SF6-free-gas-insulated-switchgear-in-Europe-1.pdf>. Viitattu 23.11.2023.
- Insinööritoimisto KTS Oy. 2023. Saatavissa: <https://kts-oy.fi/>. Viitattu 10.11.2023.
- Kaapelit, johdotus ja kaapelien asennus S22650E1. 2020. Fingrid:n sisäinen ohje.
- LIITE 1. Fingrid:n asiantuntijoiden haastattelu 22.11.2023. Liitteenä.
- Maadoitus ja ukkossuojaus S22330E1. 2020. Fingrid:n sisäinen ohje.
- SFS 6000. Pienjännitesähköasennukset. 2022. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS 6001. Suurjänniteasennukset. 2018. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
- Standardeista on hyötyä meille kaikille. 2023. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Saatavilla: <https://sfs.fi/standardeista/standardien-hyodyt/>. Viitattu 22.11.2023.
- Sähköasemat. 2023. Fingrid. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kunnossapito/sahkoasemat/>. Viitattu 12.11.2023.
- Sähköpalot ja -tapaturmat. 2023. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes. Saatavilla: <https://tukes.fi/onnettomuudet/yhteenvedot-onnettomuuksista-toimialoittain/sahkotapaturmat-ja-sahkopalot>. Viitattu: 20.11.2023.
- Säköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>. Viitattu 28.12.2023.
- Tiainen, E. 2022. D1-Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 29., uusittu painos. Espoo: Sähköinfo Oy
- Tiainen, E., Nurmi, T. & Koivisto, P. 2014. Maadoituskirja. 6., uusittu painos. Espoo: Sähköinfo Oy
- Toimipaikat. 2023. Fingrid. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sivut/yhteystiedot/toimipaikkojen-yhteystiedot/>. Viitattu 11.11.2023.

Uusi innovaatio syrjäyttää ilmastopahiksena tunnetun SF6-kaasun. 2022. Schneider Electric. Saatavilla: <https://www.sttinfo.fi/tiedote/69956708/uusi-innovaatio-syrjayttaa-ilmastopahiksena-tunnetun-sf6-kaasun?publisherId=69818837>. Viitattu 23.11.2023.

Yhtenäiset sähkömarkkinat. 2023. Fingrid. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/>. Viitattu 1.12.2023.

## **Fingrid:n asiantuntijoiden haastattelu 22.11.2023**

**Opinnäytetyö Sähköaseman GIS-rakennuksen sähköturvallisuus**

**Tiedonhankinta menetelmä**

**Haastattelijä: opinnäytetyön tekijä Samuli Tanska**

**Haastateltavat: Fingrid:n asiantuntijat Jonne Lantto ja Jarkko Jumppanen**

**Opinnäytetyön pääasiallisena tutkimus aiheena on selvittää mitä asioita on otettava huomioon sähköasemalle rakennettavan GIS-rakennuksen kiinteistö- ja piha-alueensähköjä suunniteltaessa. Aihealue rajataan 0,4 kV:n järjestelmään ja maadoituksiin asema-alueella ja rakennuksessa.**

### **Haastattelun aihealueet**

#### **Paloturvallisuus**

Mitä erityistoimenpiteitä on tulipalojen varalle? Mitä automaattisesti toimivia järjestelmiä on tilaajan vaatimuksena? Onko rakennuksessa palovaaralliseksi luokiteltuja tiloja?

*Rakennushupamielessä rakennus on yksi palo-osasto, kuitenkin teknisesti palon leviämisen estämiseksi kaikki huoneet toteutetaan erillisinä palo-osastoina. Valvomorakennukset ovat Paloturvallisuusluokassa 1 ja Suojaustasoluokka on 1.*

*Asemalla on automaattinen palovaroitinjärjestelmä, josta hälytykset ovat liitettyinä käytönvalvontajärjestelmään ja kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmään.*

*Palohälytys pysäyttää ilmanvaihdon ja tulo- ja poistoilmapiellit sulkeutuvat automaattisesti. Ilmanvaihtokone on liitetty väylän kautta rakennusautomaatiojärjestelmään.*

*Ilmanvaihtokanaviin asennetut moottoroidut palopellit (230 VAC) sulkeutuvat palohälytyksessä.*

*Peltien auki- ja kiinnitilätiedot ovat liitetty rakennusautomaatiojärjestelmään.*

*Rakennuksessa ei ole palovaaralliseksi luokiteltuja tiloja.*

#### **Suurjännitetekniikka**

Tarvitseeko kaasueristeisten kojeiden mahdolliset kaasuvuodot huomioida jotenkin kiinteistön sähköissä? Tuleeko kaasun poiston toimia automaattisesti?

*GIS-järjestelmän painemittaukset ja hälytykset ovat liitettyinä käytönvalvontajärjestelmään. GIS-kaasunpoistojärjestelmä käynnistetään käsin, jos kaasuvuoto on niin suuri, että tila pitää tuulettaa.*

Miten ja missä järjestelmissä tulee huomioida suurjänniteverkon oikosulkuvirrat?

*Oikosulkuvirrat huomioidaan GIS-laitteiston mitoituksessa. Oikosulkuvirrat huomioidaan myös työmaadoittamisessa. Esimerkiksi työmaadoituspisteissä ja työmaadoitusvälineissä.*



Mitä ja miten huomioidaan pien- ja suurjännitejärjestelmien väliset häiriöt?

*Signaalikaapelit pidetään erillään voimakaapeleista. Kiinteistöautomaation heikkovirtakaapeleille oma FE-kisko ja toiminnallinen maadoitus.*

*Kiinteistösähkön suurivirtaisten laitteiden syöttökaapeleina voisi käyttää esimerkiksi MCMK-tyyppisiä kaapeleita, joissa on konsentrinen johdin häiriöiden vähentämiseksi.*

Mitä suurjännitetekniikan asioita on huomioitava johtoteitä suunniteltaessa?

*Häiriöiden vähentäminen on otettava huomioon johtoteiden reiteissä ja päällekkäisissä johtoteissä on huomioitava riittävä korkeus ero.*

## **Maadoitukset**

Mitkä tekijät vaikuttavat maadoitusjärjestelmän suunnitteluun? Suurjännitelaitteistot?

*Valmistaja määrittelee kojeisto maadoitustavan. Yksittäisellä kojeiston valmistajalla saattaa olla erityisvaatimuksia ja ne pyritään huomioimaan aina. Kojestovalmistajia ei ole tarkoitus sulkea pois eri maadoitusvaatimusten takia.*

*Fingridin rakennetun alueen maadoitukseen vaikuttaa kytkinlaitoksen jännitetaso 110/220/400 kV. Asemalle tulevat voimajohdot maadoitetaan aseman maadoituselektrodiin. Sähköaseman maadoituselektrodi ja asemalle tulevat voimajohdot määrittävät sähköaseman vaarajännitetaso yhdessä vikavirtojen suuruuden ja suojauksen toiminta-ajan.*

*Standardit SFS-6001 ja SFS-6000 sekä Fingridin omat vaatimukset.*

Perustuvatko jotkin maadoitusratkaisut maadoitusjärjestelmään tehtäviin määräaika- tarkastusmittauksiin?

*Sähköaseman suunnittelussa lasketaan sähköaseman vaarajännitetaso. Ennen sähköaseman käyttöönottoa tehdään maadoitusten ehjyysmittaus ja sähköaseman valmistuttua maadoitusimpedanssimittaus, jonka perusteella vaarajännitetaso varmennetaan. Mittaukset uusitaan 12 vuoden välein ja laskennassa käytetään kymmenen vuoden ennustetta. Mittaustulos vaikuttaa asemalle tehtäviin maadoitusjärjestelmäratkaisuihin. Määräaikaistarkastuksissa havaitaan mahdollisesti myös maadoituspuutteita, jotka korjataan.*

Perustuuko laaja potentiaalintasaus kosketusjännitteiden hallintaan?

*Kosketusjännitteiden hallinta perustuu laajaan potentiaalintasaukseen sähköasemalla. Fingridin sähköasemat ovat erillisiä laajoja maadoitusjärjestelmiä, jotka pyritään pitämään erillään muista maadoitusjärjestelmistä, esimerkiksi jakeluverkon maadoitusjärjestelmästä.*

Yhdistyykö aseman laaja maadoitusjärjestelmä liittymiskaapelin kautta jakeluverkon maadoitusjärjestelmään? Onko tästä haittaa?

*Kantaverkon maadoitukset pyritään pitämään erillään jakeluverkon maadoituksista suurien maasulkuvirtojen vuoksi. Kun sähköaseman apusähkösyöttö otetaan jakeluverkolta, tulee sille olla oma muuntamo, jonka maadoitukset kytketään sähköaseman laajaan maadoitusverkkoon. Jakeluverkon muuntamo täytyy erottaa jakeluverkon muusta maadoitusjärjestelmästä.*

Toteutetaanko salamasuojaus aina ja mitkä tekijät suojaukseen vaikuttavat?

*Salamasuojaus toteutetaan pääsääntöisesti aina. Sähköasemien salamasuojaus toteutetaan ukkosköysillä ja ukkosmastoilla. Sähköasemien jakeluveron syötöissä on yleensä ylijännitesuojat. Jakeluverkon syöttö asennetaan yleensä toiseen AC-pääkeskukseen ja siihen tulee silloin myös ylijännitesuoja. Myös päämuuntajille asennetaan ylijännitesuojia.*

Mikä on putkiin asennettavan saattomaadoituksen tarkoitus?

*Kun putkessa kulkee jotain johtavaa materiaalia, toimii saattomaadoitus maadoituksen parannuksena, ja turvaa potentiaalintasauksen normaali- ja vikatilanteessa. Saattomaadoitus toimii myös häiriönpoistajana.*

Mitä hyötyä saavutetaan betonijalustojen alle asennettavilla J-lenkeillä?

*J-lenkin tarkoitus on parantaa potentiaalintasausta. Asennetaan syvemmälle kuin muu maadoitusverkko. J-lenkki tulee asentaa betonijalustan mahdollisen routaeristeen alapuolelle. Sähköasemalla kaiken maadoittamisen ja potentiaalintasauksen tarkoituksena on estää vaarallisten kosketusjännitteiden synty.*

## **Varasähkökäyttö**

Mitkä järjestelmät tulee olla turvattuna varavoimajärjestelmällä?

*Sähköaseman varasähkönsyötön tulee kyetä kattamaan sähköaseman omakäyttö vähintään 24 tunnin ajan. Varmennus on toteutettu akustoilla ja lisäksi erikseen määritellyille asemille asennetaan erillinen varavoimakone. Talotekniset järjestelmät lukuun ottamatta turvajärjestelmiä eivät ole varmennettuja.*

Mitä erityistä on huomioitava akkuhuoneen talotekniikassa? Sähkönsyötöt, maadoitukset, johtotiet, ilmanvaihto, atex-tila?

*Akuissa voi muodostua vetyä, mikä on otettava huomioon akkuhuoneiden ilmanvaihdon ja ilmastoinnin suunnittelussa. Akkuhuoneen ilmanvaihtoa valvotaan virtaushälyttimellä, joka on liitetty käytönvalvontajärjestelmään. Fingridin vaatimuksesta siirtoilmakanavat kanavoidaan lattianrajaan ja poistoilmaventtiilit kanavoidaan lähelle kattoa, jotta ne yhdessä mahdollistavat paremman läpituuletuksen akkuhuoneesta. Poistoilmapuhaltimia on kaksi ja niillä on erilliset sähkönsyötöt. Molemmat puhaltimet käyvät akustojen pikalataustilanteessa. Puhaltimet pysäytetään palohälytyksen sattuessa ja poistoilmapellit sulkeutuvat. Fingridin on kieltänyt käyttämästä akkuhuonetta kaapeleiden kuljettamiseen palo-osastolta toiseen muutoin kuin erityistapauksissa.*

## **Tarkastukset**

Liittyykö kiinteistösähköihin käyttöönotto- ja varmennustarkastuksen lisäksi muita tarkastuksia?

*Palovaroitinjärjestelmä tarkastetaan kolmannen osapuolen toimesta. Palotarkastaja tarkastaa poistumisopastus valaistuksen.*

## **Yleistä**

Mitä sähköturvallisuuteen liittyviä asioita korostaisitte kiinteistösähkösuunnittelijalle?

*Kohdekohtaisen sähkötyöselostuksen laatimiseen huomioiden kyseisen aseman erityisvaatimukset. Sähköjärjestelmän helppokäyttöisyyttä. Potentiaalintasauksen tärkeys ja huolellisuus.*

Missä ohjeissa on keskeiset kiinteistösähköjen suunnitteluun vaikuttavat Fingrid:n omat ohjeistukset?

*Kiinteistösähkön suunnittelun vaatimuksia ei voida eritellä suurjännitelaitteistojen vaatimuksista yksiselitteisesti, koska kumpaankin suunnitteluun vaikuttaa SFS-6000 ja SFS-6001 standardit. Esi-merkkinä sähköaseman portin maadoitukset ja portin sähköistäminen.*

