



Sähkösuunnittelun dokumentointi

Janne Korhonen

Opinnäytetyö, AMK

Marraskuu, 2023

Insinööri (AMK), Sähkö- ja automaatiotekniikka

Korhonen Janne

Sähkösuunnittelun dokumentointi

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Marraskuu 2023, 82 sivua.

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: Kyllä

Tiivistelmä

Sähkösuunnittelun dokumentointi on yksi laadukkaan toteutuksen kulmakivistä. Valtioneuvoston sähköturvallisuuslaki ja asetukset sekä SFS 6000 sarjan standardit toimivat sähkösuunnittelijan ohjenuorana suunnittelulle. Sähkösuunnittelijan on osattava etsiä ja tulkita edellä mainittuja asiakirjoja työssään päivittäin.

Toimeksiantajalla oli tarve yhtenäistää sähkösuunnittelun dokumentointi, sillä dokumentointi vaihteli projekti-kohtaisesti ohjeistuksen puuttuessa. Tavoitteena oli luoda ohjeistus sähkösuunnitteluun, jossa tuodaan esille tärkeimmät huomioon otettavat asiat ja josta löytää tarkentavat tiedot kullekin sähkösuunnittelun osa-alueelle. Yhdeksi lyhyesti esiteltäväksi järjestelmäksi valikoitui turvavalaistusjärjestelmä, josta esitellään perusteet ja suunnittelun rajapinnat.

Opinnäytetyön tietoperustassa perehdyttiin valtioneuvoston sähköturvallisuuslakiin 1135/2016, SFS 6000 standardisarjaan sekä Sähköinfon ST-korttien ohjeistuksiin. Työssä pyrittiin luomaan ohjeistus huomioon otettavista asioista hankesuunnittelusta aina toteutusta palvelemaan suunnitteluun asti. Työssä käytiin läpi suunnittelun eri vaiheiden sisältöjä, sähköjärjestelmät ja esimerkkilaskelmien kautta eri mitoitustilanteita. Lopuksi käytiin työn tuloksia läpi ja esitettiin kehitysehdotus.

Työn lopputuloksena muodostui kattava läpileikkaus rakennussähkösuunnittelun rajapinnoista, vaatimuksista, jotka sähkösuunnittelijan on tunnettava ja osattava ottaa huomioon työssään. Ohjeistuksen myötä sähkösuunnittelijan on helpompi havaita huomioon otettavat asiat suunnittelutyössään, ja työtä voidaankin käyttää yritykseen tulevien uusien sähköinsinöörien apuna.

Avainsanat (asiasanat)

Sähkösuunnittelu, dokumentaatio, automaatiosuunnittelu, rakennussähkösuunnittelu, mitoitus, turvavalaistusjärjestelmä

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Korhonen Janne

Electrical design documentation

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, November 2023, 82 pages

Degree Programme in Electrical and Automation Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Electrical design documentation is one of the cornerstones of high-quality electrical design. The Government Electrical Safety Act and Decrees, as well as the standards of the SFS 6000 series, serve as a guideline for the electrical designer. The electrical designer must be able to search for and interpret the above documents in his or her work daily.

Fimpec Engineering had a need to standardize the documentation of electrical design, as the documentation varied from project to project in the absence of instructions. The aim was to create guidelines for electrical design, where the most important issues to be considered are presented and instructions where to find more detailed information for each aspect of electrical design. A safety lighting system was selected as one of the briefly presented systems, from which the basics and design interfaces are presented.

The knowledge base of the thesis was familiarised with the Government Electrical Safety Act 1135/2016, the SFS 6000 standard series, and the instructions of the Sähköinfo ST-cards. The aim of the work was to create guidelines on the issues to be considered, from project planning to planning that serves the implementation. The work covered the contents of the different design stages, electrical systems, and different dimensioning situations through example calculations. Finally, the results of the work were reviewed, and a development proposal presented.

The end result of the work was a comprehensive cross-section of the interfaces and requirements that the electrical designer must know and must be able to consider in his or hers work. The instructions make it easier for the electrical designer to detect the issues to be considered in their design work and the work can be used to help new electrical engineers entering the company.

Keywords/tags (subjects)

Electrical design, documentation, automation design, building electrical design, dimensioning, safety lighting system

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Yritysesittely.....	6
3	Taustaa.....	7
4	Tutkimusasetelma	7
5	Sähkösuunnittelua koskevat lait ja asetukset	8
6	Dokumentit	9
6.1	Dokumentit suunnittelun eri vaiheissa	9
6.2	Toteutussuunnittelu	11
7	Suunnittelun vaatimuksia	12
7.1	Suojausvaimusten toteutumisen varmistaminen suunnittelussa	12
7.2	Suunnittelun lähtötiedot	13
7.3	Oikosulkusuojaus.....	13
7.4	Vikasuojaus.....	15
7.5	Jännitteenalenema.....	16
7.6	Selektiivisyys.....	18
8	Rakennusautomaatiosuunnittelu	18
8.1	RAU-suunnittelun vaiheet ja dokumentit	19
9	Liittymä ja sen mitoitus.....	21
9.1	Liittymä.....	21
9.2	Mitoitus	22
9.3	Syötön automaattinen poiskytkentä.....	25
9.4	Maksimi jännitteenalenema	26
10	Suojauksen selektiivisyys	27
11	Ylikuormitussuojaus	29
11.1	Johdonsuojakatkaisijat ja muut katkaisijat	31
11.2	Sulakkeet	33
12	Vikavirtasuojat	36
12.1	Vikavirtasuojan valinta	37
	TN-järjestelmä	37
	TT- järjestelmä	38
12.2	Vikavirtasuojien tyypit.....	38
12.3	Vikavirtasuojan mitoitus	39
12.4	Vikavirtasuojien vaatimukset	40

13 Keskukset	40
13.1 Suunnittelu ja dokumentointi	40
13.2 Sähköpääkeskus	41
13.3 Alakeskukset.....	42
13.4 Keskusten mitoitus	43
14 Maadoitukset	43
14.1 Jakelujärjestelmät	44
14.2 Maadoituselektrodi	45
14.3 Maadoitusjohtimet	46
14.4 Päämaadoituskisko.....	46
14.5 Suojajohtimet	47
14.6 Potentiaalintaus	48
15 Turvavalaistussuunnittelu	49
15.1 Järjestelmän suunnittelu	51
15.2 Dokumentointi	52
15.3 Virransyöttöjärjestelmät ja ryhmitys	52
15.4 Osoitteellinen ja itsetestaava järjestelmä	54
15.5 Turvavalaisinjärjestelmän kaapelointi	54
16 Tulokset.....	55
Lähteet	56
Liitteet	60
Liite 1. Mitoituksen laskukaavoja ja kertoimia.....	60
16.1 Oikosulku.....	60
16.2 Vikasuojaus.....	63
16.3 Jännitteenalenema.....	64
16.4 Liittymän mitoitus	65
16.5 Ylikuormitussuojaus	70
16.6 Keskuksen mitoitus	71
16.7 Mitoituksen kertoimet	71
16.8 Suojajohtimen mitoitus laskennallisesti	73
Liite 2. Turvavalot.....	74
Liite 3. Esimerkkikaaviot.....	76

Kuviot

Kuvio 1. Esimerkki katkaisijoiden ja sulakkeen toimintakäyristä.....	14
Kuvio 2. Vaadittuja poiskytkentäaikoja havainnollistava jaottelu	16
Kuvio 3. Karkea esitys talotekniikkasuunnittelijoiden tiedonvaihdosta suunnitteluprosessissa RAU- suunnittelijan näkökulmasta.....	19
Kuvio 4. Ylikuormitussuojan valinta	30
Kuvio 5. B- ja C-tyyppin johdonsuojakatkaisijoiden ominaiskäyrät	31
Kuvio 6. Esimerkki vikavirtasuojauksen selektiivisyydestä	37
Kuvio 7. Maadoitus, potentiaalintasaus ja syötön kytkennät järjestelmässä, jossa liittymän syötössä PEN- johdin.....	44
Kuvio 8. Potentilaalintasaus	48

Taulukot

Taulukko 1. Suurimmat sallitut poiskytkentäajat vaihto- ja tasasähköllä alle 32A kiinteästi liitetyt laitteet ja alle 63A pistorasia ryhmät	16
Taulukko 2. Jännitteenaleneman suositukset.....	17
Taulukko 3. Jännitteenaleneman laskentakaavat kaapeleille ja johtimille	17
Taulukko 4. Pienin oikosulkuvirta, jonka mukaan jakeluverkon vikasuojaukseen käytetty ylivirtasuojia voidaan mitoittaa	26
Taulukko 5. Katkaisijoiden ylikuormitusreleen laukaisurajavirta	31
Taulukko 6. Johdonsuojakatkaisijoiden pienimmät oikosulkuvirrat	32
Taulukko 7. Johdonsuojakatkaisijoiden ominaisarvoja	33
Taulukko 8. gG-sulakkeiden toimintarajavirrat	34
Taulukko 9. k-arvoja gG-tyypin sulakkeet	35
Taulukko 10. Johtimien kuormitettavuuden vähimmäisarvot gG-sulakkeilla	36
Taulukko 11. Maadoitusresistanssin maksimiarvon ja vikavirtasuojan mitoitustoimintavirran suhde TT-järjestelmässä.....	38
Taulukko 12. Eri vikavirtasuojien tyypit ja ominaisuudet	39
Taulukko 13. Maadoituselektrodien minimimitat	46
Taulukko 14. Suojajohtimen minimipoikkipinnat	47
Taulukko 15. Valaisimen suurin valovoima häikäisyalueella	50
Taulukko 16. Esimerkkejä turvavalaistuksen vaatimuksesta eri rakennuksissa	51

1 Johdanto

Sähkösuunnittelun yksi kulmakivistä on laadukas ja kattava dokumentointi. Kattava dokumentaatio varmistaa laadukkaan lopputuloksen, joka on myös lainsäädännön näkökulmasta oikein toteutettu. Sähkösuunnittelu pohjaa valtioneuvoston sähköturvallisuuslakiin ja asetuksiin sekä SFS 6000 sarjan standardeihin. Sähkösuunnittelijan on työssään osattava etsiä ajantasainen tieto suunnittelun järjestelmän toteutukseen niin, että kaikki oikeat sähkötekniset yksityiskohdat projektikohtaisesti ovat otettu huomioon, järjestelmän kaikki mitoituslaskelmat ovat laskettu oikein ja suojalaitteet ovat valittu oikein järjestelmän suojaukseen.

Toimeksiantajalla oli puutteita rakennussähkösuunnittelun dokumentoinnin yhtenäisyydessä eri projektien välillä, joten työlle oli selvä tarve. Dokumentoinnin laatimiseen sekä itse dokumentoinnin sisältöön haluttiin luoda ohjeistus, joka tulisi sähkösuunnitteluosaston käyttöön ja näin yhtenäistäisi erikokoisten projektien dokumentoinnin laadinnan. Tällä hetkellä ohjeistusta dokumentaatioon ei toimeksiantajalla ole ja dokumentaatio tuotetaan projektikohtaisesti tilaajan vaatimusten mukaisesti. Työn tavoitteena oli siis kehittää toimeksiantajan rakennussähkösuunnittelun dokumentointia ja luoda ohjeistus sähkösuunnitteluun.

Työssä tarkastellaan myös suunnitteluprosessin eri vaiheita ja niiden vaikutusta dokumentaation sisältöön. Kehittämistyön tarkoituksena on myös antaa lukijoille näkemystä sähkösuunnittelun vaiheista, tärkeimmistä huomioon otettavista asioista ja esittää laskennallisia esimerkkejä mitoituslaskelmista. Työssä esitellään myös yksi yleinen järjestelmä, joka kuuluu sähkösuunnittelijan työhön. Esiteltäväksi järjestelmäksi valikoitui turvavalaistusjärjestelmä.

Dokumentointi on tärkeässä roolissa kokonaisuuden kannalta niin laadun, kuin turvallisuuden kannalta. Jotta loppudokumentit voidaan saattaa vaadittuun kuntoon, vaaditaan dokumentaatiota suunnittelusta käyttöönottoon asti. Dokumentaatio tuotetaan loppukäyttäjää varten ja on tärkeää, että dokumentaatio vastaa lain määreitä, sisältää kaiken tarpeellisen ja on selkeä tarjouskilpailua sekä loppukäyttäjää varten. Puutteellinen, virheellinen tai kokonaan puuttuva dokumentointi vähentää myöhästyttää työn luovutusta, aiheuttaa taloudellisia menetyksiä tai jopa terveyteen kohdistuvia riskejä.

Työssä tutustuin niin sähköturvallisuuslain, SFS 6000 standardisarjan sekä ST-korttien näkökulmasta dokumentaation vaatimuksiin ja näiden avulla luotiin ohjeistus, joka täyttää lain vaatimukset, sekä yhtenäistää yrityksen dokumentoinnin. Työssä perehdyttiin suunnittelun vaiheisiin ennen itse asennustöiden aloittamista ja tutustuttiin sähköturvallisuuslain, SFS 6000 standardisarjan sekä ST-korttien näkökulmasta dokumentaation vaatimuksiin.

2 Yritysesittely

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Fimpec Engineering Oy (tekstissä toimeksiantaja), joka on osa Fimpec Group Oy:tä. Fimpec Group Oy keskittyy toimimaan projektikonsulttina teollisuuden ja energia-alan isommissa hankkeissa, sekä erityisasiantuntijana infra- ja kiinteistösektorilla.

Toimeksiantaja toteuttaa suunnittelua kansainvälisiin projekteihin eri teollisuuden aloilla. Tärkeimmät teollisuuden alat, joille suunnittelua ja projektinjohtoa tehdään ovat biotuote-, metsä-, kemian- ja kaivosteollisuus. Energiatehokkuuden ratkaisut ovat keskeisessä osassa yrityksen osastista ja suunnittelupalveluihin kuuluvat:

- automaatio-ohjelmointi
- automaatio ja instrumentointisuunnittelu
- sähkösuunnittelu
- prosessisuunnittelu
- laitossuunnittelu
- LVI-suunnittelu
- rakennesuunnittelu
- tekninen laskenta (Fimpec suunnittelupalvelut n.d.).

Yrityksen toimipaikkoja on Suomessa usealla eri paikkakunnalla; Kouvola, Kotka, Jyväskylä, Helsinki, Espoo, Turku, Oulu ja Tampere. Ulkomailla on myös toimistoja; Ruotsi, Viro, Saksa ja Uruguay. Osasto, jonka käyttöön tämä kehittämistyö tulee, sijaitsee Jyväskylässä. Osasto toteuttaa teollisuuden sähkö- ja instrumenttisuunnittelua, sekä tarjoaa asennusvalvontaa ja käyttöönottopalveluita. Koko konsernin palveluksessa vuonna -22 oli yli 400 alan ammattilaista, liikevaihto yli 40Miljoonaa euroa ja toteutettuja projekteja koko historian ajan tuhansia. (Fimpec yrityksenä n.d.) Fimpec Engineering Oy:n vuoden -22 tilikauden liikevaihto oli 17,8M ja liiketulos 263.000€ (Kauppalehti n.d.).

3 Taustaa

Sähkösuunnittelijan työhön olennaisena osana kuuluu dokumenttien laatiminen niin, että suunnitelmien perusteella tehdyt asennukset täyttävät SFS 6000 standardien vaatimukset ja sitä kautta sähköturvallisuuslain (1135/2016) sekä valtioneuvoston asetusten mukaiset sähkölaitteistojen sähköturvallisuuden ja sähkömagneettisen yhteensopivuuden vaatimukset (SFS-6000-1:2022, 6).

Suunnittelijan tulee huomioida työssään entistä enemmän energiatehokkuutta ja suurimmat mahdollisuudet vaikuttaa energiatehokkuuteen on valaistussuunnittelulla. Sähkösuunnittelijan tulee ymmärtää laajoja kokonaisuuksia, osattava tarjota ratkaisuja, jotka täyttävät eri osapuolien vaatimuksia ja toimia koko hankkeen ajan tilaajan edunvalvojana, sekä teknisenä asiantuntijana.

Sähködokumentointi kattaa hyvin monia osa-alueita ja kehittämistyössä keskitytään sähköjärjestelmien suunnittelu- ja loppudokumentaatioon. Dokumentaatiosta voi tulla ison projektin myötä hyvinkin laajaa, sillä erilaisia järjestelmiä on useita. Tällaisia järjestelmiä ovat mm. turvavalo-, palo-, atk-, äänentoisto- ja antennijärjestelmät. Myös erilaisia piirustuksia, kaaviota ja luetteloita on useita, mm. asema-, taso-, pistesijoitus-, johdotuspiirustukset, maadoituskaaviot, sekä laitteiden /koneiden teho-, jännite- ja virta-arvo-, piirustus- ja laiteluettelot. (ST 13.28, 9.)

Suunnitteludokumenttien tavoitteena voi olla esisuunnittelu, lähtötietojen määrittely, urakkalaskentaan liittyvien dokumenttien laatiminen, viranomaisdokumenttien laatiminen jne. Suunnittelu-tietojen dokumentointimuoto määräytyy tilaajan vaatimusten mukaisesti. Tilaajalla voi olla myös vaatimuksia tietojen suojaukselle ja salassapidolle. Nämä on otettava huomioon dokumentteja laadittaessa ja käsiteltäessä. Dokumentit laaditaan noudattaen hyvää yleistä käytäntöä. (ST 13.28, 9.)

4 Tutkimusasetelma

Tutkimusasetelmana opinnäytetyössä käytetään kvalitatiivisen- sekä kehittämistutkimuksen asetelmaa. Toimeksiantajalla on tunnistettu ongelma sähkösuunnittelun dokumentoinnissa ja kehittämistutkimuksen kohteena on siis puutteellinen dokumentoinnin ohjeistus. Eli kyseessä on toimeksiantajan lähtökohdista noussut tutkimus- ja kehittämisaihe, joten tavoite on saada suoraan toimintaan käytännön hyötynä sähkösuunnitteluosastolle.

Laadullisen tutkimuksen perustana työssä käytettiin SFS 6000 sarjan standardeja, sähköturvallisuukslakia ja valtioneuvoston asetuksia, joista muodostuu perusta vaaditulle dokumentoinnille. Tutkimuksen luotettavuutta arvioidaan tarkastelemalla työn laadullista onnistumista eli valideettia sekä reliabiliteettia eli sitä, että on tutkittu oikeaa asiaa.

Kanasen (2015, 35) mukaan kehittämistutkimuksessa kehitetään tuotetta tai menetelmää ja kehittämistutkimus tähtää lopulta muutokseen tutkittavassa aiheessa. Itse kehittämistyötä on monenlaista, eikä kehittämistutkimusta pidetä omana erillisenä tutkimusmenetelmänä. Toisin kuin perinteisen tutkimuksen menetelmässä, kehittämistutkimus taas pyrkii poistamaan ongelman pelkän ratkaisuesityksen sijaan. (Mts. 35-40.)

5 Sähkösuunnittelua koskevat lait ja asetukset

Sähköturvallisuutta säännellään sähköturvallisuukslailla ja pienjännitedirektiivillä. Valtioneuvoston sähköturvallisuukslaki 1135/2016 toimii sähkösuunnittelussa perustana, johon kaikki sähkösuunnittelu on pohjattava. Laki luo edellytykset, että sähkölaitteet ja -laitteistot ovat oikein ja turvallisesti suunniteltu ja asennettu.

Sähköturvallisuukslaissa (1135/2016, 6 §) määritellään sähkölaitteita ja -laitteistoja koskevat yleiset vaatimukset. Laissa määritellään seuraavasti:

Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että:

1. *Niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa.*
2. *Niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä.*
3. *Niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.*

(Sähköturvallisuukslaki 1135/2016, 6 §)

Edellä mainitut vaatimukset tarkoittavat siis sitä, että vaikkei sähkösuunnittelu ole luvanvaraista, kuten sähköasennustyö, on suunnittelijan tunnettava sähköturvallisuukslaki ja suunnittelutyössään

osattava ottaa huomioon sen hetkiset säädökset sekä suunnittelukohteen käyttöolosuhteet ja sähkölaitteiston käyttäjät.

6 Dokumentit

Sähköasennusten dokumentointiin laadittavat kaaviot, piirustukset, taulukot ovat laadittava SFS-EN 61082 ja SFS-EN 81346 standardien mukaisesti ja käytettyjen piirrosmerkkien oltava IEC 60617 mukaisia tai muuten yksiselitteisiä (SFS 6000-5-51:2022, 9). Dokumenteista on käytävä ilmi erityisesti seuraavat tiedot:

- Virtapiirien laji ja rakenne (johtimien lukumäärä ja koko, johtolaji, johtojen tyypit, kulutus-pisteiden sijainnit).
- Tiedot, joiden avulla suoja-, kytkin, ja erotuslaitteet tunnistetaan, sekä niiden ominaisuudet (SFS 6000-5-51:2022, 9).

Dokumenttien tulee myös sisältää jokaisesta piiristä seuraavat yksityiskohtaiset tiedot:

- johtimen tyypit ja poikkipinnat
- virtapiirien pituudet, suojausta ja jännitteenalenemien laskentaan
- suojalaitteiden mitoitusvirrat tai asettelut
- suojalaitteiden katkaisukyvyt ja prospektiiviset oikosulkuvirrat (SFS 6000-5-51:2022, 9-10).

6.1 Dokumentit suunnittelun eri vaiheissa

Suunnitteluvaihe, hankkeen erikoispiirteet ja urakkamuoto määrittelevät mitä dokumentteja tuotetaan missäkin vaiheessa. Useimmiten edellisen vaiheen dokumentit toimivat perustana seuraavalle vaiheelle ja usein on myös niin, että edellisen vaiheen dokumentit lähinnä täydentyvät eri vaiheissa. Dokumentoinnin näkökulmasta suunnittelun vaiheita ovat hanke-, ehdotus-, yleis-, toteutus suunnittelu. Näiden lisäksi on vielä vastaan- ja käyttöönotto, josta luodaan dokumentointia, mutta opinnäytetyö ei käsittele loppuvaiheen dokumentointia. (ST 13.28, 10.)

Hankesuunnittelu on projektin ensimmäinen vaihe ja tässä vaiheessa kerätään projektin pohjatietoja. Dokumentit ovat tässä vaiheessa yleensä tekstimuotoisia selvityksiä, muistioita ja raportteja projektin kohteesta. Hankesuunnittelun vaiheessa määritellään tekniset päätilat, liittymä asiat, talotekniset tavoitteet sekä määritellään laatutaso. (ST 13.28, 10.)

Ehdotussuunnitteluvaiheessa tarkistetaan hankesuunnittelun tavoitteet, selvitetään kohteen liittymävaihtoehdot ja tehdään ehdotuksia toteutuksen osalta, mikäli tarvetta esittää esim. tilaratkaisuihin (ST 13.28, 10). Laadittavia dokumentteja tässä vaiheessa:

- asemapiirustus
- liittymäselvitys
- laskelmat
- tyyppitilojen kalustus- ja valaistusperiaatteet
- kuvaukset ja luonnokset eri vaihtoehdoista (ST 13.28, 10).

Yleissuunnitteluvaiheessa valitaan toteutusvaihtoehto, laaditaan yleisdokumentit valitusta vaihtoehdosta sekä päivitetään laskelmat ja visualisointikuvat. Tarkennettaviin asioihin kuuluu tilavaraukset ja sähköjärjestelmien johtotievaraukset koko projektikohteesta (ST 13.28, 10). Tämän vaiheen määriteltäviä asioita ovat:

- tilaluokitukset
- jakelujärjestelmät
- maadoitusjärjestelmät
- järjestelmäkaaviot
- ohjausjärjestelmät
- mahdolliset varmennetut käytöt
- ryhmitysalueet
- valaistusratkaisut
- häiriölähteet
- suojausperiaatteet (ST 13.28, 10).

Laadittavia dokumentteja tässä vaiheessa:

- järjestelmäkuvaus
- asemapiirros
- sähkötilojen sijoituspiirustukset
- selvitys liittymästä
- jakelu- ja järjestelmäkaaviot
- pääjohtoreitit

Luetelma jatkuu seuraavalla sivulla

Luetelma jatkuu edelliseltä sivulta

- alustavat laiteluettelot
- tyyppitilapistesijoitukset (ST 13.28, 10).

6.2 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnittelu jakautuu kahteen vaiheeseen, hankintoja palvelevaan – sekä toteutusta palvelevaan suunnitteluun. Toteutussuunnitteluvaiheessa ei yleensä uusia dokumentteja luoda, sillä tässä vaiheessa suunnitelmat on jo hyväksytty ja aiempien vaiheiden dokumentteja täydennetään seuraavasti:

- Tarkennetaan jakelualueet, maadoitus- ja potentiaalintasausjärjestelmät, tilaluokitukset.
- Jakelujärjestelmän ja -reittien mitoitus.
- Määritellään ja sijoitetaan jakelujärjestelmät, johtotiet ja -järjestelmät, ohjausratkaisut sekä valaisimet.
- Pää- ja piirikaavioiden luonti.
- Piirikaavioiden toimintaselostukset, etenkin logiikkaohjatut lähdöt.
- Ryhmitysten ja johdotusten suunnittelu.
- Sähkölaitteiden mitoitus- ja tehokalkelmat, suojausten mitoitus ja sähkölaitteiden sijoittelu.
- Järjestelmäkaaviot laite- ja kaapeli esimerkkeineen.
- Laiteluettelot.
- Määritellään asennustavat.
- Kaapelinvetoluettelot ja kaapeleiden numerointi (ST 13.28, 11).

Hankintoja palveleva suunnittelu

Tässä suunnitteluvaiheessa pyritään dokumentoimaan mahdollisimman selkeästi tekniset ratkaisut asennustapojen ja mitoitusosien osalta määrälaskentaa varten. Suunnittelun laajuus ja tarkkuus niin, että kohteen laatutaso, työtavat ja rakennusosien laajuus voidaan määrittellä tässä vaiheessa toteutuskustannusten tarkkuudella. Tarkennettavia dokumentteja tässä vaiheessa ovat:

Luetelma seuraavalla sivulla

- tasopiirustukset
- keskusten pääkaaviot mitoitus-tietoineen
- lähtöjen mallipiirikaaviot kaikista lähtötyypeistä
- työturvallisuusliitteen täydentäminen (ST 13.28, 11).

Toteutusta palveleva suunnittelu

Tässä suunnitteluvaiheessa laadittavia dokumentteja ovat sähköselostus, pääkaaviot ja piirikaaviot siinä laajuudessa ja niin yksityiskohtaisesti, että näillä tiedoilla kyetään jo toteuttamaan asennukset. Tämä vaihe täydentää hankintoja palvelevia suunnitelmia seuraavasti:

- Asemapiirustukseen ulkoalueen asennukset.
- Tasopiirustuksiin laitteiden, pisteiden ja valaistuksen johdotukset.
- Ryhmitys-, mitoitus-, ja korkomerkinnät (ST 13.28, 11.).

Esimerkkikaavioita esitelty liitteessä 3.

7 Suunnittelun vaatimuksia

Suunnittelulle on lain ja standardien näkökulmasta monia vaatimuksia sekä alalla on myös runsaasti viranomaisvaatimuksia. D1 käsikirjassa (D1-2022) tiivistetään ja havainnollistetaan näitä vaatimuksia pohjaten SFS 6000 standardisarjaan seuraavien lukujen mukaisesti.

7.1 Suojausvaatimusten toteutumisen varmistaminen suunnittelussa

SFS 6000: osassa 1 painotetaan sähköasennusten suojauksen perusvaatimuksen ottamista huomioon suunnitteluvaiheessa tehtävillä laskelmilla tai muulla tavoin tehdyillä varmistuksilla. Näillä tarkoitetaan ensisijaisesti oikosulku- ja ylikuormitussuojauksia, sekä vikasuojauksen toteutumista. Ehdottomia vaatimuksia jännitteenalennemalle tai suojauksen selektiivisyyden tarkastamiselle ei SFS 6000 standardi esitä, mutta suunnitteluvaiheessa on nämäkin syytä ottaa huomioon ja tarkastaa. Suunnitteluvaiheessa täytyy määritellä suojauksen toteutustapa, mikäli asennuksissa täytyy toteuttaa yli- tai alijännitesuojauksia. Erikoistilojen standardeissa saattaa olla erilaisia vaatimuksia selektiivisyyden varmistamiselle. Esimerkkinä SFS 6000-7-710 lääkintätilat, joissa suojauksen selektiivisyys on aina varmistettava. (D1-2022, 26-27.)

7.2 Suunnittelun lähtötiedot

Edellä mainittuja suojausvaatimuksia varten täytyy suunnitteluvaiheessa olla selvillä mahdollisimman tarkasti kaikki tarpeelliset lähtötiedot. Odotettavissa olevat kuormitusvirrat varoineen tulee olla selvitetty johdon mitoituksen ja ylikuormitussuojauksen kannalta. Jakeluverkkoyhtiöltä saa tiedon liittymiskohdan pienimmästä maasulkuvirrasta, tämä on oleellinen vikasuojauksen toimivuuden kannalta. (D1-2022, 27.) Verkkoyhtiöltä saatavaan tietoon kuuluu myös liittymiskohdassa esiintyvä suurin prospektiivinen oikosulkuvirta (SFS 6000-4-43:2022,10.)

7.3 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojauksen tulee toteutua missä tahansa kohtaa johtoa tapahtuvassa viassa, sekä minkä tahansa johtimien välisessä oikosulussa. Oikosulkusuojauksen kaksi tärkeintä vaatimusta ovat, katkaista suurin piirissä esiintyvä prospektiivinen oikosulkuvirta ja poiskytkentä on tapahduttava ennen suojattavan piirin vaurioitumista eli ennen kuin johtimien eristeet vaurioituvat. (D1-2022, 139.) Johtimien suurin sallittu käyttölämpötila jatkuvassa käytössä riippuu eristeaineesta. PEX eristeisissä suurin sallittu lämpötila on +90 °C ja PVC-eristeisissä +70 °C. (Erkkilä, Härkönen, Kauppi, Koivisto, Piikkilä & Tiainen 2019, 42.)

Suunnittelun näkökulmasta on selvitettävä keskusten suurimmat ja pienimmät oikosulkuvirrat, sekä pienin oikosulkuvirta ryhmäjohdon päässä. Laskettaessa minimioikosulkuvirtaa johtimien loppupäässä eli kun varmistetaan oikosulkusuojauksen riittävän nopeaa toimintaa ja määritellään maksimi johdinpituutta, käytetään resistanssiarvoja 70 °C:ssa. Kun taas lasketaan maksimi oikosulkuvirtaa johtimien alkupäässä, eli tarkistetaan oikosulkusuojauksen riittävän nopeaa toimintaa, sekä suojalaitteen katkaisukyvyyn riittävyyttä, käytetään laskennassa +20 °C resistanssiarvoja. Vastaavasti +20 °C lämpötilan vastaavia arvoja käytetään myös moottorien ja generaattorien maksimi oikosulkuvirtojen laskennassa. Etusulaketta käytetään tilanteessa, jossa johdonsuojakatkaisijan katkaisukyky ei ole riittävä. Suurin sallittu etusulake täytyy varmistaa johdonsuojakatkaisijan valmistajan tiedoista. (ST 53.45, 3.)

Oikosulun kesto aika pitää myös laskea ja kun se on selvitetty, voidaan suojalaitteen toimintakäyrältä varmistaa, että suojalaite katkaisee oikosulkuvirran ajoissa. Mikäli oikosulkusuojaus on toteutettu sulakkeella voi sulakkeen nimellisvirta olla suurempi, kuin johdon kuormitettavuus.

Kuviossa 1 esimerkki suojalaitteiden selektiivisyystarkastelusta toimintakäyrien avulla. Mikäli oikosulun kesto aika on vähemmän kuin 0,1 s on tarkistettava, että johdon k^2A^2 -arvo on suurempi, kuin suojalaitteen valmistajan ilmoittama suojalaitteen läpi kulkeva virta I^2t . Johdonsuojakatkaisijoita käytettäessä kaapeli on suojattu oikosulkutilanteessa siihen virtaan saakka, jolloin katkaisijan I^2t on pienempi, kuin johdon sallittu k^2A^2 -arvo. (SFS 6000-4-43:2022, 12.) Enintään 5 s kestävien oikosulkujen aiheuttama lämpötilan nousu rajalämpötilaan lasketaan kaavalla 1.

$$t = \left(\frac{k \cdot A}{I} \right)^2 \quad (1)$$

missä

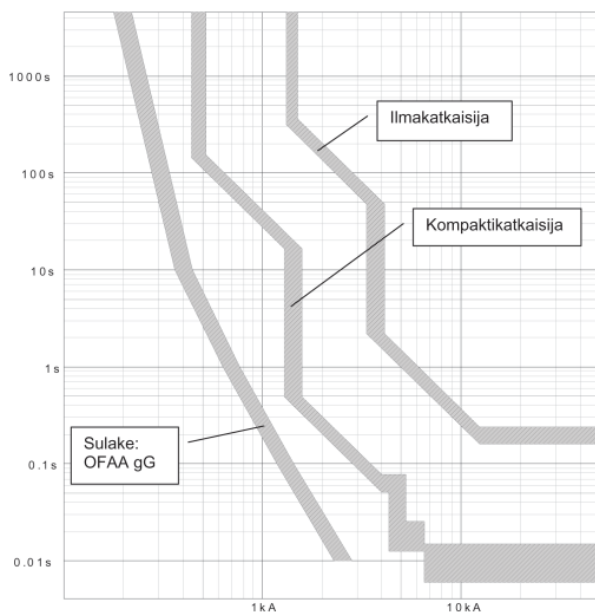
t = aika, johon mennessä johtimen lämpötila nousee sallittuun rajalämpötilaan (s)

k = kerroin, joka riippuu johtimen- ja eristyksen materiaalista, sekä alku- ja loppulämpötiloista. Taulukko liitteessä 1 (taulukko 17)

A = johtimen poikkipinta (mm²)

I = oikosulkuvirran tehollisarvo (A)

(SFS 6000-4-43:2022, 12.)



Kuvio 1. Esimerkki katkaisijoiden ja sulakkeen toimintakäyristä (ST 53.13, 6, muokattu)

Itse oikosulkusuojalaite on sijoitettava aina suojattavien johtimien alkupäähän. Suojauksen laitevalinta vaikuttaa myös suojaustarkasteluun, käytetäänkö yhteistä ylikuormitus- ja oikosulkusuojaa vai oikosulkusuojana ylikuormitussuojasta erillistä suojalaitetta. Erillistä oikosulkusuojaa käytettäessä on suojauksen toteutuminen varmistettava laskemalla. Yhteistä ylikuormitus- ja oikosulkusuojaa käytettäessä varmistettava riittävä katkaisukyky sekä se, että ylikuormitussuojaus toteutuu. Erityistä huomiota kiinnitettävä, mikäli järjestelmässä on rinnankytkettyjä johtimia. (SFS 6000-4-43:2022, 21-24.) Ehdot oikosulkusuojaukselle on määritelty SFS 6000 standardin kohdassa 434. Yhtälöt ja esimerkkilasku liitteessä 1: 16.1.

7.4 Vikasuojaus

Sähköasennusten jokaista osaa on suojattava yhdellä tai useammalla suojausmenetelmällä ja vikasuojauksen perimmäisenä tarkoituksena on estää käyttäjää saamasta vaarallista sähköiskua, suojata kaapeleita ylikuormitukselta ja luoda vikavirralla kulkureitti. Suojausmenetelmänä voidaan käyttää kaksoiseristystä, pienoisjännitettä, sähköistä erotusta tai syötön automaattista poiskytkentää. (ST 53.25.) Työssä käsitellään syötön automaattista poiskytkentää ja sähköistä erotusta.

Syötön automaattisen poiskytkennän on täytettävä seuraavat kaksi ehtoa:

1. Virtapiirissä on oltava suunniteltu vikavirtapiiri, jota pitkin vikavirta johdetaan maihin. Tämä ehto edellyttää, että kaikkien järjestelmästä syötettävien sähkölaitteiden jännitteelle alttiit osat on yhdistetty suojajohtimilla maadoitusjärjestelmään.
2. Vikavirta sekä kosketusjännite on kytkettävä pois sopivalla suojalaitteella ja suojalaitteen on tehtävä äärijohtimien erotus vikatilanteessa (ST 53.25, 2).

Vikasuojauksen tarkastelu täytyy tehdä laskettujen oikosulkuvirtojen kautta eli oikosulkuvirtojen on oltava riittävän suuria aikaansaamaan nopea poiskytkentyminen (Ks. taulukko 1). Suunnittelussa on selvitettävä keskustien pienimmät vikavirrat ja niiden kautta määritellä suurimmat sallitut ryhmäjohtin pituudet. Kuviossa 2 on havainnollistettu ryhmittelyperusteita. Vikasuojauksen suunnittelussa tärkein tarkasteltava asia on varmistaa, että vaihe- ja suojajohtimen välinen oikosulkuvirta (ns. yksivaiheinen oikosulkuvirta) on riittävä. (ST 53.25, 2-5.) Laskentakaavat ja laskuesimerkit esitetty liitteessä 1: 16.2.

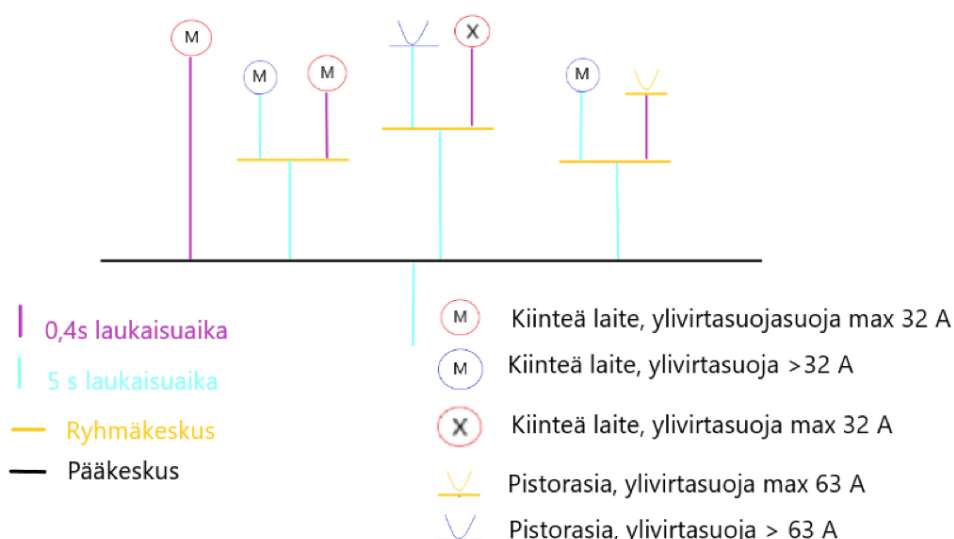
Taulukko 1. Suurimmat sallitut poiskytkentäajat vaihto- ja tasasähköllä alle 32A kiinteästi liitetyt laitteet ja alle 63A pistorasia ryhmät (SFS 6000-4-41:2022, 9, muokattu)

Järjestelmä	50V < U _o ≤ 120V		120V < U _o ≤ 230V		230V < U _o ≤ 400V		U _o > 400V	
	s		s		s		s	
	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
TN	0,8	*	0,4	1	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	*	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

Jos TT- järjestelmässä poiskytkentä saadaan aikaan ylivirtasuojilla, ja suojaava potentiaalintasaus on kytketty kaikkiin asennuksen muihin johtaviin osiin, voidaan käyttää TN-järjestelmän poiskytkentäaikoja.

U_o on nimellinen tasa- tai vaihtojännite äärijohtimesta maahan.

* Poiskytkentä voidaan tarvita muusta syystä kuin sähköiskulta suojaamiseen.



Kuvio 2. Vaadittuja poiskytkentäaikoja havainnollistava jaottelu (D1-2022, 87, muokattu)

7.5 Jännitteenalenema

Jännitteenalenemat on otettava huomioon suunnitteluvaiheessa esimerkiksi kaapelien poikkipintojen laskennassa. Pitkät kaapelointimatkat, oikosulkumoottorien käynnistysvirtapiikit, suurien syöksyvirran omaavat laitteet jne. ovat etenkin teollisuuskohteissa kohteita, joiden vaikutus jännitteenalenemaan voi olla hyvinkin suuri. Jännitteen alenemalla tarkoitetaan kaapelin alku- ja loppupään jännitteiden erotusta ja standardissa SFS 6000-5-52 (SFS 6000-5-52:2022, 62) on annettu suositukset liittymispisteen ja kulutuspisteen välille (Ks. taulukko 2).

Taulukko 2. Jännitteenaleneman suositukset (SFS 6000-5-52:2022, 62, muokattu)

Asennuksen tyyppi	Valaistuskäyttö %	Muu käyttö %
A - Pienjänniteasennus, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta	3	5
B - Pienjänniteasennus, joka on syötetty yksityisestä pienjänniteteholähteestä *	6	8
* Suositellaan, että niin pitkälle kuin mahdollista ryhmäjohtojen jännitteenalenema ei ylitä asennustyyppille A annettuja arvoja		
Kun asennuksen pääjohdot ovat pidempiä kuin 100m, näitä jännitteenalenemia voidaan kasvattaa 0,005% johdon 100m ylittävältä pituuden metriä kohti. Ilman tätä lisäystä se ei saa olla suurempi kuin 0,5%		
Jännitteenalenema määritellään sähkölaitteen tehontarpeen mukaan käyttäen soveltuvin osin tasoituskertoimia, tai käyttäen piirien suunniteltuja virtoja.		

Moottoreiden käynnistyksen aiheuttamia suuria virtoja saadaan pienemmäksi taajuusmuuttajilla, mutta teollisuudessa on edelleen paljon suoralla käynnistykselle toteutettuja moottorilähtöjä ja etenkin näiden aiheuttama jännitteenalenema huomioitava tarkasti suunnittelussa laskennallisesti (Ks. taulukko 3). Jännitteenalenema vaikuttaa kaikkiin verkon komponentteihin, joiden kautta käynnistysvirta kulkee. Suositus on, että moottorikaapelissa ei esiintyisi yli 10% jännitteenalenemaa käynnistyksen aikana, sen lisäksi suositus on ettei käynnistyksen aikana suhteellinen jännitteenalenema liittymiskohdan ja moottorin välillä olisi yli 15 %:a. (Jännitehäviö ja jännitteenalenema n.d.)

Taulukko 3. Jännitteenaleneman laskentakaavat kaapeleille ja johtimille (D1-2022, 239)

Jännitteenaleneman laskukaavoja	
Tasajännite	$\Delta U = I \cdot 2 \cdot r \cdot L$
1-v vaihtojännite	$\Delta U = I \cdot 2 \cdot L \cdot (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi)$
3-v vaihtojännite	$\Delta U = I \cdot L \cdot \sqrt{3} \cdot (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi)$
Suhteellinen jännitteenalenema	$\Delta u = \Delta U / U_n \cdot 100\%$
Taulukossa:	
ΔU = jännitteenalenema volteissa (V)	
I = kuormitusvirta (A)	
L = johdon pituus (km)	
r = ominaisresistanssi (Ω/km)	
x = ominaisreaktanssi (Ω/km)	
φ = jännitteen ja virran välinen vaihekulma	
Δu = suhteellinen jännitteenalenema (%)	
U_n = nimellisjännite (V)	

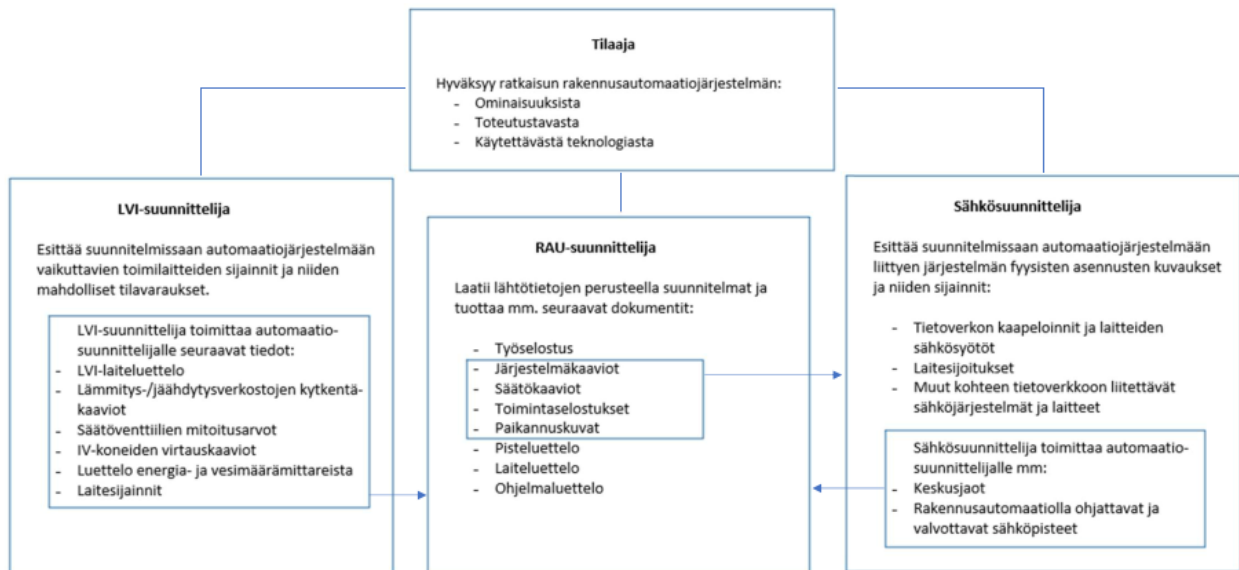
Esimerkki jännitteenaleneman laskennasta liitteessä 1: 16.3.

7.6 Selektiivisyys

Selektiivisyydellä tarkoitetaan suojalaitteiden oikea-aikaista toimintaa suojalaitteiden välillä. D1 käsikirjan (D1-2022, 270) mukaan suojalaitteiden välisen selektiivisyyden täydellinen saavuttaminen ei ole aina tarpeen, mutta oikealla selektiivisyys suunnittelulla varmistetaan suojalaitteiden toiminta ja siten suojataan vian hetkellä niin laitteita, kuin johtimiakin. Selektiivisyyden tarkastelu voidaan tehdä laskemalla tai tarkastelemalla suojalaitteiden valmistajien datalehdistä, suojauksen selektiivisyydestä työssä myöhemmin lisää.

8 Rakennusautomaatiosuunnittelu

Lähes kaikissa projekteissa on automaatio osana suunnittelua. Projekteissa sähkösuunnittelija ja rakennusautomaatiosuunnittelija tekevät yhteistyötä, sillä sähkösuunnittelija suunnittelee automaatiosuunnittelun pohjalta mm. moottoreiden ja laitteiden lukitukset, tilatiedot, ohjaukset ja hälytykset, sekä esittää suunnitelmissaan mm. laitteiden syötöt ja kaapeloinnit. (ST 701.32, 12.) Tyyppillisesti sähkösuunnittelun projektipäällikkö delegoi tehtäviä ja jakaa tilaajalta saatuja lähtötietoja sähkö- sekä rakennusautomaatiosuunnitteluun. Päällekkäisyyksien välttämiseksi, etenkin isoissa projekteissa, on sähkö- ja automaatiosuunnittelijan tärkeää käydä läpi erilliset ohjausjärjestelmät, kuten DALI tai KNX. (Härkönen, Liedes, Mikkola, Piikkilä, Pusa, Sahala, Sahlstén, Sandström, Sirviö, Spangar & Sulku 2018, 146-147.) Kuviossa 3 havainnollistetaan eri suunnittelijoiden yhteistyön rakennetta suunnittelussa.



Kuvio 3. Karkea esitys talotekniikkasuunnittelijoiden tiedonvaihdesta suunnitteluprosessissa RAU-suunnittelijan näkökulmasta (ST 701.32, 13, muokattu)

Sähkösuunnittelija toimittaa tarvittavista valvottavista laitteista tiedot automaatiosuunnittelijalle. Valvottavia laitteita ovat mm. laitehälytykset, sulanapito- ja valo-ohjaukset. Tiedot voi olla taulukkomuodossa, kunhan niistä ilmenevät mm. tarvittavat I/O-pisteet, ohjaukset ja laitteiden sijainnit. Seuraavia erilaisia kaavioita tarvitaan rakennusautomaation suunnittelussa:

- Sääntökaavioissa esitetään eri prosesseihin liittyvät moottoreiden ohjaukset, kaapeloinnit, sekä keskuslukitukset.
- Järjestelmäkaavioissa esitetään laitteistojen tarvitsemat sähkönsyötöt, väylän topologia ja väyläkaapeloinnit (ST 701.32, 12).

8.1 RAU-suunnittelun vaiheet ja dokumentit

Kun hankkeessa on päästy ehdotussuunnittelu vaiheeseen, laaditaan valitusta ehdotussuunnitteluvaihtoehtoista dokumentaatio hankeselvitykseen. Hankeselvityksessä määritellään rakennusautomaatiojärjestelmän taso ja tähän vaikuttaa mm. haluttu laajennettavuus, mobiilikäyttöisyys, muuntojoustavuus, energiatehokkuus ja elinkaaripalveluiden saatavuus. (Härkönen ym. 2018, 136.)

Seuraava vaihe on yleissuunnitteluvaihe, jossa rakennusautomaationjärjestelmästä dokumentoidaan mm. seuraavat:

- RAU-järjestelmän järjestelmäkaavio
- RAU-järjestelmän tilakohtaisten säätöjärjestelmien periaatteelliset säätökaaviot
- kaaviot lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmästä tai monimutkaisemmissa toteutuksissa kaavio lämmityksen- ja jäähdytyksen hybridijärjestelmästä
- investointikustannuslaskelma RAU-järjestelmän pistemäärän arvioinnin avulla (Härkönen ym. 2018, 136).

Seuraava vaihe on toteutussuunnittelu, johon sisältyy tuote- ja järjestelmäsuunnittelu. Toteutussuunnittelu jakautuu hankintoja palvelevaan suunnitteluun ja toteutusta palvelevaan suunnitteluun. Hankintoja palvelevan suunnittelun dokumenteissa esitetään suunnitelmat ja vaatimukset niin yksityiskohtaisesti, että näiden pohjalta kyetään laskemaan urakkahinta. Toteutusta palvelevan suunnittelun dokumenteissa esitetään RAU-sijaintipiirustukset, järjestelmä- ja säätökaaviot sekä selostukset ja luettelot. Nämä tiedot on täydennetty hankinnanmukaisilla järjestelmä- ja laitevalintatiedoilla. (Härkönen ym. 2018, 137).

Suunnittelutyön dokumenttien laatiminen aloitetaan säätökaavioiden ja pisteluetteloihin merkittyjen pistetietojen pohjalta. Rakennusautomaatiourakan laiteasennukset ajoittuvat hankkeissa suhteellisen myöhäiseen vaiheeseen ja on yleensä hyvin riippuvainen sähkö-, putki- ja IV-urakoiden edistymisestä. Tämän vuoksi on ensin laadittava aikataulusuunnitelma, jonka jälkeen suunnitellaan periaatekaavio projektin hoidosta, järjestelmään liittyvistä suunnitelmista sekä ohjelmoinnista. Tämä tulee hyväksyttävä projektipäälliköllä sekä tilaajalla, jotta varmistetaan suunnittelun oikeat lähtökohdat. Kun toteutusperiaatteet on hyväksytty, tulee projektin laitetilaukset tarkistaa huolellisesti. Ensimmäisenä tulee selvittää projektin venttiilivalinnat ja laatia tilauskaavake näistä, jonka jälkeen tulee tarkastaa projektin muut laitetilaukset. (Härkönen ym. 2018, 272-273.)

Tärkeä huomioitava asia on kenttälaitteiden kaapelivaatimukset. Kaapelitiedot kuuluvat sähkösuunnittelijan vastuulle ja projektin edetessä kaapelitiedot, sekä johdinmerkinnät täydennetään kytkentäkuviin. VAK-valmistaja tarvitsee myös kytkentäsuunnitelmat mahdollisimman ajoissa, sillä dokumenttien pohjalta määräytyy keskuksen moduulien määrät sekä apulaitteiden tilavaraukset ja johdotukset. (Härkönen ym. 2018, 273-274.)

Ohjelmistosuunnittelu on yksi keskeisin ja haastavin osuus rakennusautomaatio projektia. Ohjelmistosuunnitteluun kuuluvat prosessin säädöt, logiikat, ehdolliset hälytykset ja toiminnot sekä niiden prioriteetit ja aikaohjelmat. Näiden dokumentointi on tärkeässä roolissa huollon, kunnossapidon ja laajennuksien kannalta. (Härkönen ym. 2018, 274.)

9 Liittymä ja sen mitoitus

9.1 Liittymä

Sähköliittymän suunnittelulle, urakoinnille, toimitukselle ja käytölle on asetettu vähimmäisvaatimukset, jotka määritellään Sähkömarkkinalaissa 588/2013, Sähkökäyttöpaikkojen liittymisehdoissa LE 2019 ja Verkkopalveluehdoissa VPE 2019. Suunnittelun näkökulmasta tärkeää on huomioida verkkopalveluehdoissa mainitut asiat;

verkkosopimuksen sopijapuolten tulee huolehtia siitä, että heidän sähköasennuksensa, sähkölaitteistonsa ja sähkölaitteensa ovat säännösten ja määräysten edellyttämässä kunnossa. Sähköasennuksia, -laitteistoja ja -laitteita ei saa käyttää niin, että niistä aiheutuu vahinkoa tai häiriötä jakeluverkolle tai toisille käyttäjille. (ST 13.31, 3.)

Verkkoyhtiöillä on paikallisesti omat suunnittelija- ja urakoitsijaohjeet, jotka on syytä aina tarkistaa. Nämä ohjeet ovat saatavilla kunkin verkkoyhtiön verkkosivuilta tai teknisestä asiakaspalvelusta. Verkkoyhtiöllä on oikeus jättää liittymä kytkemättä, mikäli heidän määrittelemät tekniset ehdot eivät toteudu. Suunnittelussa tärkeä huomioon otettava asia on mahdollisuudet huipputehon tarpeen pienentämiseen ja sähkötehon ohjattavuuden parantamiseen eli toisin sanoen laitteiden oikeasuhtainen mitoitus ja valinta. (ST 13.31, 3.)

Yleisesti jakeluverkonhaltijan toimitusrajana on liittymiskohta ja tämä sijaitsee yleensä tontin rajalla tai rajan läheisyydessä sijaitseva muuntamo/jakokaappi/pylväs tai pelkkä liittymäkaapeli. Jakeluverkonhaltijalla on myös sähköpääkeskuksen sijainnin suhteen ohjeistuksia, sillä heillä on oltava pääsy sähköpääkeskukselle, joko vapaasti suoraan tai avainsäilön reittiavaimen avulla. (ST 13.31, 2.). Jakeluverkkoyhtiö on velvollinen antamaan pyydetessä liittymäpisteen prospektiivisen (laskennallinen maksimi) oikosulkuvirran. Tätä tarvitaan sähköpääkeskusta mitoitettaessa. Jakeluverkkoyhtiöllä on yleensä valmiit ohjeelliset liittymiskaapelityypit ja vahvuudet saatavilla verkkosivuillaan. (Mts. 14.)

9.2 Mitoitus

Liittymän mitoitus on yksi tärkeimpiä vaiheita rakennusten sähkösuunnittelussa. Verkonhaltija vastaa liittymän rakentamisesta liittymiskohtaan saakka ja siitä eteenpäin liittymä on liittyjän vastuulla. Liittymän mitoitus todellisen huipputehon mukaan voi olla haastavaa, mutta ali- tai ylimitoittaminen tuo taas lisäkuluja, joko rakennusvaiheessa tai käyttökuluina tulevaisuudessa.

Rakennuksen kuormitusaste voi vaihdella elinkaaren aikana paljonkin ja tämä pitäisi ottaa huomioon suunnittelussa. Tämä tarkoittaa sitä, että suunnitteluvaiheessa oikean mitoittamisen lisäksi olisi huomioitava tulevaisuuden mahdolliset liittymätehon kasvutarpeet. Vaikka mitoitus olisi tehty ajatellen tulevaisuutta, voi käyttömenoihin vaikuttaa pienentämällä liittymän pääsulakekokoa vastaamaan rakennuksen sen hetkistä käyttöastetta. (ST 13.31, 3-4.)

Ensimmäinen arvio liittymän koosta tehdään TATE18-tehtäväluettelon mukaan hankesuunnitteluvaiheessa. Tässä vaiheessa hyödynnetään lineaarisia laskentamalleja ja muiden vastaavien kohteiden jo tiedossa olevia mittaustietoja. Mitoitukset tarkistetaan toteutus suunnitteluvaiheessa, kun laitetiedot ovat tarkentuneet. Huipputehon laskennassa huomioon otettavia tekijöitä:

- kaikki ne laitteet, jotka eivät ole käytössä samanaikaisesti (lämmitys, jäähditys)
- varalämmityksen tarve
- valaisimet
- rakennuksen varustelutaso
- laitevalmistajan vaatimat laitekohtaiset suuremmat etusulakkeet, kuin laitteen tehon perusteella olisi laskettavissa (ST 13.31, 4).

Varautuminen tulevaisuuteen esim. liittymäkokoa kasvattamalla voidaan varautua ylimitoittamalla liittymisjohto tai sähköpääkeskus. Mikäli liittymää ei haluta ylimitoittaa voidaan tehdä putkivaurukset rinnakkaiselle liittymiskaapelille ja ylimitoittaa pelkkä pääkeskus. Vaihtoehdoista pitää keskustella verkkoyhtiön kanssa ja millaisia kustannuksia eri vaihtoehdot tuovat liittymäkoon muutoksen ajankohtana esim. mahdollisten virtamuuntajien vaihdon myötä. (ST 13.31, 13.)

Mitoituskaava

Sähköliittymän mitoitus on tehtävä huipputehon perusteella. Toimi- ja tuotantotilojen huipputehoja ei voi laskea samoilla kaavoilla kuin asuinrakennuksen huipputehoja. Liittymän sähköteho

voidaan laskea valaisin-, koje ja laiteluetteloiden ottamien tehojen perusteella kaavalla kaksi. Huomioitavaa tässä laskutavassa on laiteryhmiä sisäinen ja laiteryhmiä välinen samanaikaisuuskerroin. (ST 13.31, 8-9.)

$$P_M = P_X \times (P_{LVIA} + P_{VALAISTUS} + P_{LAITTEET} + P_{SLK} + P_{MUUT}) \quad (2)$$

missä

P_M = mitoitettava sähköteho

P_{LVIA} = yhteenlaskettu sähköteho (LVIA-kojeluetelosta)

$P_{VALAISTUS}$ = yhteenlaskettu teho (valaisinluettelosta)

$P_{LAITTEET}$ = yhteenlaskettu teho (laiteluettelosta)

P_{SLK} = sähkölämpökuorman teho (lämmityskuormien tehot yhteenlaskettuna)

P_{MUUT} = muut mahdolliset suuren tehon kuormitukset (ST 13.31, 8-9.)

Yhtälöt, kertoimet ja laskuesimerkki pienjänniteliittymän mitoituksista esiteltä liitteessä 1: 16.4.

Syöttökaapelin mitoitus

Syöttökaapelia mitoittaessa on otettava huomioon kaikki syöttökaapelin reitille osuvat asennusolosuhteet, rinnakkaiset kaapelit, kaapelin eristeet jne. Kaavalla kolme voidaan liittymän mitoitettun tehon tarpeen mukaan laskea liittymän mitoitusvirta. Kaavalla neljä lasketaan kaapelin minimiperuskuormitettavuus, jossa otetaan huomioon olosuhteiden, rinnakkaisten kaapelien yms. vaikutukset. Tämän tuloksen mukaan voidaan tarkistaa, että syöttökaapeli tai syöttökaapelit on valittu oikein.

$$I_b = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} \quad (3)$$

$$I_{zpväh} = \frac{I_b}{k_1 \cdot k_2 \dots} \quad (4)$$

missä

I_b = mitoitusvirta (A)

S_n = nimellinen kokonaisnäennäisteho (VA)

$I_{zpväh}$ = kaapelin peruskuormitettavuus vähintään (A)

$k_1, k_2 \dots$ = olosuhteiden kertoimet

Liittymän mitoituksessa varmistettava, että syöttävän kaapelin kuormituksenkestoisuus on suurempi kuin suojalaitteen mitoitusvirta ja itse virtapiirin mitoitusvirta on pienempi, kuin suojalaitteen mitoitusvirta (yhtälöt 5 ja 6). Tämä sama ehto toimii kaikissa tilanteissa johtimen ja suojalaitteen yhteen sovittamisissa. Kaapelia ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen on täytettävä kaksi ehtoa (SFS 6000-4-43:2022, 8):

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (5)$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \quad (6)$$

missä

I_B = virtapiirin suunniteltu virta (A)

I_n = suojalaitteen mitoitusvirta (tai asetusarvo suojalaitteessa, jossa säädettävä toiminta-arvo) (A)

I_z = johtimen jatkuva kuormitettavuus (A)

I_2 = virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavantomaisessa toiminta-ajassa (A)

Luetelma jatkuu seuraavalla sivulla

Luetelma jatkuu edelliseltä sivulta

$I_Z = I_t \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \dots$ = todellinen kuormitettavuus, jossa on otettu huomioon asennusolosuhteiden kertoimet.

missä

I_t = kuormitettavuus yhdelle virtapiirille standardiolosuhteissa.

$k_1, k_2, k_3 \dots$ = korjauskertoimia, jotka ottavat asennusolosuhteet huomioon.

(SFS 6000-4-43:2022, 8)

Tiivistettynä, ylikuormitussuojan nimellisvirta tulee olla vähintään yhtä suuri kuin arvioitu kuormitusvirta (ylikuormitussuojaksi valitaan mitoitusvirtaa suurempi seuraava standardiarvo) ja johdon kuormitettavuuden olla vähintään suojalaitteen nimellisvirran suuruinen. SFS 6000-4-43:2022 luvussa 433.1 on esitetty yksityiskohtia, joita on tarkasteltava tarkemmin tapauskohtaisesti.

Jakeluverkkoyhtiö voi joissain tapauksissa hoitaa myös sähköliittymän mitoituksen. Poutakiven (2018, 7-8) mukaan verkkoyhtiölle toimitettavia dokumentteja mitoitusta varten voivat olla:

- rakennuksen tiedot (lämmitystapa, tilavuus ja pinta-ala)
- pääkaavio
- nousujohtokaavio
- kaapelireittien tiedot
- mittalaitteiden lukumäärä ja sijainnit
- sähkötyöseloste (Poutakivi 2018, 7-8).

9.3 Syötön automaattinen poiskytkentä

Syötön automaattinen poiskytkentäaika pääjohdoilla, yli 32 A:n kiinteästi liitetyillä laitteilla ja yli 63 A:n virtapiirejä syöttäville ryhmäjohdoille saa olla TN-järjestelmässä enintään 5 s ja TT-järjestelmässä vastaava enintään 1 s (SFS 600-4-41:2022, 9). Jakeluverkossa automaattiseen poiskytkentään käytettävän sulakkeen mitoitusvirta valitaan taulukon 4 mukaisesti.

Taulukko 4. Pienin oikosulkuvirta, jonka mukaan jakeluverkon vikasuojaukseen käytetty ylivirtasuojia voidaan mitoittaa (SFS 6000-8-801:2022, 7, muokattu)

Ylivirtasuojia	Pienin 1-vaiheinen oikosulkuvirta jakeluverkossa
gG-tyyppin sulake $I_N \leq 63A$	$2,5 \cdot I_N$
gG-tyyppin sulake $I_N > 63A$	$3,0 \cdot I_N$

Pienin oikosulkuvirta 25 A pääsulakkeilla oltava vähintään 250 A. Mikäli tätä ei kyetä saavuttamaan kohtuullisesti, hyväksytään 180 A oikosulkuvirta, mikäli muilla suojaustoimilla saavutetaan vastaava turvallisuustaso. Suuremmilla pääsulakkeiden arvoilla oikosulkuvirta oltava vastaavasti 10 x päävarokkeen arvoon nähden. Standardissa SFS- EN 60898-1 on annettu tähän tilanteeseen turvallisuustasot eri johdonsuojakatkaisijan tyypeillä. (SFS 6000-8-801:2022, 8.)

9.4 Maksimi jännitteenalenema

Liittymäpisteen ja kuormituspisteiden välinen suhteellinen jännitteenalenema taulukko on esitetty suunnittelun vaatimukset kohdassa. Jännitteenalenemalle on kuitenkin joissain tapauksissa sallittua olla suurempi kuin taulukossa mainittu. Tällaisia tilanteita voi olla moottorin käynnistysvirrat tai muut suuremman käynnistysvirran ottamat laitteet. (SFS 6000-5-52:2022, 62-63.) Jännitteenaleneman vaihtoehtoinen laskentakaava (kaava 7):

$$u = b \left(\rho_{1\frac{L}{S}} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) I_b \quad (7)$$

missä

u = jännitteenalenema (V)

b = kerroin (1 kolmivaiheisille, 2 yksivaiheisille piireille). HUOM. 3-vaihepiirejä, joissa nollajohtimen virta ei kumoudu (eli kuormitettu yksivaiheisesti) on käsiteltävä yksivaihepiireinä.

Luetelma jatkuu seuraavalla sivulla

Luettelma jatkuu edelliseltä sivulta

ρ_1 = johtimien resistiivisyys normaalikäytössä (norm. käyttölämpötila). 1,25 x resistiivisyys 20°C lämpötilassa, tai 0,0225Ωmm²/m (kupari), 0,036Ωmm²/m (alumiini)

L = johtojärjestelmän pituus metreinä (m)

S = johtimen poikkipinta-ala (mm²)

$\cos\varphi$ = tehokerroin. Mikäli tarkkaa kerrointa ei ole tiedossa käytetään 0,8 ($\sin\varphi = 0,6$)

λ = johtimen reaktanssi johtimen pituusyksikköä kohden. Käytetään 0,08mΩ/m, mikäli tarkkaa arvoa ei ole tiedossa.

I_B = suunniteltu piirin virta (A)

Jännitteenalenema prosentteina $\Delta u = 100 \cdot \frac{u}{U_0}$

U_0 = jännite vaiheen ja nollan välillä (V)

(SFS 6000-5-52:2022, 62-63.)

10 Suojauksen selektiivisyys

Selektiivisyydellä tarkoitetaan vikapaikan erotusta syötön puoleisella suojalaitteella, joka sijaitsee lähinnä vikaa. Tällä keinolla saadaan tehtyä jännitteettömäksi mahdollisimman pieni osa verkkoa vian ilmetessä. Vian ilmetessä tyypillisesti jossain ryhmäjohdossa vikavirta kulkee usean sarjassa olevan suojalaitteen läpi. Vikavirta voi kulkea ryhmäjohtoon sulakkeen, nousukeskuksen lähtösulakkeen ja pääkytkimen, pääkeskuksen lähtö- ja pääkatkaisijan kautta. (ST 53.13, 2.) Tällaisessa tilanteessa oikein mitoitetun selektiivisyyden myötä vain ryhmäjohtoon sulake palaa ja näin rajaa vikapaikan.

Selektiivisyys tarkastelussa varmistetaan kahden tai useamman suojalaitteen sopiminen yhteen niin, että määrättyjen yli- tai vikavirran esiintyessä toimii vain laite, joka suunniteltu toimimaan raja-arvojen sisällä, mutta muut suojalaitteet eivät toimi. Täydellinen selektiivisyys tarkoittaa tilannetta, jossa kuormituksen puoleinen ylivirtasuojia toimii prospektiiviseen oikosulkuvirtaan saakka,

eivätkä perättäisten suojalaitteiden virta-aikakäyrät leikkaa toisiaan. Osittainen selektiivisyys tarkoittaa tilannetta, jossa ainoastaan kuormituksen puoleinen ylivirtasuojat toimii vikavirtaan ts. selektiivisyyden rajavirtaan saakka. Tämä vikavirta on pienempi, kuin asennuskohdassa esiintyvä prospektiivinen oikosulkuvirta. (SFS 6000-5-53:2022, 9.)

Käytettäessä johdonsuojakatkaisijaa suojalaitteena on usein käytettävä etusulaketta ja selektiivisyys saavutetaan silloin, kun johdonsuojakatkaisija toimii kaikilla odotettavilla virroilla ennen sulaketta. Virta-aikaominaiskäyriä tarkistamalla tai käyttämällä I^2t -arvoja voidaan selvittää suojalaitteiden välinen selektiivisyysraja. (D1-2022, 270.)

Selektiivisyydestä tarkasteluun on lähes kaikilla katkaisijavalmistajilla omat laskentaohjelmat. Ohjelmistoilla usein kytetään myös verkostolaskentaan, jolloin saadaan käsitys sähköverkon oikosulkuvirtataseista. Ongelmaksi ohjelmien käytössä muodostuu usein se, että tarkasteltavassa verkossa on useita eri laitevalmistajien suojalaitteita. Näiden vertailu vaatii paljon käsityötä. Suositeltavaa jos mahdollista, on käyttää vain yhden valmistajan suojalaitteita. (ST 53.13, 6)

Selektiivisyydestä tarkastelu riippuu siitä, onko kyseessä uudiskohde vai jo pidempään käytössä ollut kohde sekä tarkastelun laajuudesta. Tarkastelusta on hyvä laatia raportti, josta ilmenee lähtötiedot ja yleiset asiat sekä liittyy jakokaavio. Ellei jakokaaviota ole, on syytä laatia verkkokuva. Lähtötietotarpeet ovat lähes kaikissa tapauksissa samat (ST 53.13, 6-7.):

- sähkölaitoksen johtolähtökatkaisijan asettelut
- liittymän oikosulkuvirta
- pääjakelukaavio ja kytkentätilannekuva
- suurjännitekojeiston pääkaavio
- suurjännitekojeiston laitetiedot (koje- ja laiteluettelot)
- jakelumuuntajien tekniset tiedot
- suurjännitekojeiston relekoestuspöytäkirjat
- pääkeskuksien pääkaaviot, kojeluettelot sekä relekoestuspöytäkirjat
- kaapeliluettelot
- jakokeskuksien pääkaaviot ja kojeluettelot
- kuormituksen profiili, suurimmat pistekuormat
- oikosulkuvirtalaskennan tulokset (ST 53.13, 6-7).

Sulakkeiden välinen selektiivisyys

Käytettäessä suojaukseen sulakkeita on verrattava näiden I^2t -arvoja. Kuormituksen puoleisen sulakkeen maksimi I^2 -arvo oltava pienempi, kuin syötön puolen sulakkeen minimi sulamisen I^2t -arvo. Sulakkeilla toteutetussa suojauksessa voi noudattaa yleissääntöä, jossa peräkkäiset nopeat gG sulakkeet ovat selektiivisiä, kun virta-arvojen suhde on vähintään 1,6:1 tai peräkkäin olevien sulakkeiden välillä on vähintään kaksi porrasta sulakkeen nimellisvirroissa. Esimerkkinä 32 A $\rightarrow$ 25 A $\rightarrow$ 16 A, eli 32 A ja 16 A ovat selektiivisiä keskenään. (SFS 6000-5-53:2022, 44.)

Sulake ja katkaisija yhdistelmän selektiivisyys

Mikäli suojaus tehty niin, että sulake on syötön ja katkaisija kuorman puolella, on sulakkeen minimi I^2t -arvon oltava suurempi kuin katkaisijan rajoittama maksimi I^2t -arvo. Mikäli taas katkaisija on syötön puolella ja sulake kuormituksen, on varmistettava, että sulakkeen rajoittaman virran huippuarvo on pienempi kuin katkaisijan pikalaukaisuvirran minimiarvo. Katkaisijoiden ja sulakkeiden I^2t -arvot varmistettava aina erikseen valmistajan tiedoista. (SFS 6000-5-53:2022, 45.)

Katkaisijoiden välinen selektiivisyys

Tällaisessa tilanteessa on varmistettava kuormituksen puoleisen katkaisijan rajoittaman huippuvirran olevan pienempi kuin syötön puoleisen katkaisijan pikalaukaisun huippuarvoa vastaava virta (SFS 6000-5-53:2022, 45).

11 Ylikuormitussuojaus

Kaikki virtapiirit on suojattava siten, että ylikuormitusvirta katkaistaan, ennen kuin johtimen eristys, liitokset, jatkokset tai ympäristö vahingoittuu. Tähän tarkoitukseen käytetään sulakkeita, johdonsuojakatkaisijoita tai katkaisijoita. Joissain erikoistapauksissa laukaisevan ylikuormituksen sijaan voidaan käyttää ilmaisevaa hälytystä ylikuormitustilanteessa. Standardin SFS 6000-4-43:2022 mukaan kaapelia ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen on täytettävä kaavojen kahdeksan ja yhdeksän ehdot:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (8)$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_Z \quad (9)$$

missä

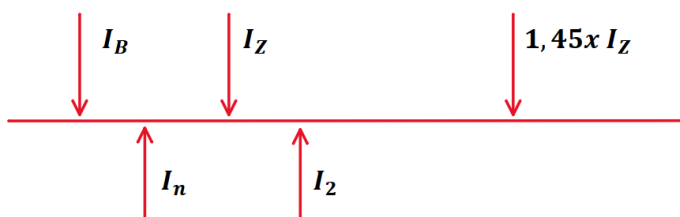
I_B = piirin suunniteltu virta (A)

I_Z = johtimen jatkuva kuormitettavuus (A)

I_n = suojalaitteen mitoitusvirta (A)

I_2 = virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavantomaisessa toiminta-ajassa (A)

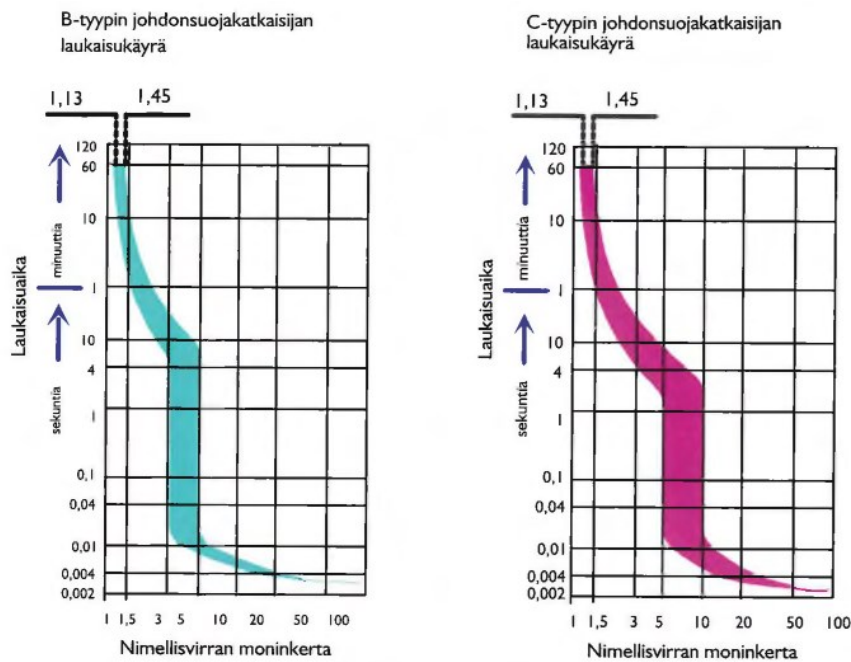
Tiivistettynä, ylikuormitussuojan nimellisvirta tulee olla vähintään yhtä suuri kuin arvioitu kuormitusvirta (ylikuormitussuojaksi valitaan mitoitusvirtaa suurempi seuraava standardiarvo) ja johdon kuormitettavuuden olla vähintään suojalaitteen nimellisvirran suuruinen (Ks. kuvio 4). SFS 6000-4-43:2022 luvussa 433.1 on esitetty yksityiskohtia, joita on tarkasteltava tarkemmin tapauskohtaisesti.



Kuvio 4. Ylikuormitussuojan valinta (Orrberg & Tiainen 2022, 91, muokattu)

11.1 Johdonsuojakatkaisijat ja muut katkaisijat

Tärkeimmät arvot johdonsuojakatkaisijan valinnassa ovat katkaisukyky, nimellisvirta, ja -jännite sekä laukaisukäyrä. Oikosulkusuojaus toteutuu, kun suojalaitteen toimintakäyrä ja johtimen suurinta lämpötilaa vastaava virta/aikakäyrä eivät leikkaa toisiaan ja johtimen lämpenemiskäyrä on suojalaitteen toimintakäyrän yläpuolella. Eri tyyppien johdonsuojakatkaisijoilla ja muilla katkaisijoilla on eri käyttökohteet sekä eri laukaisurajavirrat (Ks. kuvio 5 & taulukko 5). Katkaisukyky tulee valita suuremmaksi, kuin esiintyvän 3-vaiheisen oikosulkuvirran tehollisarvo. (ST 53.45, 3.)



Kuvio 5. B- ja C-tyypin johdonsuojakatkaisijoiden ominaiskäyrät (Orrberg & Tiainen 2022, 152, muokattu)

Taulukko 5. Katkaisijoiden ylikuormitusreleen laukaisurajavirta (ST 53.45, 7, muokattu)

Katkaisijatyyppe	Laukaisurajavirta I_2
Johdonsuojakatkaisijat B,C,D	$1,45 \cdot I_n$
Johdonsuojakatkaisijat K,Z	$1,2 \cdot I_n$
Moottorinsuojakytkimet	$1,2 \cdot I_n$
Kompaktikatkaisijat	$1,3 \cdot I_n$
Ilmakatkaisijat	$1,3 \cdot I_n$

Käytettäessä B-, C- tai D- tyyppistä johdonsuojakatkaisijaa voidaan ylikuormitussuoja valita suoraan johdon kuormitettavuuden perusteella termisen laukaisuvirran vuoksi. Taulukossa 6 yleisimpien tyyppien (B ja C) pienimmät toimintavirrat ja taulukossa 7 esitetään B-, C- sekä D-tyypin johdonsuojakatkaisijoiden ominaisarvoja. Kaapeleiden asennusolosuhteiden kertoimet huomioon otettuna, voidaan verrata taulukon 6 pienimpien oikosulkuvirtojen arvoihin johdonsuojakatkaisijaa sekä kaapelia valittaessa. Säädettyä katkaisijaa käytettäessä asetellaan toimintarajavirta enintään kaapelin olosuhteista johtuvan maksimi kuormitettavuuden suuruiseksi (D1-2022, 133). Esi-merkkilasku liitteessä 1: 16.2.

Taulukko 6. Johdonsuojakatkaisijoiden pienimmät oikosulkuvirrat (ST 53.25, 4, muokattu)

Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellis- virta A	B-tyyppi, 0,4s ja 5,0s A	Vaadittu mitattu arvo A	C-tyyppi, 0,4s ja 5,0s A	Vaadittu mitattu arvo A
6	30	37,5	60	75
10	50	62,5	100	125
16	80	100	160	200
20	100	125	200	250
25	125	156,3	250	312,5
32	160	200	320	400
50	250	312,5	500	625
63	315	393,8	630	787,5
80	400	500	800	1000
125	625	781,3	1250	1562,5

Taulukko 7. Johdonsuojakatkaisijoiden ominaisarvoja (Härkönen ym. 2019, 98, muokattu)

Laukaisukäyrä ja nimellisvirrat		Terminen laukaisu		Magneettilaukaisu	
		Alempi rajavirta I_1 (laukaisuaika)	Ylempi rajavirta I_2 (laukaisuaika)	Ei laukaisua (laukaisuaika)	Laukaisu (laukaisuaika)
B	$\leq 63A$	$1,13 I_n (> 1h)$	$1,45 I_n (< 1h)$	$3 I_n (\geq 0,1s)$	$5 I_n (< 0,1s)$
C	$\leq 63A$	$1,13 I_n (> 1h)$	$1,45 I_n (< 1h)$	$3 I_n (\geq 0,1s)$	$10 I_n (< 0,1s)$
D	$\leq 63A$	$1,13 I_n (> 1h)$	$1,45 I_n (< 1h)$	$3 I_n (\geq 0,1s)$	$20 I_n (< 0,1s)$
Johdonsuojakatkaisijat:					
B-tyyppi: soveltuu resistiivisiin kuormiin, joissa ei ole suuria käynnistysvirtoja					
C-tyyppi: resistiivisille ja lievästi induktiivisille kuormille. Kestää pieniä käynnistysvirtoja					
D-tyyppi: Moottorikäyttöön tms.					

Johdonsuojakatkaisijoiden käyttökohteet vielä laajemmin:

- B: resistiiviset kuormat, johdonsuojaus, lämmitys, valaistus
- C: kuten B, lisäksi lievästi induktiiviset ja kapasitiiviset kuormat
- D: voimakkaasti induktiiviset ja kapasitiiviset kuormat, jotka aiheuttavat voimakkaan käynnistysvirtasysäykset. Muuntajat, moottorit, kondensaattorit, instrumentointi
- Z,A (erikoisnopea): Pitkillä kaapeleilla, kun oikosulkuvirta on hyvin alhainen. Lisäksi mittamuuntajat ja diodit (Orrberg & Tiainen 2022, 153).

Huomioitavaa mikäli käytössä vikavirtasuojia, on suunnitteluvaiheessa tehtävä laskelmat ja oikosulkuvirrat oltava vähintään viisi kertaa vikavirtasuojan mitoitusvirta. Esim. 300 mA vikavirtasuojan ollessa käytössä on oikosulkuvirran oltava $5 \times 300 \text{ mA} = 1500 \text{ mA}$. Käytännössä nämä aina toteutuvat, mutta ST-kortti 53.25 ohjeistaa varmistamaan tämän.

11.2 Sulakkeet

Yleisimmät tulppa- ja kahvasulakkeet yleiskäyttöön tarkoitettuna toimivat sekä ylikuormitus- että oikosulkusuojana tai pelkkänä oikosulkusuojana. Tulppasulakkeen käyttöä pelkkänä oikosulkusuojana rajoittaa sen katkaisukyky. Sulakkeen merkinnän ensimmäinen kirjain merkitsee sulakkeen katkaisualuetta:

- a: sulakkeen katkaisukyky käsittää tietyn osa-alueen
- g: sulakkeen katkaisukyky käsittää koko virta-alueen (D1-2022, 260).

Toinen kirjain osoittaa sulakkeen käyttöluokan eli tämä kirjain määrittää tarkasti virta-aikaominaisuudet:

- gG: katkaisukyky käsittää koko virta-alueen (yleiskäyttöön)
- gM: katkaisukyky käsittää koko virta-alueen (moottoripiirin suojasulake)
- aM: katkaisukyky käsittää virran tietyn osa-alueen (moottoripiirin suojasulake).

(D1-2022, 260)

Toimintaominaisuuksina sulakkeilla on alempi- ja ylempi toimintarajavirta. Virta, jolla sulake varmasti laukeaa tunnissa (ylempi toimintarajavirta) on suurempi kuin 1,45-kertaa sulakkeen nimellisvirta (Ks. taulukko 8). Ylikuormitussuojaa ei voi täten valita johtimen kuormitettavuuden mukaan, vaan käytetään yhtälöä 10:

$$k \times I_n \leq 1,45 \times I_z \quad (10)$$

missä

k = sulakkeen ylemmän sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde (Ks. taulukko 9)

I_n = suojalaitteen nimellisvirta (A)

I_z = johtimen jatkuva kuormitettavuus (A) (Ks. taulukko 10)

Taulukko 8. gG-sulakkeiden toimintarajavirrat (Rousku 2022, 154, muokattu)

Ylikuormitussuojien toimintavirrat ja ajat, joilla virrat on määritelty			
gG-sulake (IEC 269-2-1 mukaan)			
Nimellisvirta	Alempi toimintaraja	Ylempi toimintaraja	Aika
$I_n \leq 4A$	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1h
$4A < I_n < 16A$	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1h
$16A \leq I_n \leq 63A$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	1h
$63A < I_n \leq 160A$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	1h
$160A < I_n \leq 400A$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	1h
$400A < I_n$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	1h

Taulukko 9. k-arvoja gG-tyypin sulakkeet (Härkönen ym. 2019, 42, muokattu)

gG-tyypin sulakkeet		
k	Ehto	In
2,1	$I_n \leq 4A$	$\leq 0,69 I_z$
1,9	$4A < I_n < 16A$	$\leq 0,76 I_z$
1,6	$I_n > 16A$	$\leq 0,90 I_z$

Taulukko 10. Johtimien kuormitettavuuden vähimmäisarvot gG-sulakkeilla (SFS 6000-5-52:2022, 71, muokattu)

gG-tyyppisen sulakkeen mitoitusvirta	Johtimen kuormitettavuus vähintään
A	A
6	8
10	13,5
16	18
20	22
25	28
32	35
35	39
40	44
50	55
63	70
80	88
100	110
125	138
160	177
200	221
250	276
315	348
400	441
500	552
630	695
800	883

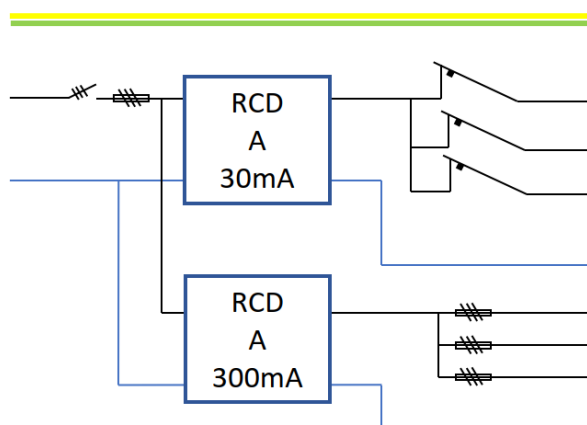
Ylikuormitussuojauksen laskuesimerkki liitteessä 1: 16.5

12 Vikavirtasuojat

Pääsääntöisesti vikavirtasuojan tarkoitus on katkaista virtapiiri, mikäli vikavirtaa on muodostunut virtapiiriin ei toivottuun kohtaan. Vikavirtasuojakytkin on ns. summavirtamuuntaja, joka mittaa menevää ja palavaa virtaa äärijohtimen ja nollajohtimen välillä. Mikäli menevä ja palaava virta ovat yhtä suuria, ei piirissä ole muualle johtanutta vikavirtaa. Tyypillinen vikavirtasuojaja henkilösuojaukseen 30 mA (A-tyyppi), palosuojaukseen 300 mA (A-tyyppi) tai erikoiskuormille, kuten sähköauton latauspisteelle 30 mA (B-tyyppi). (ST 53.25, 4.)

Vikavirtasuoja ei suojaa oikosululta tai ylikuormitukselta, mutta vikavirtasuoja voi olla yhdistelmä-johdonsuojakatkaisijassa, jossa ylivirtasuoja. Yksinomaan suojausmenetelmänä ei vikavirtasuojaa saa käyttää. 30 mA vikavirtasuojan käyttöä pidetään lisäsuojauksena, joka suojaa tilanteissa, joissa käyttäjä on varomaton, perussuojauksen ja vikasuojauksen vioissa. (SFS 600-4-41:2022, 21.)

Myös vikavirtasuojauksessa on huomioita selektiivisyys, mikäli käytetään jakelun eri portaissa vikavirtasuojia. Selektiivisyyden säilyttää käyttämällä ylemmässä S-tyyppin vikavirtasuojaa, kunhan mitoitusero on kolminkertainen. Esimerkiksi A-tyyppin 30 mA alemmassa portaassa ja ylemmässä A-tyyppin 100 mA (S aikahidastettu). (ST 53.25, 4.) Kuvio 6:n esimerkissä koko asennus palosuojattu 300 mA hidastetulla selektiivisellä vikavirtasuojalla.



Kuvio 6. Esimerkki vikavirtasuojauksen selektiivisyydestä (ST 53.12, 18, muokattu)

12.1 Vikavirtasuojan valinta

Järjestelmän maadoitustapa asettaa vikavirtasuojan valinnalle seuraavia vaatimuksia:

TN-järjestelmä

- TN-C järjestelmässä ei pidä käyttää vikavirtasuojia.
- Sijoitus asennuksen osan syöttöpisteeseen.
- PEN johdin eriyttäminen nolla- ja suojajohtimeksi vikavirtasuojan syötön puolella.
- Kuorman puolella ei nolla- ja suojajohdinta enää kytkeä yhteen (SFS 6000-5-53:2022, 18).

TT-järjestelmä

- Sijoitus asennuksen osan syöttöpisteeseen (koskee kaikkia syöttöpisteitä, mikäli useampi).
- Mitoitustoimintavirta ei saa ylittää jännitteelle alttiiden osien maadoitusresistanssin maksimi arvoa vastaavaa arvoa (Ks. taulukko 11).

(SFS 6000-5-53:2022, 18.)

Taulukko 11. Maadoitusresistanssin maksimiarvon ja vikavirtasuojan mitoitustoimintavirran suhde TT-järjestelmässä. (SFS 6000-5-53:2022, 19, muokattu)

Maadoitusresistanssin R_A maksimiarvo (Ω)	Vikavirtasuojan mitoitustoimintavirran $I_{\Delta n}$
2,5	20 A
5	10 A
10	5 A
17	3 A
50	1 A
100	500 mA
167	300 mA
500	100 mA
1666	30 mA

12.2 Vikavirtasuojien tyypit

A-tyyppi: käyttö Suomessa lisä-, vika- ja palosuojauksessa. Laukaisun aiheuttaa sinimuotoinen vaihtovirta tai pulssimuotoinen tasavirta. Saa myös hidastettuna (S-tyyppi, 200 ms), jolloin vikavirtasuojia voidaan kytkeä sarjaan. Mikäli piirissä esiintyy nopeita tai suuria käynnistys- tai katkaisuvirtapulsseja, valitaan malli, jolla kestävyys näihin. (ST 53.12, 5.)

AC-tyyppi: toiminta nopeasti ilmestyvä tai hitaasti nousevalla sinimuotoisella vaihtovirtamuotoisella vikavirralla. HUOM. AC tyyppin vikavirtasuojaa ei hyväksytä Suomessa. (ST 53.12, 7.)

F-tyyppi: käyttö Suomessa taajuusmuuttajapiirit. Laukaisun aiheuttaa sinimuotoinen vaihtovirta tai pulssimuotoinen tasavirta. Reagoi myös yhdistelmävikavirtoihin, jotka esiintyvät vaiheen ja nolla tai vaiheen ja maadoitetun keskipistejohtimen syöttävässä piirissä. (ST 53.12, 8.)

B-tyyppi: Soveltuu kaikille kuormituksille. Laukaisun aiheuttaa tasoitettu tasavirta, äkillisesti tai hitaasti kasvava sinimuotoinen- tai pulssimuotoinen vaihtovirta. Tietyin ehdoin voidaan käyttää mm. sähköautojen latauksien syötoissä. (ST 53.12, 8.)

Taulukossa 12 listattuna vikavirtasuojien tyyppinä ja ominaisuuksia.

Taulukko 12. Eri vikavirtasuojien tyytit ja ominaisuudet (ST 53.12, 9, muokattu)

Tyyppi	Mitoitustoiminta virrat (mA)	Saatavana selektiivisenä (S)	Saatavana häiriökestoisena	Huomautus
AC				Ei käytetä Suomessa
A	10 - 500	kyllä	kyllä	Yleisin malli normaaliin asennuskäyttöön
A HI	30 - 300	ei	kyllä	Parannettu ylijännitteiden ja virtapiikkien kestävyys
B	30 - 300	kyllä	ei	mm. aurinkosähköasennukset, sähköautojen lataus
F	30	ei	ei	mm. taajuusmuuttajat, ilmastointi, jäähdytysjärjestelmät, lämpöpumpit
B+	30 - 300	ei	ei	Suuritaajuisille AC-vikavirroille, mm. hissit

12.3 Vikavirtasuojan mitoitus

- Mitoitusvirta (I_n) 10-125 A. Suurin virta, joka voidaan vikavirtasuojan läpi johtaa.
- Mitoitustoimintavirta ($I_{\Delta n}$) eli suurin vikavirran arvo, jolla laitteen tulee toimia. Standardin mukaiset arvot 6 mA, 10 mA, 30 mA, 100 mA, 300 mA ja 500 mA.
- Oikosulkukestoisuus (I_{nc}) määrittää suurimman sallitun virran oikosulun aikana, joka vaikuttaa vikavirtasuojaan. Standardin mukaiset arvot 3000 – 4500 – 6000 ja 10000 A (ST 53.12, 4).

12.4 Vikavirtasuojien vaatimukset

Enintään 32 A:n pistorasiat, joihin maallikot voivat liittää laitteita ja enintään 32 A:n ulkona käytettävä siirrettävät laitteet on suojattava enintään 30 mA vikavirtasuojalla. TN- ja TT-järjestelmissä valaistusryhmät asunnoissa ja niihin liittyvissä ulkotiloissa on suojattava enintään 30 mA vikavirtasuojilla. Tiloissa, joissa sähköalan ammattilainen hoitaa valaisimien vaihdot ei tätä vaatimusta ole. Jääkaapit ja pakastimet ovat laitteita, joiden kytkentään käytettyjä pistorasioita ei tarvitse suojata vikavirralla niin asunnoissa, kuin julkisissa-, kaupallisissa- ja teollisissa rakennuksissa. (SFS 6000-4-41, 31.) Jälkimmäisissä kiinteistöissä voidaan vikavirtasuojaus jättää pois myös pistorasioilta, jotka syöttävät seuraavan tyyppisiä laitteita:

- paikalleen kiinnitettyjä teollisuuskoneita
- valaisimia, sähkömoottoreita tai vastaavia laitteita, jotka mekaanisesti kiinnitettyjä paikalleen
- palvelimia, tietoliikennelaitteita tai vastaavia, jotka herkkiä sähkökatkoksille
- laitteita, joissa suuria vuotovirtoja, kuten hitsauslaitteet (SFS 6000-4-41:2022, 31).

13 Keskukset

13.1 Suunnittelu ja dokumentointi

Seuraavassa tärkeimmät huomioitavat kohdat suunnittelijan näkökulmasta niistä teknisistä vaatimuksista, joiden mukaan keskukset toteutetaan:

- Lämpöreleet säädetään moottorin nimellisvirran mukaan
- Pääkaavioissa esitettyä lähtönumerointia noudatetaan ja kojeet pyritään kokoonpanossa asentamaan numerojärjestyksessä
- Tavanomaista toimintatilaa osoittavat merkkilamput moottorilähdöissä vihreitä. Hälytys ja vikatilanteita ilmaisevat merkkilamput punaisia.
- Varalähdöt varustetaan lämpöreleillä. Jos varalähtöön ei ole määritelty moottorikokoa, lämpöreleen mitoitus valitaan keskuksessa käytettyjen moottorilähtöjen perusteella.
- Riviliittimet asennetaan mieluummin pysty asentoon.
- Keskukset toteutetaan ja kytketään hyväksytyjen toteutuspiirustasoisten piiri- ja johdotuskaavioiden mukaisesti.
- Kontaktorien apukoskettimien lukumäärä määritetään siten, että kaikki pääkontaktorit varustetaan 4-kärkisillä apukosketinlohkoilla. Lopullinen apukosketinmäärä täsmentyy toteutussuunnitteluvaiheessa.

Luetelma jatkuu seuraavalla sivulla

Luetelma jatkuu edelliseltä sivulta

- Kaikki sysäysreleet ovat kahdella vaihtokoskettimilla varustettuja
- Kaikki apureleet sisältävät aina vähintään neljä kosketinkärkeä (mikäli täsmällistä määritystä ei ole annettu), joiden toimintapa täsmentyy toteutussuunnitteluvaiheessa (ST 70.21, 3-4).

Keskusvalmistaja toimittaa seuraavan mukaan dokumentoinnin toimituksen yhteydessä: Jakokeskuksista laaditaan hyväksyntää, valmistusta, asennusta, käyttöä ja huoltoa sekä loppupiirustusten laadintaa varten mm. seuraavat asiakirjat:

- kokoonpanopiirustukset
- kilpiluettelot
- kojeluettelot
- lähtökohtaiset piirikaaviot (kytkentäkaaviot)
- testaus- ja tarkastuspöytäkirjat
- kuljetus- ja asennusohjeet (ST 70.21, 7).

13.2 Sähköpääkeskus

Sähköpääkeskus on keskus, jota kautta kiinteistö on kytketty valtakunnan verkkoon ja joka syöttää alakeskuksia. Sähköpääkeskuksella on aina liittymän pääsulakkeet, -mittaus ja -kytkin. Pienjännitekeskuksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon pienjännitekeskus standardissa (SFS-EN 61439-1:2022) määriteltävät arvot:

- toimintayksikön käytöstä johtuvat lisävaatimukset (esim. koordinaatiotyyppi, ylikuormitusominaisuudet)
- makroympäristön likaantumisaste (tilan, jossa keskus sijaitsee)
- maadoitustavat, joihin keskus on suunniteltu
- sisä- vai ulkoasennus
- kiinteä tai siirrettävä
- kotelointiluokitus (oltava vähintään IP2X koteloidulla keskuksella)
- maallikoille vai valtuutetuille henkilöille tarkoitettu käyttö
- sähkömagneettinen yhteensopivuuden (EMC) luokittelu
- erityiset käyttöolosuhteet, tarvittaessa
- ulkoinen rakenne
- suojaustaso mekaanisilta iskuilta (IK-koodi)

Luetelma jatkuu seuraavalla sivulla

Luetelma jatkuu edelliseltä sivulta

- rakenteen tyyppi, kiinteät tai ulosvedettävät osat
- oikosulkusuojan tyyppi
- sähköiskulta suojaamisen menetelmät
- vaadittaessa kokonaismitat ja paino (SFS-EN 61439-1:2022, 31)

13.3 Alakeskukset

Ala- tai ryhmäkeskukset ovat sähköpää -, mittaus- tai nousukeskuksen alikeskuksia, joiden kautta sähköä jaetaan eri alueille eli ns. jakokeskuksia. Valmistajalle tuotettavaa dokumentointi ovat tiedot laitevalinnoista, ohjauksista ja tarvittavista toimintaselostuksista sekä pää- ja piirikaaviot. Piirikaavion lisäksi annettava johdotustiedot joko piirustuksena tai taulukkomuodossa Pääkaavion tulee sisältää:

- kaikki pääpiirien laitteet ja tunnuksat
- informaatio ohjauspiirien tunnistamiseksi ja toteuttamiseksi
- erotusominaisuuksia vaativat laitteet
- kosketussuojauksen alueet
- vaadittavat jännitetyön alueet (ST 53.34, 4).

ST kortin 53.34 mukaan dokumentoinnin vaatimukset pääkaavion ovat seuraavia:

Pääkaavion tulee sisältää kaikki pääpiirien laitteet ja tunnuksat sekä riittävä informaatio ohjauspiirien tunnistamiseksi ja toteuttamiseksi. Keskuksen pääkaavioon tulee merkitä laitteet, joilta vaaditaan erotusominaisuuksia ja tarvittavat osittaisen kosketussuojauksen alueet sekä vaadittavat jännitetyön mahdollistavat alueet. Lisäksi valmistajalle on annettava oikosulkulujuutta ja suojalaitteiden toimintaa koskevat tiedot. (ST 53.34, 4.)

Pienjännitekeskus standardi vaatimusten lisäksi on suunnittelijan ja valmistajan käytävä seuraavia asioita läpi liittyen keskuksen valmistukseen:

- keskuksen kotelointiluokka
- kuljetus-, varastointi- ja asennusolosuhteet
- liittimet ulkoisille johtimille (johtimien materiaali, poikkipinnat, nollajohtimen liitostavat)

Luetelma jatkuu seuraavalla sivulla

Luetelma jatkuu edelliseltä sivulta

- kosketussuojausaste
- jännitteisenä tehtävät työt
- käyttö- ja kunnossapitotoiminnan vaatimukset
- sähköpiirien merkinnät
- ylijänniteluokka (III tai IV) (ST 53.34, 8).

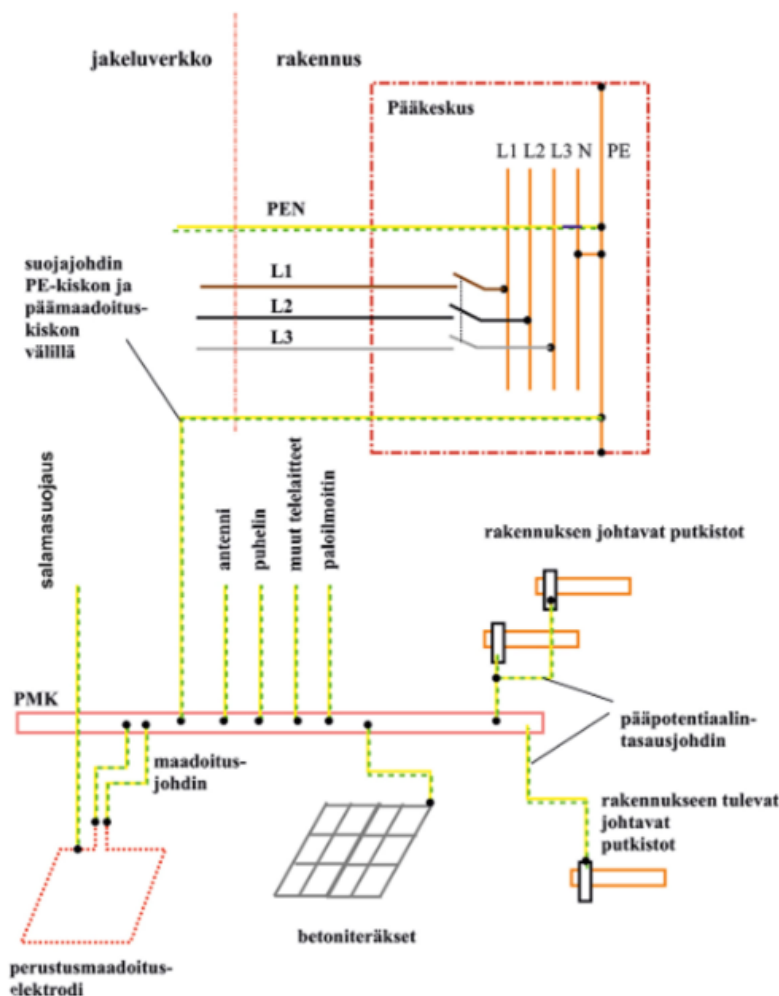
13.4 Keskusten mitoitus

Keskusta mitoittaessa tulee tietää keskuksen läpi kulkeva kokonaisvirta. Kokonaisvirran laskentaan tarvitaan korjauskertoimilla huomioitu arvioitu kokonaisnäennäisteho ja tämän laskentaan tarvitsee tietää kuormitusten kokonaispätöteho sekä kokonaisloisteho. Suoraan jakelumuuntajaan kytetty pääkeskus mitoitetaan muuntajan nimellistehosta lasketun virran avulla. Liitteessä 1: 16.6 esimerkkilasku keskuksen mitoituksesta.

14 Maadoitukset

Maadoitusjärjestämä päätarkoitus on tehdä sähköjärjestelmästä turvallinen ja luotettava, rajoittaa vikatapauksessa esiintyvää kosketus- ja askeljäännitteitä sekä estää vaarallisten jännitteiden siirtymistä järjestelmästä toiseen tai vuotovirtojen, kipinöiden ja valokaarien muodostumista (Kauppila, Koivisto & Ylinen 2019, 30-34). Suoja sähköiskulta ja häiriösuojaus saadaan aikaiseksi luomalla yhteys johtavaan maahan (Ks. kuvio 7). Eristys- tai muun vian aiheuttama vaarallinen kosketusjännite on poistettava mahdollisimman nopeasti järjestelmästä ja tätä varten vikavirran kulkemiseen on suunniteltava vikavirtapiiri. Kaikki jännitteelle alttiin sähkölaitteiden osat on yhdistettävä vikavirtapiiriin. Maadoitusjärjestelmän rakenne riippuu seuraavista tekijöistä:

- sähköjärjestelmän maadoitustavasta
- asennuksen turvallisuusvaatimukset
- rakennuksen käyttötarkoitus ja laitevaatimukset
- pienjänniteasennusta syöttävän suurjänniteasennuksen vaikutukset (jos yhteinen maadoitus)
- rakennuksessa tarvittavat maadoitusjärjestelmät (eri järjestelmien maadoitukset, ylijännitesuojaus, salamasuojaus) (Kauppila ym. 2019, 31)



Kuvio 7. Maadoitus, potentiaalintasaus ja syötön kytkennät järjestelmässä, jossa liittymän syötössä PEN- johdin (Kauppila ym. 2019, 44)

14.1 Jakelujärjestelmät

Jakelujärjestelmän rakenne määrittää maadoitustavan. Järjestelmät voidaan luokitella jännitteisten johtimien ja maadoitusjohtimien tyyppien/lukumäärien sekä maadoittamisen avulla. TN-järjestelmässä kaikki jännitteelle alttiit osat yhdistetty suoraan teholähteen maadoitettuun pisteeseen. (D1-2022, 57.) Nolla- ja suojamaadoitusjohtimien järjestely voidaan tehdä kolmella tapaa, nämä tavat esitelty standardissa SFS 6000-1:2022.

TT-järjestelmää ei käytetä Suomessa, mutta koska toimeksiantajan suunnittelu toimeksiannot ovat maailman laajuisia työssä esitellään myös TT- järjestelmän maadoitus. TT-järjestelmässä vain yksi piste virtapiirissä on suoraan maadoitettu, tyypillisesti muuntamon tähtipiste. TN-järjestelmästä

poiketen sähkölaitteistojen ja -laitteiden jännitteelle alttiit osat erillisen maadoituselektrodin kautta. Maadoituselektrodien on oltava erillisiä syöttöverkon maadoituselektrodiin nähden (D1-2022, 60). IT-järjestelmää on täysin maasta erotettu järjestelmä ja sitä käytetään kohteissa, joissa halutaan estää tai siirtää maasulun aiheuttama käyttökeskeytys. Järjestelmän jännitteelle alttiit sähkölaitteistot ja -laitteet on kytketty joko erillisiin maadoituselektrodeihin tai suojajohtimen välityksellä syöttävään verkon maadoituselektrodiin. Käyttökohteita IT-järjestelmälle ovat mm. teollisuuden prosessijakelu ja ohjauspiirit. (D1-2022, 63) Liitteessä 2 esitetty järjestelmien toimintatapa-kaaviot.

Järjestelmien tunnuksat menevät kirjaintunnuksilla:

- Ensimmäinen kirjain, jakelujärjestelmän maadoitustapa:
 - T: yksi pistetty yhdistetty suoraan maahan
 - I: yksi piste yhdistetty maahan impedanssin kautta, tai kaikki jännitteiset osat eristetty maasta
- Toinen kirjain, sähkölaitteiston jännitteelle alttiiden osien maadoitustapa:
 - T: jännitteelle alttiit yhdistetty galvaanisesti suoraan maahan (jakelujärjestelmän maadoitustavasta riippumatta)
 - N: kaikki jännitteelle alttiit osat yhdistetty jakelujärjestelmän maadoitettuun tähtipisteeseen
- Mahdolliset lisäkirjaimet, nolla- ja suojamaadoitusjohtimien keskinäinen järjestely:
 - S: erillinen suojamaadoitusjohdin koko järjestelmässä
 - C: nolla- ja suojamaa yhdistettynä samaan johtimeen (PEN)

(SFS 6000-1:2022, 48-49.)

14.2 Maadoituselektrodi

Maadoituselektrodi on maadoitusjärjestelmän yhteys maahan, mutta sillä on potentiaalintasauksen kannalta merkitys. Elektrodin tehokkuus riippuu maaperästä, johon elektrodi asennetaan sekä sen rakenteesta (Ks. taulukko 13). Maadoituselektrodia voidaan käyttää betoniin tai maahan upotettuna, pysty- tai vaakasuoraan asennettuja metallielektrodeja suoraan maahan asennettuna tai maahan upotettuun betonirakenteeseen hitsattuja teräksiä. (SFS 6000-5-54:2022, 10.)

Taulukko 13. Maadoituselektrodien minimimitat (SFS 6000-5-54:2022, 9, muokattu)

Materiaali	Poikkipinta-ala mm ²	Halkaisija mm	Minimipaksuus mm ^a	Korroosiosuojauskerroksen paksuus μm
Kupari	16		1,6	-
Kuumasinkitty teräs	90	10	3	45
Ruostumaton teräs	90	10	3	-
Betoniin upotettu teräs	90	10	3	_b
Kuparivaipalla varustettu teräs		15		2000
Sähköisesti kuparilla päällystetty teräs		14 (vaakatasossa 10)		250 (vaakaeloktrodilla 70)
^a Nauhan tai levyn paksuus tai köyden yksittäisen langan halkaisija				
^b Betoniin upotetulla perustusmaadoituselektrodilla ei tarvita korroosiosuojausta				

Vaikka 16 mm² CU onkin pienin sallittu poikkipinta-ala, suositus on käyttää tärkeissä kohteissa 25 mm² poikkipinta-alaltaan olevaa elektrodia. Salamasuojauksen takia asennettua elektrodia suositellaan poikkipinta-alaksi 50 mm² CU.

14.3 Maadoitusjohtimet

Päämaadoituskiskon ja maadoituselektrodin välisiä johtimia kutsutaan maadoitusjohtimiksi. Poikkipinnaltaan näiden oltava vähintään 6 mm² CU tai 50 mm² terästä. Maahan upotettujen poikkipinnat taulukon 14 mukaan. Alumiinijohtimien käyttö on kielletty (SFS 6000-5-54:2022, 10).

14.4 Päämaadoituskisko

Maadoitusjärjestelmä on liitettävä jokaiselta osaltaan päämaadoituskiskoon- tai liittimeen. Maadoituskisko toimii maadoitusjärjestelmän koontipisteenä ja on oltava jokaisessa asennuksessa, jossa käytetään suojaavaa potentiaalintasausta (SFS 6000-5-54:2022, 11). Kiskoon liitettävät johtimet:

- maadoitusjohtimet
- suojajohtimet
- suojaavat potentiaalintausjohtimet
- toiminnalliset maadoitusjohtimet (SFS 6000-5-54:2022, 11).

14.5 Suojajohtimet

Suojajohtimiksi nimitetään johtimia, joita käytetään sähköiskulta suojaukseen. Suojajohtimet suositellaan maadoitettavaksi siellä missä ne tulevat sisään rakennukseen tai kiinteistöön. (SFS 6000-4-41:2022, 10.) Kaikki jännitteelle alttiit osat on kytkettävä suojamaadoitusjärjestelmään suojamaadoitusjohtimilla (SFS 6000-5-54:2022, 11). Tällaisia johtimia ovat seuraavat:

- suojamaadoitusjohtimet
- potentiaalintasausjohtimet
- maadoitusjohtimet, joita käytetään sähköiskulta suojaamiseen (SFS 6000-5-54:2022, 11).

Suojajohtimien minimipoikkipinnat esitetty taulukossa 14. Suojajohtimet, jotka eivät ole kaapeli-vaipan sisällä tai samassa asennusputkessa äärijohtimien kanssa oltava minimissään:

- 2,5 mm² CU tai 16 mm² Al, mekaanisesti suojatulla suojajohtimilla
- 4 mm² CU tai 16 mm² Al, ilman mekaanista suojausta (SFS 6000-5-54:2022, 12).

Taulukko 14. Suojajohtimen minimipoikkipinnat (SFS 6000-5-54:2022, 12, muokattu)

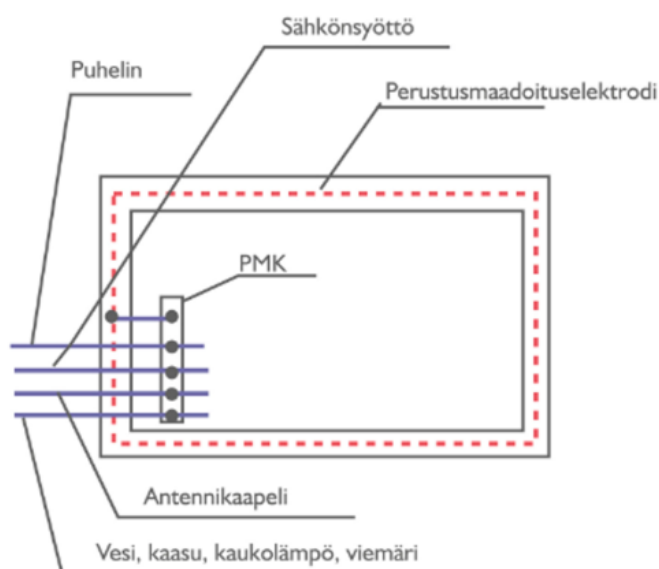
Äärijohtimen poikkipinta S mm ² kuparia	Vastaavan suojajohtimen minimipoikkipinta mm ² kuparia	
	Suojajohdin on samaa materiaalia kuin äärijohtimen	Suojajohdin on eri materiaalia kuin äärijohtimen
$S \leq 16$	S	$(k_1/k_2) \times S$
$16 < S \leq 35$	16^a	$(k_1/k_2) \times 16$
$S > 35$	$(S/2)^a$	$(k_1/k_2) \times (S/2)$
jossa k_1 on äärijohtimen materiaalista ja eristyksestä riippuva kertoimen k arvo, joka on esitetty taulukossa 54A.1 tai standardin SFS 6000-4-43 taulukoissa k_2 on kertoimen arvo, joka esitetty taulukoissa 54A.2 - 54A.6		
^a PEN-johtimen poikkipinnan pienentäminen on sallittu vain noudattamalla nollajohtimen mitoituksen sääntöjä (kts. SFS 6000-5-52)		

Esimerkki suojajohtimen mitoituksesta laskemalla liitteessä 1: 16.8

14.6 Potentiaalintasaus

Potentiaalintasauksen tarkoitus on saattaa kaikki jännitteelle alttiit osat samaan potentiaaliin (Ks. kuvio 8). Tämä pienentää vikatapauksessa esiintyvää kosketusjännitettä. Tämä toteutetaan yhdistämällä kaikki järjestelmän jännitteelle alttiit osat referenssipisteessä ja usein tämä piste on pääpotentiaalintasauskiskossa (D1-2022, 298-299). Potentiaalintasaus jaetaan seuraavasti:

- pääpotentiaalintasaus
- lisäpotentiaalintasaus
- maadoittamattomaan potentiaalintasaukseen (D1-2022, 298-299).



Kuvio 8. Potentiaalintasaus (Orrberg & Tiainen 2022, 126)

Pääpotentiaalintasaus

Pääpotentiaalintasaus on tehtävä jokaisessa rakennuksessa ja sen tarkoituksena on ehkäistä vaarallisten jännite-erojen esiintyminen johtavien osien välillä, joita voi samanaikaisesti kosketella. TN-S järjestelmässä pääpotentiaalintasauksella on suuri merkitys sähkömagneettisen yhteensopivuuden kannalta. TN-S järjestelmässä nollajohtimen jännitehäviöt eivät pääse aiheuttamaan eri keskusportaiden välille sellaisia suojamaadoitustason jännite-eroja kuin TN-C-S järjestelmän PEN-johtimeen on mahdollista muodostua. (Orrberg & Tiainen, 86.) Pääpotentiaalintasaukseen suositellaan liitettäväksi kaikki suurikokoiset johtavat osat, sillä se parantaa sähköturvallisuutta myös

silloin, kun sattuu eristysvika (D1-2022, 300). Pää ja pääpotentialintasaukseen liitetään seuraavat muut johtavat osat:

- rakenteiden metalliset osat, IV- ja keskuslämmityslaitteistot
- rakennukseen tulevien syöttöjen kuten kaasu, vesi, kaukolämpö metalliset putket
- rakenteissa käytetyt teräsbetonin pääteräksiset, mikäli tämä onnistuu rikkomatta rakenteita
- telekaapeleiden metallivaipat (D1-2022, 300).

Suojajohdinjärjestelmästä liitetään pääpotentialintasausjärjestelmään sekä järjestelmää syöttävän johdon PEN- tai suojamaadoitusjohdin, että maadoituselektrodi päämaadoitusliittimen tai maadoitusjohtimen kautta (D1- 2022, 300).

15 Turvavalaistussuunnittelu

Kuten sähkösuunnittelussa on turvavalaistuksen suunnittelijan tunnettava asetukset ja lainsäädäntö ja huolehdittava, että kaikki mahdollinen lähtötieto on saatavilla. Sähkösuunnittelija ei määrittele poistumisreittejä, mutta poistumisvalaistussuunnitelman valaistus ja poistumisteiden merkintä tavallisesti kuuluu sähkösuunnittelijalle. Huomioon otettavia asioita on tilaluokitukset, ensiapupisteiden, alkusammutuskaluston sekä paloilmoitinpainikkeiden sijainnit. (ST 59.10, 5.)

Sisäministeriön asetus rakennusten poistumisreittien merkitsemisestä ja valaisemisesta viittaa eurooppalaisiin standardeihin, joissa annetaan velvoitteita ja suosituksia poistumisvalaistuksen suunnitteluun, teknisiin ominaisuuksiin, asennuksiin ja huoltoon. Suomessa asetuksen 805/2005 mukaan poistumisopasteiden on oltava aina valaistuja ja muun poistumisvalaistuksen käynnistytävä, kun yleisvalaistus sammuu vikatilanteessa tai vain rakennuksen tietyn palo-osaston valaistus ajautuu vikatilaan. Turvavalaistus voi olla toteutettu keskitetyllä tehonsyötöllä tai valaisimet voivat sisältää oman teholähteen. Johtojärjestelmän palonkestoisuusvaatimukset eivät ole voimassa, mikäli käytetään itsenäisesti toimivia valaisimia. (ST 51.06, 14.)

Keskitetyn tehonsyötön johtojärjestelmien on tulipalon sattuessa säilytettävä syöttö jokaiseen palo-osastoon riittävän pitkän aikaa. Itse palo-osastoilla ei ole vaatimuksia johtojärjestelmän palonkestävyydelle, mutta palo-osastojen läpi kulkevat johtojärjestelmät tehonsyöttöön on toteutettava palonkestävillä johtojärjestelmillä. Turvavalaisinryhmän vikaantuminen ei saa vaikuttaa

laajalle alueelle ja keskusakustojärjestelmässä ei saa syöttää enempää kuin 20:tä valaisinta mistään ryhmäjohtosta. (SFS 6000-5-56, 13.)

Turvavalaistuksen suunnittelun tulee perustua valaisun suhteen huonoimpaan tilanteeseen, eikä suunnittelussa oteta huomioon pintojen heijastuksia, kuten perinteisessä valaistussuunnittelussa. Kuitenkin estohäikäisy on otettava huomioon poistumisreiteillä. Estohäikäisyllä tarkoitetaan turvavalaistimen kirkkautta, joka voi ehkäistä näkemästä opastekilpiä ja esteitä reitillä (SFS-EN 1838, 9). Taulukossa 15 esitetään estohäikäisyn rajat.

Taulukko 15. Valaisimen suurin valovoima häikäisyalueella (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 35, muokattu)

Asennuskorkeus lattian tasosta h (m)	Poistumisreitti- ja avoimen alueen valaistuksen suurin valovoima I_{max} (cd)	Riskialttiin työalueen valovoima I_{max} (cd)
$h < 2,5$	500	1 000
$2,5 \leq h < 3,0$	900	1 800
$3,0 \leq h < 3,5$	1 600	3 200
$3,5 \leq h < 4,0$	2 500	5 000
$4,0 \leq h < 4,5$	3 500	7 000
$h \geq 4,5$	5 000	10 000

Turvavalaisinjärjestelmän tarve selvitetään tapauskohtaisesti rakennusvalvonta- ja pelastusviranomaisten kanssa. Poistumisvalaistuksen suunnittelussa on otettava huomioon rakennuksen käyttötarkoitus, muoto ja koko sekä miten poistuminen on järjestetty rakennuksesta. (SFS 6000-5-56:2022, 16.) Taulukossa 16 standardin SFS 6000-5-56:2022:n esimerkkejä eri tilojen turvavalaistusvaatimuksista.

Taulukko 16. Esimerkkejä turvavalaistuksen vaatimuksesta eri rakennuksissa (SFS 6000-5-56:2022, 17, muokattu)

	Poistumisopasteet	Poistumisreittien valaistus
Majoitustilat	+	- ¹⁾
Hoitolaitokset	+	+
Rangaistuslaitokset	+	+
Kokoontumis- ja liiketilat	+	+ ²⁾
Toimistot ja muut työpaikkatilat	+	-
Tuotantotilat	+	- ³⁾
Varastotilat	- ⁴⁾	-
Autosuojat	+	-
Maanalaiset tilat	+	+
Yli 8-kerroksiset rakennukset	+	+

+ = valaistus tarvitaan
 - = valaistusta ei vaadita

¹⁾ Yksikerroksisissa rakennuksissa, joissa poistumismahdollisuudet ovat hyvät (esimerkiksi poistutaan huoneista suoraan ulos) poistumisreitin valaistus voidaan jättää pois

²⁾ Tiloissa, joiden pinta on suurempi kuin 300m². Pienemmissä tiloissa poistumisreitin valaistus harkinnan mukaan.

³⁾ Mikäli poistuminen on vaikeaa tai poistumisjärjestely on tavanomaisesta poikkeava, poistumisreitti on valaistava.

⁴⁾ Mikäli tilassa ei työskennellä jatkuvasti

15.1 Järjestelmän suunnittelu

Pelastusviranomaisilla ei ole velvollisuutta tarkastaa poistumisvalaistussuunnitelmia, joten vastuu suunnitelman asianmukaisuudesta on suunnittelijalla. Suunnitelmassa on hyvä esittää kaavio, jossa merkittynä valaisimien tunnuksat tilakohtaisesti. Suunnittelussa huomioon otettavia asioita. (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 59.):

- järjestelmän valinta
- akuston mitoitus
- valaisintyyppit
- valaisimien sijoitus
- kaapelityyppien valinta
- kaapeloinnin poikkipinnat ja jännitteen alenema
- 20% laajennusvara mahdollisia lisäyksiä varten (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 59).

Mainittavaa on, ettei turvajärjestelmien piirejä (joihin turvavalaistus kuuluu) saa suojata vikavirtasuojilla tai valokaarivikasuojilla. Piirit, joita on mahdollista syöttää tasasähköllä, on varustettava kaksinapaisilla ylivirtasuojilla (SFS 6000-5-56, 11).

15.2 Dokumentointi

Pelastusviranomaisten näkökulmasta poistumisjärjestelmästä tehdyt pohjapiirustukset, joissa esitetään vain järjestelmän valaisimet ja muut laitteet kaapelointineen ovat käyttökelpoisia esiteltäessä suunnitelmaa sekä järjestelmän ylläpidossa. Turvavalaistuksen dokumentointiin kuuluvia asiakirjoja ovat. (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 58.):

- sähköselostus, järjestelmän yleiskuvaus ja laitemäärittelyt
- sähkösuunnitelman pistesijoitus- ja ryhmityspiirustukset, joista käy ilmi valaisimien sekä keskuslaitteiden sijainnit
- poistumisvalaistuskaavio, jossa esitetään järjestelmän kaapelointi
- valaisintaulukko
- valaisimien koodaus (osoitteellisessa järjestelmässä)
- käyttö- ja kunnossapito-ohje (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 58).

15.3 Virransyöttöjärjestelmät ja ryhmitys

Turvavalaistusjärjestelmä voidaan suunnitella toimivaksi keskusakusto- tai yksikkövalaisinjärjestelmänä. Valinta tehdään kohdekohtaisesti laitteiston ominaisuuksien ja ympäristön mukaan (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 41). Huomioon otettavia tekijöitä:

- kohteen käyttötarkoitus ja koko
- rakennusvaihe (uudiskohde, saneeraus tai laajennus)
- järjestelmän valvontamenetelmä
- laitteiden tekninen suorituskyky
- liittäminen olemassa olevaan järjestelmään
- avoimet alueet
- riskialttiit tilat
- paloalueet ja aluevalvonnan toteutusmahdollisuus
- hankinta- ja käyttökustannukset (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019 Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 41).

Keskusakustojärjestelmät

Tehonlähteenä yleensä 24 V tai 230 V akusto, joka sijaitsee keskuksen yhteydessä. Keskusakustojärjestelmän turvavalaistuskeskuksesta voidaan siirtää valvontajärjestelmiin erilaisia vikahälytyksiä. Tällaisia ovat tyypillisesti akuston ali- tai ylijännitteet, akuston irti kytkeytyminen tai jopa

yksittäisen valaisimen tilatieto (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 41). Perusjako näiden järjestelmien välillä seuraavasti:

24 V järjestelmä:

- normaalitilassa keskus syöttää 24VAC, katkoksen aikana 24V tasajännite
- eri ryhmät opaste- ja turvavalaisimille
- enintään 20 valaisinta ryhmässä
- kaapelointi 1,5 mm² - 6 mm² kuormasta ja kaapelin pituudesta riippuen (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 41).

230 V järjestelmä, 3 erilaista päätyyppiä:

- 230 V tasajännite akustoon perustuva, syöttöjännite 230V AC/DC
- 24 V akustoon perustuva, 230 V vaihtojännite normaalitilanteessa ja katkoksen aikana 24 VDC/230 VAC vaihtosuuntaajan kautta
- 24 V akustoon perustuva, 230 VAC/DC, 24-230 VDC hakkurivirtalähteellä (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 42).

Yksikkövalaisinjärjestelmät

Yksikkövalaisinjärjestelmän valaisimissa on akku tai kondensaattori. Järjestelmän valaisinmäärä riippuu käytettävissä olevan tehon määrästä. Yksikkövalaisinjärjestelmien päätyypit:

- 230 VAC järjestelmä, kaapelointi 2-3 x 1,5/2,5 mm
- 24-40 VDC järjestelmä, väyläkaapeleilla toteutettu järjestelmä (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 42).

KLM-kaapeloinnilla toteutetussa turvalojjärjestelmässä on valaisimissa yksilölliset osoitteet, jotka mahdollistavat vikavalvonnan raporteineen. Turva- ja opastevalot mahdollista kytkeä samoihin ryhmiin ja järjestelmä on integroitavissa taloautomaatiojärjestelmään. Mahdollisuus myös toteuttaa langaton valvonta erillisen keskuslaitteen avulla. Yksikkövalaisinjärjestelmä on mahdollista integroida paloilmoitinjärjestelmään, jolloin paloilmaitimet sekä turvalot samassa väylässä ja paloilmoitinkeskus ohjaa ja valvoo järjestelmää. (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 42-43.)

15.4 Osoitteellinen ja itsetestaava järjestelmä

Perustuu samaan tekniikkaan kuin yllä listatut päätyypit. Keskuksien turvavalon- ja opastevalaisinryhmät voivat olla joko erillisiä ryhmiä tai samassa ryhmässä. Samaan ryhmään kytkeminen valmistajan ohjeiden mukaan. Ryhmässä saa olla maksimissaan 20 valaisinta ja kaapelointi kuormasta sekä kaapelin pituuden mukaan $1,5 \text{ mm}^2$ - $2,5 \text{ mm}^2$. (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 42.)

15.5 Turvavalaisinjärjestelmän kaapelointi

Turvavalaisinjärjestelmä kuuluu järjestelmiin, joiden on toimittava tulipalon aikana tietyn aikaa. Vähimmäisvaatimus on 1 h, mutta mikäli poistumisjärjestelyt poikkeavat tavanomaisesta voi toiminta-aika olla pidempikin ja tällaisissa tapauksissa suunnittelijan on oltava yhteydessä pelastusviranomaisiin. (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 50.)

Yksikkövalaisinjärjestelmässä kaapeloinnille ei ole palonkestävyyden suhteen vaatimuksia, koska valaisin sisältää energia- ja ohjauskomponentit. Kaapelointi voidaan tehdä MMJ- kaapelilla. Palonkestoa vaativa järjestelmä on kaapeloitava kuparikaapelilla, koska kuparijohtimella huomattavasti parempi palonkesto kuin alumiinijohtimella. Palonkestävien kaapeleiden mitoituksessa otettava huomioon palotilanteessa nousevan lämpötilan aiheuttama resistiivisyyden kasvu kaapelissa. 230 V järjestelmissä laskettava oikosulkuvirrat, joilla määritellään kaapeloinnin maksimipituudet. Heikkovirtajärjestelmissä varmistettava virransyötön riittävyys valaisimille. (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 64.)

Jännitteenalenemaan kiinnitettävä erityistä huomiota 24 V:n järjestelmissä. Valmistaja antaa jännitteenalenemalle raja-arvot ja mitoitus tehdään niin, että mitoitus alle valmistajan raja-arvon sekä ryhmän kauimmaisen valon jännite on riittävä valaistuksen nimellisen toiminta-ajan lopulla. (Hainari, Hongisto & Jumppanen 2019, 64.)

Liitteessä kaksi esitelty muutamia esimerkkejä poistumisreittien turvavalaistusvaatimuksista sekä turvavalaistuksen suunnittelussa käytettäviä piirrosmerkkejä.

16 Tulokset

Työssä saatiin laadittua kattava ja selkeä ohjeistus sähkösuunnittelun dokumentoitaviin yksityiskohtiin. Työssä ei voitu ottaa kaikkia asioita huomioon ja työhön rajattiin mielestäni tärkeimmät dokumentoivat tekniset yksityiskohdat sähkösuunnittelun näkökulmasta. Materiaalia opinnäytetyön aiheesta oli niin paljon, että työhön on tiivistetysti kerätty oleellisemmat dokumentoivat yksityiskohdat, oli työssä mietittävä kokonaispituutta alusta alkaen. Turvavalaistus yhtenä sähkösuunnittelun järjestelmänä valittiin esiteltäväksi, koska se on järjestelmä, joka tulee jokaiseen teolliseen ja kaupalliseen kohteeseen jo lain vaatimuksena.

Opinnäytetyötä seuraamalla voi tuore sähköinsinööri tai miksei jo alalla ollut sähköinsinööri saada helposti selkeän kuvan sähkösuunnittelun dokumentoinnin eri vaiheista ja teoriapohjasta eri vaiheiden suunnitteluun ja erilaisiin mitoituksiin. Opinnäytetyön myötä myös tiedonhaku helpottuu, sillä SFS-6000 standardisarja ja ST-kortisto on laaja ja opinnäytetyön pohjalta lukijan on helppo löytää oikea lähde haluamalleen sähkösuunnittelun perusteille. Esitellyt kaavat ja esimerkkilaskut helpottavat myös insinöörin suunnittelutyötä.

Työssä käytettyjä lähteitä voidaan pitää hyvinkin luotettavina, sillä lähteet ovat kaikki suomalaisia standardeja, lakeja ja asetuksia tai niihin pohjaavia ST-kortteja sekä ST-käsikirjoja. Kansallinen standardisarja SFS 6000 pohjaa eurooppalaiseen Cenelec HD 60364 asiakirjasarjaan ja kansainväliseen IEC 60364 standardisarjaan, joita voidaan pitää ehdottoman luotettavina. Työssä noudatettiin hyvää tieteellistä käytäntöä eli työn tiedonhankinnassa käytettiin alan tieteellistä kirjallisuutta sekä näihin pohjaavia tietolähteitä sekä jokaisessa kappaleessa viitattiin lähteeseen.

Opinnäytetyön jatkumona olisikin loogista tuottaa sähkösuunnitteluun tarvittavat dokumenttipohjat, jotka olisivat siten yhtenäisiä toimeksiantajan kaikissa sähkösuunnitteluprojekteissa.

Lähteet

Alvan pienjänniteliittymien kaapelikoot N.d Alva verkkosivu. Viitattu 17.7.2023

<https://www.alva.fi/sahkoverkko/sahkoliittymat-ja-mittarointi/uudet-liittymat/sahkoliittymantekniset-ohjeet-pienjannite/>

D1-2022. 2022. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähköinfo. 29. p. Espoo: Sähköinfo

Erkkilä, V., Härkönen, P., Kauppi, V., Koivisto, P., Piikkilä, V. & Tiainen, E. 2019. ST-käsikirja 30. Sähkötekniä taulukoita. 5.p. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 1.7.2023. <https://severi.sahkoinfo.fi/>, Severi Sähköinfo

Fimpec suunnittelupalvelut. N.d. Fimpec verkkosivut. Viitattu 3.7.2023. <https://fimpec.com/palvelut/suunnittelu/>.

Fimpec yrityksenä. N.d. Fimpec verkkosivut. Viitattu 3.7.2023. <https://fimpec.com/yritys/>.

Fimpec sähkösuunnittelu, <https://fimpec.com/palvelut/suunnittelu/sahkosuunnittelu/>. Viitattu 3.7.2023. <https://fimpec.com/palvelut/suunnittelu/>

Hainari, H., Hongisto, P., Jumppanen, J. & Nissinen T. 2019. ST-käsikirja 36. Poistumisvalaistus. 3.p. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 14.7.2023. <https://severi.sahkoinfo.fi/>, Severi Sähköinfo

Härkönen, P., Liedes, R., Mikkola, J., Piikkilä, V., Pusa, K., Sahala, A., Sahlstén, T., Sandström, B., Sirviö, A., Spangar, T. & Sulku, J. 2018. ST-käsikirja 7. Rakennusautomaatiojärjestelmät. 6.p. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 13.7.2023. <https://severi.sahkoinfo.fi/>, Severi Sähköinfo

Jumppanen, J & Nissinen T. 2021. ST-ohjeisto 8. Poistumisvalaistus ja poistumisreittivalaistus. 5.p. Espoo: Sähköinfo.

Jännitehäviö ja jännitteenalenema. N.d. JAMK TSASS500 sähkösuunnittelu kurssimateriaali. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 2.8.2023

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Miten kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihe vaiheelta. Jyväskylä: Suomen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print

Kauppalehti. N.d. Kauppalehti verkkosivut. Viitattu 8.6.2023. <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/fimpec+engineering+oy/21335264>.

Kauppila, J. Koivisto, P. Ylinen, T. 2019. Maadoituskirja. 7.p. Espoo: Sähköinfo

Orrberg M. & Tiainen E. 2022. Sähköasennukset 1. 5. p. Espoo: Sähköinfo.

Poutakivi, S. 2018. Ohjeita rakennussähkösuunnittelun dokumentointiin ja työvaiheisiin. Opinnäytetyö, AMK. Metropolia ammattikorkeakoulu, tekniikka, sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma.

Prysmian alumiinijohtiminen PEX-eristeinen halogeeniton 1 kV voimakaapeli. Viitattu 30.7.2023. https://fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/cpr%20AXMK-PLUS%20220219.pdf

SFS-EN 1838 Valaistussovellukset. Turvavalaistus 2014. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 22.6.2023. <https://janet.finna.fi>, SFS Online

SFS-EN 61439 IEC 61439-1:2022. Pienjännitekeskukset. Osa 1: Yleisvaatimukset. 2022. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 29.5.2023. <https://janet.finna.fi>, SFS Online

SFS 6000-1:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Peruseriaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät. 5.p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 29.5.2023. <https://janet.finna.fi>, SFS Online

SFS 6000-4-41:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-41: Suojausmenetelmät. Suojaus sähköiskulta. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 29.7.2023. <https://janet.finna.fi>, SFS Online

SFS 6000-4-43:2022 Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-43: Suojausmenetelmät. Ylivirtasuojaus. 5.p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 29.7.2023. <https://janet.finna.fi>, SFS Online

SFS 6000-5-51:2022 Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-51: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Yleiset säännöt. 6.p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 29.5.2023. <https://janet.finna.fi>, SFS Online

SFS 6000-5-52:2022 Pienjänniteasennukset. Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johdotjärjestelmät. 6.p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 28.7.2023. <https://janet.finna.fi>, SFS Online

SFS 6000-5-53:2022 Pienjänniteasennukset. Osa 5-53: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Erottaminen, kytkentä ja ohjaus. 5.p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 20.6.2023. <https://janet.finna.fi>, SFS Online

SFS 6000-5-54:2022 Pienjänniteasennukset. Osa 5-54: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen, Maadoittaminen ja suojaohdotimet. 5.p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 20.6.2023. <https://janet.finna.fi>, SFS Online

SFS 6000-5-56:2022 Pienjänniteasennukset. Osa 5-56: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen, Turvajärjestelmät. 3.p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 20.6.2023. <https://janet.finna.fi>, SFS Online

SFS 6000-8-801:2022 Pienjännitesähkösäennukset. Osa 8-801: täydentävät vaatimukset. Jakeluverkot. 5.p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 22.6.2023. <https://janet.finna.fi>, SFS Online

ST 13.28 Yleisohjeita sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien dokumentoinnista. 2020. Sähkötieto. Viitattu 8.6.2023. <https://severi.sahkoinfo.fi/>, Severi Sähköinfo.

ST 13.31 Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. 2021. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 8.6.2023. <https://severi.sahkoinfo.fi/>, Severi Sähköinfo.

ST 53.12 Vikavirtasuojat. 2022. Sähkötieto. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 8.6.2023. <https://severi.sahkoinfo.fi/>, Severi Sähköinfo.

ST 51.06 Palonkestävä johtojärjestelmä palon aikana toimiviksi tarkoitetuille järjestelmille 2023. Sähkötieto. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 1.8.2023. <https://severi.sahkoinfo.fi/>, Severi Sähköinfo.

ST 53.14 Ohjeet perinteisten sulakkeiden valinnasta ja käytöstä, alle 1000V:n sähköjärjestelmät. 2018. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 3.7.2023. <https://severi.sahkoinfo.fi/>, Severi Sähköinfo.

ST 53.25 Ohjeita vikasuojauksesta enintään 1000V TN järjestelmässä 2018. Sähkötieto. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 10.6.2023. <https://severi.sahkoinfo.fi/>, Severi Sähköinfo.

ST 53.34 Jakokeskuksen suunnittelussa ja valmistuksessa huomioon otettavia asioita. 2019. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 3.7.2023. <https://severi.sahkoinfo.fi/>, Severi Sähköinfo.

ST 53.45 Sulakkeeton suojaus 2015. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 3.7.2023. <https://severi.sahkoinfo.fi/>, Severi Sähköinfo.

ST 59.10 Turvavalaistus ja poistumisopasteet. Suunnittelu. 2020. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 16.7.2023. <https://severi.sahkoinfo.fi/>, Severi Sähköinfo.

ST 70.21 Sähkökeskuksia koskevat vaatimukset ja toimitusohjeet. 2022. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 8.6.2023. <https://severi.sahkoinfo.fi/>, Severi Sähköinfo.

ST 701.32 Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelu. 2022. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 8.6.2023. <https://severi.sahkoinfo.fi/>, Severi Sähköinfo.

Rousku, H. 2022. Sähkösäennukset 1. 5.p. Sähköinfo

Vilka, H. 2005. Tutki ja kehittä. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Viitattu 29.5.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161135>, ajantasainen lainsäädäntö.

1434/2016 Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista. Viitattu 29.5.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161434>, ajantasainen lainsäädäntö.

1435/2016 Valtioneuvoston asetus sähkötyöstä ja käyttötyöstä. Viitattu 7.8.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161435>, ajantasainen lainsäädäntö.

1437/2016 Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden turvallisuudesta. Viitattu 7.8.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161437>, ajantasainen lainsäädäntö.

Liitteet

Liite 1. Mitoituksen laskukaavoja ja kertoimia

16.1 Oikosulku

Esimerkkejä laskukaavoista ja

Minimi oikosulkuvirta (70°C)

$$I_{k1\min} = \frac{c_{\min} \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

Maksimi oikosulkuvirta (20°C)

$$I_{k3\max} = \frac{c_{\max} \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

missä

$I_{k1\min}$ = minimi 1-vaiheinen oikosulkuvirta (A)

$I_{k3\max}$ = maksimi 3-vaiheinen oikosulkuvirta (A)

$c_{\min}$ = varmuuskerroin 0,95, kun nimellisjännite U_n on 100–1000 V

$c_{\max}$ = varmuuskerroin 1,1, kun nimellisjännite U_n on 100–1000 V

U = pääjännite (V)

Z = verkon sisäinen impedanssi (Ω)

Oikosulun kesto aika 0,1 - 5,0 s lasketaan kaavalla:

$$t = \left(\frac{k \cdot A}{I} \right)^2 \text{ tai } t = \left(\frac{I_{CW}}{I_{TH}} \right)^2$$

missä

t = aika, johon mennessä johtimen lämpötila nousee sallittuun rajalämpötilaan (s)

k = kerroin, joka riippuu johtimen- ja eristyksen materiaalista sekä alku- ja loppulämpötiloista (Ks. taulukko 17).

A = johdinpoikkipinta ala (mm²)

I = oikosulkuvirran tehollisarvo (A)

I_{CW} = komponentin 1s:n ajan sallitun termisen oikosulkuvirran tehollisarvo

I_{TH} = komponentin 1s:n ajan oikosulkuvirran tehollisarvo

Esimerkki oikosulun kestoajan laskemisesta:

Kaapelin alkupäässä suurin oikosulkuvirta 600 A ja pienin kaapelin loppupäässä 350 A. Kaapelina 6 mm² MMJ. Oikosulkusuojauksen suurin sallittu toiminta-aika:

$$\text{alkupäässä } t = \left(\frac{115 \cdot 6}{600 \text{ A}} \right)^2 = 1,32 \text{ s}$$

$$\text{loppupäässä } t = \left(\frac{115 \cdot 6}{350 \text{ A}} \right)^2 = 3,88 \text{ s}$$

Taulukko 17. Kertoimen k arvot vaihejohtimille (SFS 6000-4-43:2022, 13, muokattu)

	Johtimen eristys					
	PVC ≤ 300mm ²	PVC > 300mm ²	EPR/PEX	Kumi 60°C	Mineraali PVC päällyste	Mineraali paljas
Alkulämpötila °C	70	70	90	60	70	105
Loppulämpötila °C	160	140	250	200	160	250
Johtimen materiaali						
Kupari	115	103	143	141	115	135/115 *
Alumiini	76	68	94	93	-	-
Tinalla juotetut kuparijohtimien liitokset	115	-	-	-	-	-

Esimerkkilasku: ryhmäkeskuksen oikosulkuvirta 450 A, ryhmäjohto 16 m MMJ 3x2,5S ja suojalaitteena C16 A johdonsuojakatkaisija. Ryhmäjohton impedanssin laskennassa voidaan käyttää pelkkää resistanssi arvoa, kun kyseessä alle 70 mm² poikkipinnan kaapeli. Ominaisresistanssi arvo kyseiselle kaapelille on 8,770 Ω/km (Härkönen ym. 2019, 91).

Ryhmäkeskuksen impedanssi:

$$I_k = \frac{c_{min} \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_{RK}} \rightarrow Z_{RK} = \frac{c_{min} \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 450 \text{ A}} = 0,48754 \Omega$$

Johtimista johtuva impedanssi + ryhmäkeskuksen impedanssi:

$$Z_{rj} + Z_{RK} = \frac{8,770 \Omega}{\text{km}} \cdot 0,016 \text{ km} + \frac{8,77 \Omega}{\text{km}} \cdot 0,016 \text{ km} + 0,48754 \Omega = 0,76818 \Omega$$

Oikosulkuvirta ryhmäjohton päässä:

$$I_k = \frac{c_{min} \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 0,76818 \Omega} = 285,6 \text{ A}$$

Taulukon 6 mukaan C 16 johdonsuojakatkaisijan minimi oikosulkuvirta on 160 A, eli esimerkin tulos 285,6 A riittää hyvin.

16.2 Vikasuojaus

Esimerkki 1: sähköliittymää edeltävän verkon impedanssi $0,030 \Omega$. Liittymän pienin 1-vaiheinen oikosulkuvirta on:

$$I_{ke} = \frac{c \cdot U_V}{Z_V} = \frac{0,95 \cdot 230 \text{ V}}{0,030 \Omega} = 7283,3 \text{ A}$$

Esimerkki 2: sähköliittymän pienin 1-vaiheinen oikosulkuvirta on 3750 A. Liittymää edeltävän verkon impedanssi

$$I_{ke} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_V} \rightarrow Z_V = \frac{c \cdot U_V}{I_{ke}} = \frac{0,95 \cdot 230 \text{ V}}{3750 \text{ A}} = 0,0583 \Omega$$

Esimerkki 3: Suurin sallittu pituus ohjauskaapelille, jotta suojalaite toimii riittävän nopeasti, kun tunnetaan edeltävän verkon impedanssi (edellisen esimerkin tulos). Kaapelointi MCMO 7x2,5/6 ja suojalaitteena toimii ryhmäkeskuksessa C-tyyppin 16 A:n johdonsuojakatkaisija. C16 johdonsuojakatkaisijan pienin vaadittu toimintavirta I_k on 160 A (Härkönen ym. 2019, 86) ja kaapelin ominaisimpedanssi $8,770 \Omega/\text{km}$ (Mts. 91) ja vaikka suojajohdin on myös kuparia, sen poikkipinta-ala on 6 mm^2 , joten suojajohtimen ominaisimpedanssi on $3,66 \Omega/\text{km}$ (Mts. 91). Yhtälön nimittäjässä oleva kerroin kaksi vain silloin kun vaihe- ja suojajohdin samaa materiaalia. Tulos pyöristetään aina alaspäin.

$$s = \frac{\frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k} - Z_V}{2 \cdot z} = \frac{\frac{c \cdot U_V}{I_k} - Z_V}{2 \cdot z} = \frac{\frac{0,95 \cdot 230 \text{ V}}{160 \text{ A}} - 0,0583 \Omega}{\frac{8,770 \Omega}{\text{km}} + 3,66 \Omega/\text{km}} = 0,1051 \text{ km} = 105 \text{ m}$$

Esimerkki 4: Ylikuormitussuojaus johdonsuojakatkaisijalla

MCMK 4x10+10 kaapeli asennettu suojaputkessa maahan (referenssi asennustapa D1), maan lämpöresistiivisyys 1,5 K m/W, maan lämpötila +30°C, kuormitus 22 kW

SFS 6000-5-52 taulukon B52.4 mukaan kaapelin kuormitettavuus asennustavalla D1 on 50 A, maan lämpötilasta johtuva korjauskerroin saman standardin taulukon B52.15 mukaan 0,89

$$I_z = 50 A \cdot 0,89 = 44,5 A$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$$

Johdonsuojakatkaisijalla käytetään suoraan kerrointa 1,45:

$$I_2 = 1,45 \cdot I_n \rightarrow I_n \leq 44,5 A$$

Ylikuormitussuojaksi voidaan valita enintään 40 A nimellisvirraltaan oleva johdonsuojakatkaisija.

Esimerkki 5: Ylikuormitussuojaus sulakkeella, käytetään edellisen esimerkin tapausta.

Taulukosta 8 saadaan ylempi toimintarajavirran kerroin 1,6 ($I_n \geq 16 A$) :

$$k \cdot I_n \leq 1,45 \cdot I_z \rightarrow I_n \leq \frac{1,45}{1,6} \cdot 44,5 A = 40,3 A$$

Ylikuormitussuojaksi voidaan valita enintään 40 A nimellisvirran gG-sulake, koska ollaan ihan rajoilla voisi olla järkevin käyttää 35 A gG-sulaketta, koska esimerkin kuormitus sen sallii.

16.3 Jännitteenalenema

Esimerkki opinnäytetyön taulukon 3 kaavojen käytöstä 3-vaiheisessa jännitteenalenemassa:

9,3 kW oikosulkumoottori on kytketty 400 V verkkoon, moottorin tehokerroin ($\cos \varphi$) 0,81. Moottoria syötetään 25 m pitkällä 3x6+6 MCMK kaapelilla, jonka vaihtovirtaresistanssi 3,69 Ω/km ja ominaisreaktanssi 0,0942 Ω/km . Lasketaan ensin moottorin ottama virta, jonka jälkeen voidaan laskea absoluuttinen ja suhteellinen jännitteenalenema.

Nimellisjännite (V)	400
Moottorin teho (kW)	9,3
Syöttökaapelin pituus (km)	0,025
syöttökaapelin ominaisresistanssi (Ω/km)	3,69
syöttökaapelin ominaisreaktanssi (Ω/km)	0,0942
jännitteen ja virran välinen vaihekulma $\cos \varphi$	0,81

$$\text{Virta } I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{9300 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,81} = 16,6 \text{ A}$$

Absoluuttinen 3-vaiheinen jännitteenalenema:

$$\Delta U = 16,6 \text{ A} \cdot 0,025 \text{ km} \cdot \sqrt{3} \cdot \left(3,69 \Omega \cdot 0,81 + 0,0942 \cdot \sqrt{1 - (0,81)^2} \right) \approx 2,2 \text{ V}$$

Suhteellinen jännitteenalenema:

$$\Delta_u = \frac{2,2 \text{ V}}{400 \text{ V}} \cdot 100 \% \approx 0,6 \%$$

16.4 Liittymän mitoitus

Liittymän mitoituksen esimerkkilaskun tapauksessa PEX eristeiset 185 mm² kaapelit tulisi olemaan 75 m pitkät, tarkistetaan näiden maksimipituus (3-v syöttöjännitteellä). Kaapelin datat prysmianin datalehdeltä (Ks. kuvio 9) AXMK-PLUS 4G185, verkkoyhtiön ilmoittama $I_{kmin} = 11,6 \text{ kA}$. Taulukon 18 mukaan 200 A gG-sulakkeiden pienin vaadittu laskennallinen oikosulkuvirta (5 s) on 1250 A (Ks. taulukko 18). Taulukossa 19 esitetty kaapeleiden likimääräisiä ominaisimpedansseja, joita voidaan käyttää yleisesti laskennassa, mikäli ei ole tiedossa käytettävää kaapelin valmistajaa, jonka kaapeleita aiotaan käyttää.

Lasketaan ensin edeltävän verkon impedanssi

$$Z_v = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_{kmin}} = \frac{0,95 \cdot 0,4 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 11,6 \text{ kA}} = 0,0189 \Omega$$

Kahden rinnankytketyn syöttökaapelin vaihe ja PEN resistanssit ja reaktanssit (Ks. kuvio 9)

$$R_{jl} = \frac{r_j \cdot s}{n} = \frac{\frac{0,2\Omega}{\text{km}} \cdot 0,075 \text{ km}}{2} = 0,0075 \Omega$$

$$R_{jPE} = \frac{1,2 \cdot r_{jPE} \cdot s}{2} = \frac{1,2 \cdot \frac{0,164\Omega}{\text{km}} \cdot 0,075 \text{ km}}{2} = 0,00738 \Omega$$

$$X_{jl} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot l_j \cdot s}{2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 0,26 \cdot 10^{-3} \text{ H} \cdot 0,075 \text{ km}}{2} = 0,003063 \Omega$$

$$X_{jPE} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot l_j \cdot s}{2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 0,26 \cdot 10^{-3} \text{ H} \cdot 0,075 \text{ km}}{2} = 0,003063 \Omega$$

verkon sisäinen impedanssi:

$$Z = Z_v + \sqrt{(R_{jl} + R_{jPE})^2 + (X_{jl} + X_{jPE})^2}$$

$$Z = 0,0189\Omega + \sqrt{((0,0075 \Omega + 0,00738 \Omega)^2 + (0,003063 \Omega + 0,003063 \Omega)^2)} = 0,034992 \Omega$$

Minimi oikosulkuvirta kaapelin loppupäässä:

$$I_{kmin} = \frac{c_{min} \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 0,034992 \Omega} = 6269,8 \text{ A}$$

Minimioikosulkuvirta kaapelin päässä on riittävä.

Tarkistetaan vielä maksimipituus, jolla suojaus toimii:

$$s = \frac{\frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k} - Z_V}{Z_L + Z_{PE}} = \frac{\frac{0,95 \cdot 0,4 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 1,25 \text{ kA}} - 0,0189 \Omega}{0,2 \Omega + (0,164 \cdot 1,2) \Omega} = 0,394 \text{ km}$$

TUOTTEEN NIMI			AXMK-PLUS 4G16 RM 1 kV	AXMK-PLUS 4G25 RM 1 kV	AXMK-PLUS 4G35 AN 1 kV	AXMK-PLUS 4G50 AN 1 kV	AXMK-PLUS 4G70 AN 1 kV	AXMK-PLUS 4G95 AN 1 kV	AXMK-PLUS 4G120 AN 1 kV	AXMK-PLUS 4G150 AN 1 kV	AXMK-PLUS 4G185 AN 1 kV	AXMK-PLUS 4G240 AN 1 kV	AXMK-PLUS 4G300 AN 1 kV
SÄHKÖISIÄ ARVOJA (2)													
Vaihe- ja PEN-johtimen maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20°C	Ω/km	1,91	1,20	0,868	0,641	0,443	0,320	0,253	0,206	0,164	0,125	0,100
Vaihe- ja PEN-johtimen vaihtovirtaresistanssi (1)	johdin 70°C	Ω/km	2,3	1,5	1,0	0,77	0,53	0,39	0,31	0,25	0,20	0,16	0,13
Induktanssi vaihetta kohti (1)		mH/km	0,29	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25
Käyttökapasitanssi (1)		μF/km	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26

Kuvio 9. Prysmian AXMK kaapelit (Prysmian AXMK-Plus, viitattu 30.7.2023, muokattu)

Taulukko 18. gG-sulakkeiden pienimmät oikosulkuvirrat (Härkönen ym. 2019, 86, muokattu)

Pienimmät toimintavirrat gG-sulakkeille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellis-virta	gG-sulake 0,4s	Vaadittu mitattu arvo	gG-sulake 5,0s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
2	16	20	9	11,3
4	32	40	18	22,5
6	46,5	58,2	28	35
10	82	102,5	46,5	58,2
16	110	137,5	65	81,3
20	145	181,3	85	106,3
25	180	225	110	137,5
32	270	337,5	150	187,5
35			165	206,3
40	315	393,8	190	237,5
50	470	587,5	250	312,5
63	550	687,5	320	400
80			425	531,3
100			580	725
125			715	893,8
160			950	1187,5
200			1250	1562,5
250			1650	2062,5
315			2200	2750
400			2840	3550
500			3800	4750
600			5100	6375

Taulukko 19. Kaapeleiden likimääräisiä ominaisimpedansseja (Ω/km) (D1-2022, 91, muokattu)

Johtimen poikkipinta A/mm ²	Kupari			Alumiini		
	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z
4 x 1,5	14,620	0,115	14,620			
4 x 2,5	8,770	0,110	8,770			
4 x 4	5,480	0,107	5,480			
4 x 6	3,660	0,100	3,660			
4 x 10	2,244	0,094	2,246			
4 x 16	1,415	0,090	1,418	2,324	0,090	2,326
4 x 25	0,898	0,086	0,902	1,488	0,086	1,492
4 x 35	0,652	0,083	0,657	1,086	0,083	1,089
4 x 50	0,482	0,082	0,489	0,796	0,083	0,800
4 x 70	0,336	0,082	0,346	0,551	0,082	0,577
4 x 95	0,244	0,082	0,257	0,398	0,082	0,406
4 x 120	0,195	0,080	0,211	0,316	0,080	0,326
4 x 150	0,155	0,080	0,174	0,258	0,080	0,270
4 x 185	0,125	0,080	0,148	0,207	0,080	0,222
4 x 240	0,095	0,079	0,124	0,162	0,079	0,180
4 x 300	0,078	0,079	0,111	0,133	0,079	0,155

Syöttökaapelin mitoitus

Esimerkkilaskelma tilanteelle, jossa kiinteistön tehontarpeeksi on saatu 234kVA. PEX eristeinen syöttökaapeli referenssiasennustavalla D2 asennettuna kuivaan soramaahan +15°C, kaapelit 0,35m etäisyydellä toisistaan. Valitaan pääsulakkeet Alvan taulukon mukaan ja varmistetaan laske-
malla kaapelin koko laskemalla (kaava 2).

$$I_b = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot 400V} = \frac{234 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 337,8 \text{ A (2)}$$

Taulukon 20 mukaan liittymä olisi 3x400A, pääsulakkeet ylikuormitussuojausehdon ($I_b \leq I_n$) mukaisesti 2x 3x200A ja syöttökaapeleiksi 2x AXMK185. Tarkistetaan vielä laskemalla kaapelityypin sopi-
vuus (kaava 3). Kertoimet maan lämpötilan mukaan taulukosta B.52.15 (SFS 6000-5-52:2022, 48) $k_1=1,05$ ja koska kaapeleita on kaksi samassa kaapeliojassa, tulee toinen kerroin $k_2=0,9$ taulukosta B.52.18 (SFS 6000-5-52:2022, 50).

$$I_{zpväh} = \frac{337,8 \text{ A}}{1,05 \cdot 0,9} = 357,5 \text{ A (3)}$$

SFS 6000-5-52:2022 taulukon B.52.5 PEX eristeisen 185 mm² alumiinikaapelin peruskuormitetta-
vuus on 250 A, eli 2x185 AXMK peruskuormitettavuus yhteensä 500 A

Taulukko 20. Alvan pienjänniteliittymien kaapelikoot (Alva, nd, muokattu)

Liittymäluokka	Ylikuormitussuoja, kuluttajan pääsulake	Liittymiskaapeli, asennustapa D2 maassa
3x25	3x25	AXMK25
3x35	3x35	
3x63	3x63	
3x100	3x100	AXMK95
3x125	3x125	
3x160	3x160	
3x200	3x200	AXMK185
3x250	3x250	
3x315	3x315	AXMK300
	2x(3x160)	2x AXMK185
3x400	2x(3x200)	2x AXMK185
3x600	3x(3x200)	3x AXMK185
3x800	4x(3x200)	4x AXMK185
3x1000	5x(3x200)	5x AXMK185
	4x(3x250)	4x AXMK300

16.5 Ylikuormitussuojaus

Esimerkki:

Lasketaan ylikuormitussuojauksena toimivan sulakkeen suurin nimellisvirta tilanteessa, jossa johdon kuormitettavuus I_z on 70 A kuormituskertoimilla tarkistettuna. Taulukon 9 mukaan k-arvo 1,6, joten suurin sallittu sulakkeen nimellisvirta I_n :

$$I_n < \left(\frac{1,45}{1,6} \right) \times 70 \text{ A} = 63,4 \text{ A}$$

Edellä lasketun perusteella ylikuormitussuojaus voidaan toteuttaa 63 A gG-sulakkeella (Erkkilä ym. 2019, 43).

16.6 Keskuksen mitoitus

Esimerkki: Lasketaan kuormituksia syöttävän keskuksen kokonaisvirta ja nimellisvirta, jonka mukaan valitaan keskuksen nimellisvirta standardiarvoista.

Mitoituksen lähtötiedot	
Verkon nimellisjännite U_n (V)	400
Kokonaispätöteho P_{tot} (kW)	550
Kokonaisloisteho Q_{tot} (kVAr)	130
Kuormituksista yhtä aikaa käytössä (%)	80
Kuormituksille varattu kasvu (%)	15

$$k_{tas} = \frac{80\%}{100\%} = 0,8. \quad k_r = 1 + \frac{15\%}{100\%} = 1,15$$

$$S_{TOT} = k_{tas} \cdot k_r \cdot \sqrt{P_{TOT}^2 + Q_{TOT}^2} = 0,80 \cdot 1,15 \cdot \sqrt{(550 \text{ kW})^2 + (130 \text{ kVAr})^2} = 519,940 \text{ kVA}$$

$$I_{TOT} = \frac{S_{TOT}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{519940 \text{ VA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} = 750,5 \text{ A}$$

Valitaan mitoituslaskujen perusteella keskuksen nimellisvirraksi seuraava suurempi standardiarvo
In 800 A

16.7 Mitoituksen kertoimet

Tehoa mitoittaessa otettava huomioon eri laiteryhmiä väliset - ja sisäiset samanaikaisuuskertoimet (Ks. taulukko 21 & 22). Mitoitettavan sähkötehon kertoimet:

- Laiteryhmän nimellistehon tasauseroin k_{11} ilmaisee, kuinka iso osuus laiteryhmän laitteista on käytössä samanaikaisesti.
- Laiteryhmien keskinäisen huipputehon tasauseroin k_{12} (mitoitushetkellä) ilmaisee laiteryhmiä väliset vuorovaikutussuhteet huipputehon mitoitushetkellä.

Taulukko 21. Suuntaa antavia tasauskertoimia teholaskelmiin (ST 13.31, 8, muokattu)

Laite/toiminto	Tasauserroin
Liukuporras	0,5
Hissi	0,3
Pumppaamot	0,5
Sprinkleri	0,1
Lämmitys	0,8
Ilmanvaihto	0,8
Jäähdytys	0,7

Taulukko 22. Tasauskertoimet teholaskelmiin erityyppisille rakennuksille (ST 13.31, 19, muokattu)

Rakennus	Teho (W/m ²)	Tasauserroin
Pankki	40-70	0,6
Kirjasto	20-40	0,6
Toimisto	30-50	0,6
Kauppakeskus	30-60	0,6
Hotelli	30-60	0,6
Tavaratalo	30-60	0,8
Pieni sairaala (40-100 potilaspaikkaa)	50-250	0,6
Sairaala (200-1000 potilaspaikkaa)	20-120	0,6
Varasto (ei kylmävarasto)	2-20	0,6
Kylmävarasto	500 - 1500	0,6
Asuinkerrostalo	10-30	0,6
Omakotitalo	10-30	0,4
Museo	60-80	0,6
Pysäköintitalo	3-10	0,6
Tuotantolaitos	30-80	0,6
Konesali (riippuvainen redundanttisuudesta, jäähdytysjärjestelmästä jne)	125 - 2500	0,4 - 0,9
Koulu	10-30	0,6
Kuntosali	15-30	0,6
Stadion	70-140**	0,6
Vanhainkoti	15-30	0,6
Kasvihuone (keinovalaistus)	250-500	0,6
Laboratorio / tutkimuslaitos	100-200	0,6
Konepajateollisuus	100-200	0,6
Kumiteollisuus	300-500	0,6
Kemianteollisuus (riippuvainen prosessista)		0,6
Elintarviketeollisuus	600-1000	0,8

16.8 Suojajohtimen mitoitus laskennallisesti

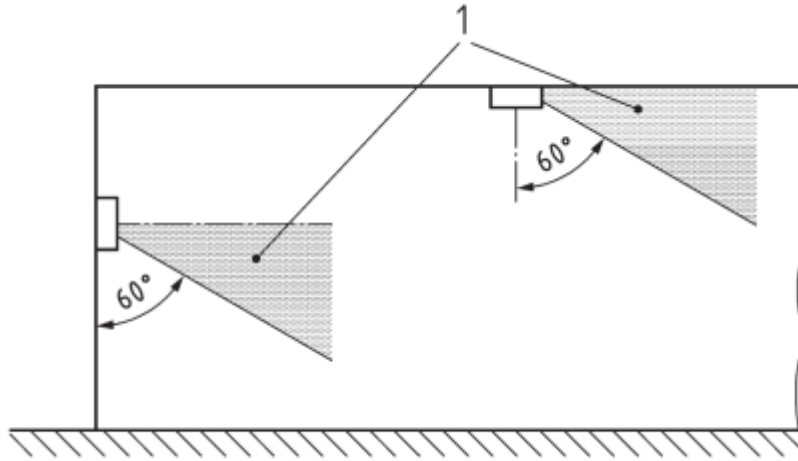
Suojajohdin voidaan mitoittaa myös laskemalla. Esimerkkinä suurin oikosulkuvirta 22kA, 0,5s poiskytkentäaika, PVC eristeinen johdin kerroin on 143 (Härkönen ym. 2019, 70).

$$A = \frac{\sqrt{(22000 \text{ A})^2 \cdot 0,5 \text{ s}}}{143} = 108,8 \text{ mm}^2$$

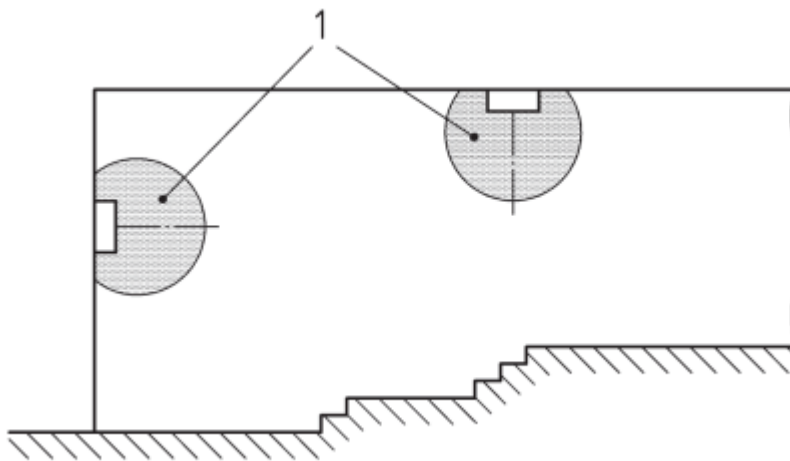
Suojajohtimeksi valitaan seuraava suurempi standardimitta eli esimerkki tapauksessa 120 mm² CU johdin. (Härkönen ym. 2019, 72).

Liite 2. Turvavalot

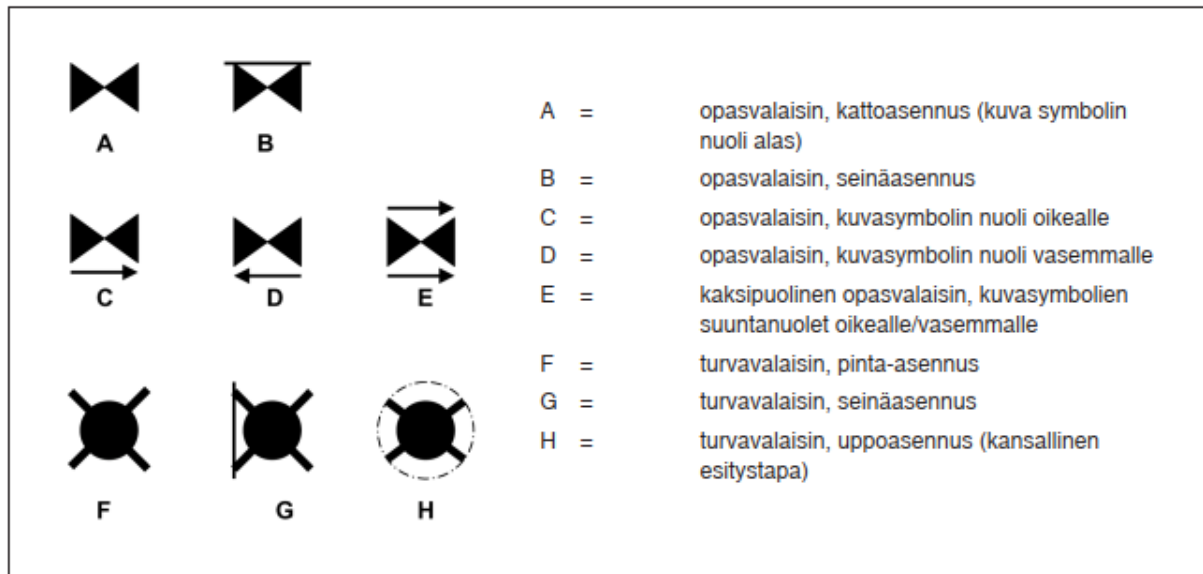
Seuraavassa turvavalaistuksen alue



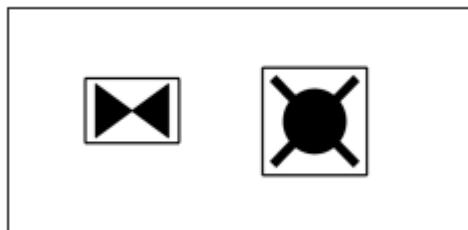
Kuvio 10. Vaakatason poistumisreitti alue 1 (Hainari, H. Hongisto, P. Jumppanen, J & Nissinen T. 2019, 34, muokattu)



Kuvio 11. Muut poistumisreitit alue 1 (Hainari ym. 2019, 34, muokattu)

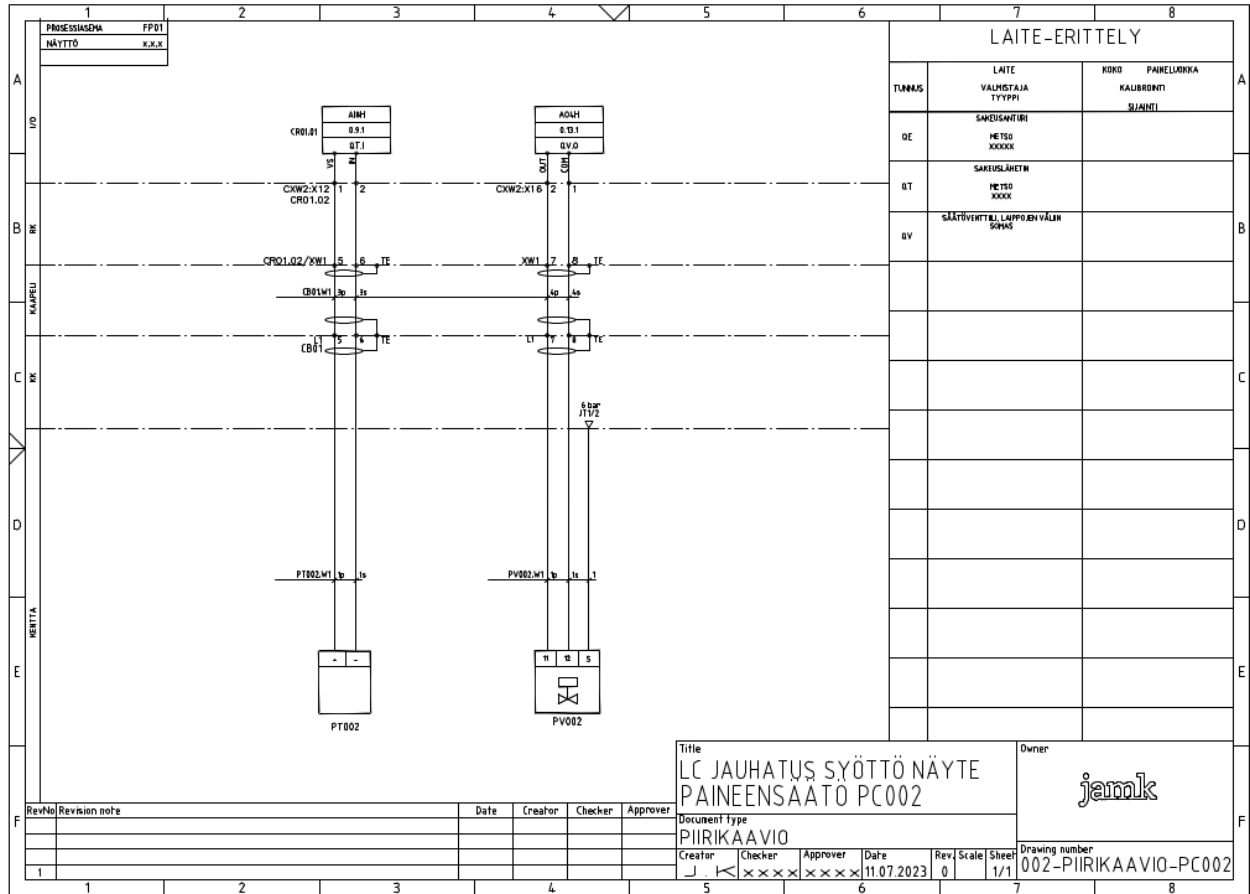


Kuvio 12. Poistumisvalaistuksen piirrosmerkkejä (Hainari ym. 2019, 55, muokattu)

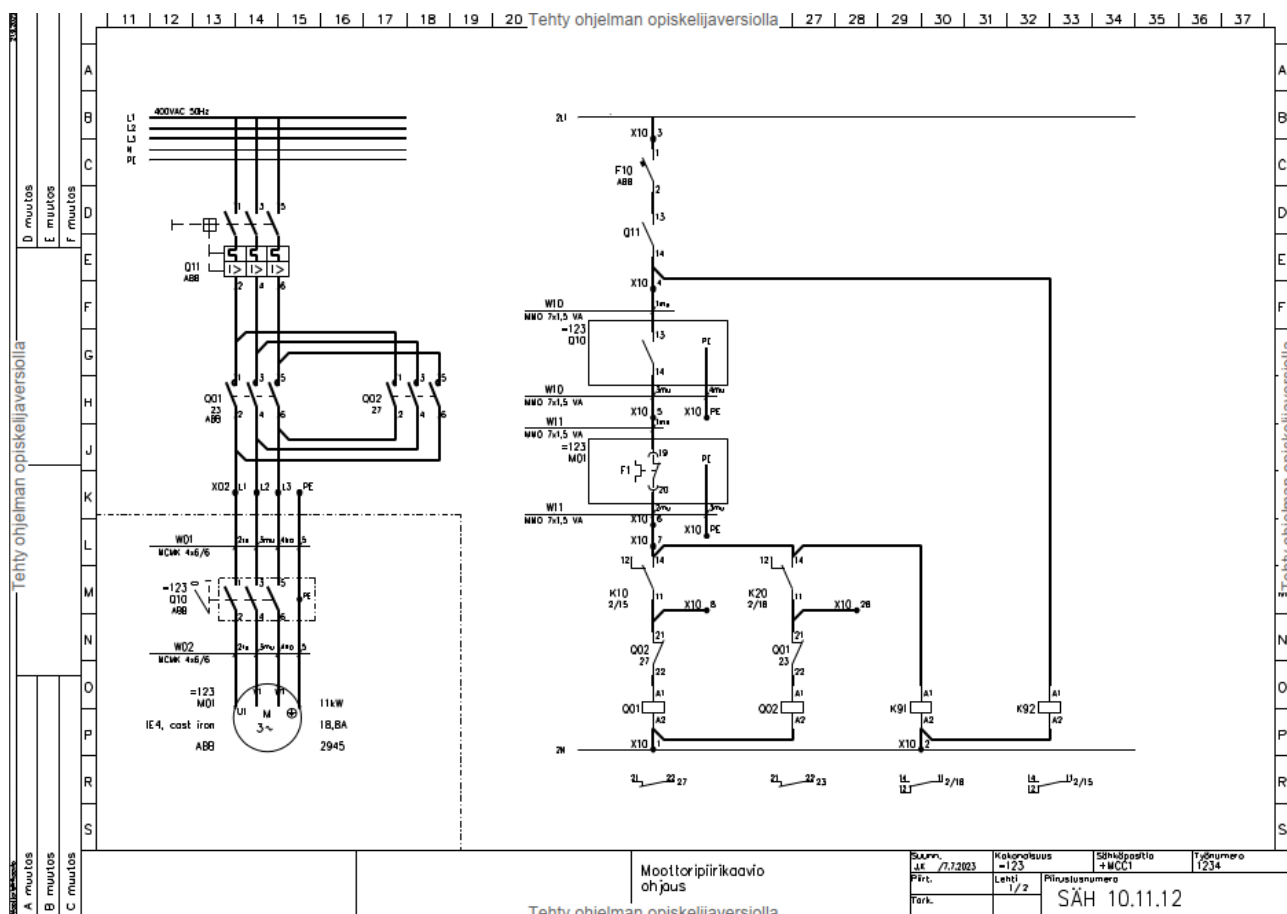


Kuvio 13. Omalla tehollähteellä varustettu kattoon asennettava ja pinnalle asennettava turvavalaisin (Hainari ym. 2019, 56, muokattu)

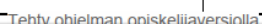
Liite 3. Esimerkkikaaviot



Kuvio 14. Paineensäätökaavio



Kuvio 15. Moottoripiirikaavio



Kuvio 16. Maadoituspiirikaavio