



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

SAKARI KUOSMANEN

# Sähköasennuksen mitoitus

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN  
KOULUTUSOHJELMA

2020

|  |                                     |                            |
|--|-------------------------------------|----------------------------|
| Tekijä<br>Kuosmanen, Sakari  | Julkaisun laji<br>Opinnäytetyö, AMK | Päivämäärä<br>Syyskuu 2020 |
|  | Sivumäärä<br>37 + 4                 | Julkaisun kieli<br>Suomi   |
| Julkaisun nimi<br><b>Sähköasennuksen mitoitus</b>  |                                     |                            |
| Tutkinto-ohjelma<br>Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma  |                                     |                            |
| <p>Tämän opinnäytetyön päätavoitteena oli luoda toimeksiantajan sähkötyöntekijöiden käyttöön laskentatyökalu sähköasennuksien johdon ja suojalaitteiden mitoitukseen. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös auttaa havainnollistamaan erilaisten asennusolosuhteiden vaikutusta mitoitukseen.</p> <p>Teoriaosuudessa perehdyttiin sähköasennuksien standardeihin, kaapeleiden erilaisiin asennustapoihin ja pohdittiin niiden vaikutusta mitoitukseen ja laskemiseen. Laskenta-kaavat perustuivat suurimmalta osin käytössä oleviin standardeihin ja niiden soveltamiseen.</p> <p>Laskentatyökalu toteutettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Työkalun toteutuksen pohjana oli käytetty sähköasennuksien mitoitukseen vaadittavia standardeja ja suosituksia.</p> <p>Lopputuloksena saatiin tehtyä valmis käytettävä ohjelmisto, johon voidaan tulevaisuudessa lisätä uusia toimintoja ja laskentakaavoja.</p> |                                     |                            |
| <u>Asiasanat</u><br>johdon mitoitus, suunnittelu, suojaus, sähkösuunnittelu, laskentaohjelma   |                                     |                            |

|   |  |                                     |
|---|--|-------------------------------------|
| Author<br>Kuosmanen, Sakari   | Type of Publication<br>Bachelor's thesis | Date<br>September 2020              |
|   | Number of pages<br>37 + 4                | Language of publication:<br>Finnish |
| Title of publication<br><b>Dimensioning of Electrical Installation</b>  |  |                                     |
| Degree program<br>Degree Program in Electrical and Automation Engineering   |  |                                     |
| <p>The main goal of this thesis was to create a calculation tool for measurement of wires and electronic protection tools and likewise for client's electricians. Also the goal was to demonstrate the impact of varying installation circumstances to the measurement.</p> <p>In the theoretical part of this thesis the standards of electrical installations, various of installation methods for cables and their impact for measurements and calculations was studied. Algebraic equations were mostly based for modern standards and the way to implement them in practice.</p> <p>Calculation tool was implemented with Excel spreadsheet. The basis for implementation of this tool was to use the standards for electrical installations and regulations.</p> <p>The end results, was a complete software for this task, which can be scaled up later by adding new functions and algebraic equations.</p> |  |                                     |
| <u>Key words</u><br>measurement of wires, electronic protection, calculation software   |  |                                     |

# SISÄLLYS

|  |    |
|--|----|
| 1 JOHDANTO .....   | 5  |
| 2 SÄHKÖASENNUKSIA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET .....                                | 6  |
| 2.1 Sähköasennusstandardit .....   | 6  |
| 2.2 Sähkötyöturvallisuus .....   | 7  |
| 3 SÄHKÖASENNUKSIEN MITOITUS JA SUOJAUS .....                               | 8  |
| 3.1 Suojajohtimen mitoitus ja valinta .....                                | 8  |
| 3.2 Johdon mitoitus, valinta ja suojaus .....                              | 9  |
| 3.2.1 Johdon kuormitettavuus .....   | 11 |
| 3.2.2 Ylikuormitussuojaus .....  | 13 |
| 3.2.3 Selektiivisyys .....   | 16 |
| 3.2.4 Oikosulkusuojaus .....   | 19 |
| 3.2.5 Jännitteenalenema .....  | 21 |
| 3.2.6 Syötön nopean poiskytkennän ehtojen toteutuminen .....               | 22 |
| 4 KAAPELIN ASENNUSTAVAT .....  | 25 |
| 4.1 Uppoasennus .....  | 25 |
| 4.2 Pinta-asennus .....  | 26 |
| 4.3 Maa-asennus .....  | 27 |
| 4.4 Ilma-asennus .....   | 28 |
| 5 ESIMERKKEJÄ MITOITUSLASKENNASTA .....                                    | 30 |
| 5.1 Esimerkkilasku johdon mitoituksesta hyödyntäen korjauskertoimia .....  | 30 |
| 5.2 Esimerkkilasku syötön automaattisen poiskytkennän toteutumisesta ..... | 31 |
| 6 SÄHKÖASENNUKSIEN MITOITUS OHJELMAN LUOMINEN EXCELISSÄ .....              | 34 |
| 6.1 Tavoite .....  | 34 |
| 6.2 Suunnittelu ja ohjelmointi .....                                       | 34 |
| 6.3 Valmis ohjelma .....   | 35 |
| 7 YHTEENVETO .....   | 36 |
| LÄHTEET  |    |
| LIITTEET   |    |

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda Porin kaupungin sähkötyöntekijöiden käyttöön työtä helpottava laskentaohjelma Excelillä, joka automaattisesti laskisi tarvittavat tiedot sähköasennuksen suorittamiseen. Ohjelman tavoitteena on auttaa sähkötyöntekijöitä hahmottamaan vaadittavat asiat asennuksen suorittamiseen, kaapeleiden ja suojalaitteiden valintaan. Tarkoituksena oli tehdä mahdollisimman helppokäyttöinen ja yksinkertainen ohjelma, joka luo käyttömukavuutta ja on mahdollisuutta saada joka-päiväiseen käyttöön sähköasennuksilla. Ohjelman käyttäminen luo varmistuksen tuleville sähköasennuksille. Ohjelmalla yritetään minimoida virheiden ja väärin hankintojen tekemistä.

Teoriaosuudessa käydään läpi sähköasennuksia koskevia määräyksiä, kaapeleiden eri asennustapojen vaikututusta mitoitukseen ja niiden laskentaa, sekä itse laskentaohjelman tekemistä Excelillä.

Toimeksiantaja työlle on Porin kaupungin tekninen toimiala. ”Tekninen toimiala vastaa kiinteistöjen, vesi-, liikenne- ja viheralueiden hallinnasta, suunnittelusta, rakentamisesta ja kunnossapidosta. Lisäksi toimialan vastuulle kuuluvat maanmittausalaan liittyvät maastomittaukset sekä maaperätutkimukset, kaupungin kiviainestuotanto, ajoneuvot, kuljetukset ja työkonekalusta sekä pysäköinninvalvonta, yleisöpalvelut ja jätehuolto. ”Toimiala jakautuu infra- ja tilayksikköön sekä yhteiset palvelut-yksikköön.” (Pori www-sivut 2020.)

## 2 SÄHKÖASENNUKSIA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET

### 2.1 Sähköasennusstandardit

Sähköasennuksia säätelevät useat eri ohjeet ja määräykset. SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset, SFS 6001 Suurjänniteasennukset ja SFS 6002 Sähkötyöturvallisuusstandardit antavat perusmääräykset. Näiden ohjeiden noudattaminen varmistaa, että sähköasennuksien tekeminen olisi turvallista asentaa sekä myös käyttää. Sähkölaitteita, turvallisuutta ja teknisen alan säännöksiä ei anneta viranomaismääräyksissä vaan direktiivit täyttyvät, kun noudatetaan hyväksyttyä standardia. (Tiainen, 2014, 9.)

Sähköasennuksista ei siis ole yhteistä Euroopan direktiiviä, vaan turvallisuusvaatimukset on annettu Valtioneuvoston asetuksessa sähkölaitteistoista (1434/2016), asetus sähkötyöstä ja käyttötyöstä (1435/2016) ja Valtioneuvoston asetus sähkötyöturvallisuudesta (1135/2016). Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) julkaisee listan standardeista kerran vuodessa, joita noudattamalla katsotaan lain vaatimusten täyttyvän sähkötyöturvallisuudelle ja sähkölaitteiston rakenteelle. (Sähköinfo [www-sivut](http://www.sahkoinfo.fi) 2020.) Liitteessä 1 on nykyiset voimassa olevat Tukesin julkaisemat standardit.

Sähköala muuttuu tekniikan kehittyessä ja standardeja pitää päivitellä sen mukana. Sesko ry on puolueeton ja taloudellista voittoa tavoittelematon yhdistys, joka valmista ja huolehtii SFS-standardit Suomessa ja pyrkii pitämään ne ajan tasalla. Sähköalan SFS standardit perustuvat pääasiassa kansainvälisten IEC-standardien ja eurooppalaisten CENELEC-standardeihin. (Sesko ry [www-sivut](http://www.sesko.fi) 2020.)

Sähköasennusstandardien lukeminen ja opetteleminen voivat olla ja tuntua ylivoimaiselta. Sesko ry on luonut materiaalin nimeltä Opastusta sähköalan standardien hallintaan. Käytännön esimerkkejä löytyy paljon alan kirjallisuudesta, esimerkiksi kirjasta nimeltä SFS 6002 käytännössä, sekä 280 Kysymystä ja vastausta sähköasennusstandardin soveltamisesta.

## 2.2 Sähkötyöturvallisuus

Säköturvallisuuslainsäädännön perusvaatimukset on annettu Valtioneuvoston asetuksessa (1135/2016). Lain tarkoituksena on suojata omaisuutta ja ihmistä sähkölaitteistojen mahdolliselta vaaralta. Suomessa sähkötyöturvallisuusvaatimuksia hallinnoi entinen kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM) ja heidän alaisuudessaan Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Tukesille turvallisuusvalvontaan kuuluvat hissit, sähkölaitteet ja tarvikkeet. Sähkölaitteistojen turvallisuusvaatimuksissa (1193/1999) on esitetty noudatettavan sähkötyöturvallisuusstandardia SFS 6002. Standardin noudattaminen täyttää helposti lain asettamat turvallisuusvaatimukset sähköasennuksissa. (Tukes www-sivut 2020.)

Säköturvallisuussäädökset antavat selkeät ohjeet ja tavoitteet suorittaa sähköitä oikeilla menettelytavoilla. Jokaiselle sähköasentajalle tulee käytännön tehtävissä vastuu varmistua oman sekä muiden sähkötyöturvallisuudesta. Aina ennen sähköitöiden aloittamista tai sähkölaitteiden läheisyydessä työn tekoa sähkötyöturvallisuusvaatimukset käskevät selvittämään sähkölaitteiston rakenteen, sekä arvioida työhön liittyvät vaaratelijät ja ryhtyä sähkötyöturvallisuuden kannalta tarvittaviin toimenpiteisiin. Suojausvaatimusten toteutuminen pitää sähköturvallisuuslain 6§ mukaan suunnitella siten, että se ei aiheuta hengenvaaraa eikä palovaaraa. (Sähköala www-sivut 2020.)

SFS 6002 säännösten mukaan sähköalan töitä saa tehdä vain silloin, jos työtä nimetään johtamaan luonnollinen henkilö, kenellä on riittävä pätevyys siihen. Tämän henkilön nimikkeenä on silloin sähköitöiden johtaja tai käytönjohtaja. Lisäksi sähköalan töissä edellytetään nimettäväksi jokaiseen työkohteeseen työnaikainen sähköturvallisuuden valvoja, joka on itsenäiseen sähköalan työhön kykeneväinen ja riittävän ammattitaitoinen. Maallikkoa tai opastettua henkilöä ei voida nimetä kyseiseen valvojan virkaan. (KTM 516/1996.)

### 3 SÄHKÖASENNUKSIEN MITOITUS JA SUOJAUS

#### 3.1 Suojajohtimen mitoitus ja valinta

Suojajohtimen valinta määräytyy saman kaapelin vaihejohtimien poikkipinta-alan mukaan. Poikkipinnan voi laskea kaavalla 1 tai valitsemalla äärijohtimen mukaan taulukosta 1.

Suojajohtimen poikkipinnan pitää olla laskettaessa vähintään niin suuri kuin mitä saadaan kaavasta 1 jos poiskytkentäaika on enintään 5 s. (Tiainen 2014, 55.)

$$A = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}$$

KAAVA 1

jossa

$A$  = suojajohtimen poikkipinta ( $\text{mm}^2$ )

$I$  = suojalaitteen kautta kulkeva vikavirran tehollisarvo (A)

$k$  = kerroin, jonka arvo riippuu suojajohtimen raaka-aineesta, eristyksestä ja muusta rakenteesta, sekä johtimelle sallituista alku- ja loppulämpötiloista (Taulukko 2).

Taulukossa 1 annettuja arvoja voidaan käyttää vain suojajohtimissa, jotka ovat tehty samasta materiaalista kuin vaihejohtimet. Jos suojajohtimena käytetään vaihejohtimista poikkeavaa materiaalia, pitää poikkipinnan olla johtavuudeltaan sama mikä vastaa taulukkoa 1 soveltamalla saatua arvoa.

Taulukko 1. Suojajohtimen ja vaihejohtimen poikkipinta-alan suhteet. (Tiainen 2014, 55.)

| Vaihejohtimen poikkipinta $A \text{ mm}^2$ | Vastaavan suojajohtimen poikkipinta $\text{mm}^2$ |
|--|---|
|  | Suojajohdin samaa materiaalia kuin vaihejohdin    |
| $A \leq 16$                                | $A$   |
| $16 < A \leq 35$                           | 16  |
| $A > 35$                                   | $A/2$   |



Kun suojajohdin ei ole kaapelivaipan sisällä tai äärijohtimien kanssa samassa asennusputkessa, sen poikkipinta-ala pitää olla vähintään 2,5 mm<sup>2</sup>, jos suojajohdin on mekaanisesti suojattu. Kun mekaanista suojausta ei ole mahdollista toteuttaa, poikkipinta-ala pitää olla 4 mm<sup>2</sup>.

Maadoitusjohdin voidaan mitoittaa samalla tavalla kuin suojajohdin, mutta minimi poikkipinnan täytyy olla kuitenkin 6 mm<sup>2</sup> kuparilla tai 50 mm<sup>2</sup> alumiinilla. Kun maadoitusjohdin upotetaan maahan, poikkipinnan täytyy olla vähintään 16 mm<sup>2</sup> ja materiaalina kupari. (Tiainen 2014, 55, 56.)

Taulukko 2. *k*-arvojen kertoimet vaihejohtimelle. (Tiainen 2014, 49.)

|   | Johtimen eristys             |                              |         |               |                      |        |
|---|------------------------------|------------------------------|---------|---------------|----------------------|--------|
|   | PVC ≤<br>300 mm <sup>2</sup> | PVC ><br>300 mm <sup>2</sup> | EPR/PEX | Kumi 60<br>°C | Mineraali            |        |
|   |                              |                              |         |               | PVC:llä päällystetty | Paljas |
| Alkulämpötila °C  | 70                           | 70                           | 90      | 60            | 70                   | 105    |
| Loppulämpötila °C   | 160                          | 140                          | 250     | 200           |                      | 250    |
| Johtimen materiaali                                       |                              |                              |         |               |                      |        |
| Kupari  | 115                          | 103                          | 143     | 141           |                      |        |
| Alumiini  | 76                           | 68                           | 94      | 93            | 115 *                | 135    |
| Tinalla juotetut kuparijohtimien liitokset                | 115                          | -                            | -       | -             |                      |        |
| * Arvoa käytetään kaapeleille, jotka ovat kosketeltavissa |                              |                              |         |               |                      |        |

### 3.2 Johdon mitoitus, valinta ja suojaus

Johdon valinta ja suojauksen toimivuuden toteutuminen ovat sähkösuunnitteluvaiheessa turvallisen lopputuloksen saamiseksi yksi tärkeimmistä vaiheista. SFS 6000 standardi kertoo, että johdon valinnassa täytyy varmistaa sähköasennuksien suojausta koskevien perusvaatimuksien täyttymisestä. Mitoitukset pitää toteuttaa siten, että seuraavat asiat ovat standardin mukaiset:

1. Mitoitusarvot
2. Johdon poikkipinta-ala
3. Ylikuormitussuojien valinta

4. Suojalaitteiden selektiivisyys
5. Oikosulkusuojauksen toiminta
6. Jännitteenalenema
7. Syötön automaattinen poiskytkentä

(Tiainen 2013, 143.)

Johtimien poikkipintaa määritettäessä on otetta myös huomioon vähimmäispoikkipintaan liittyvät vaatimukset taulukon 3 mukaisesti. (Tiainen 2013, 177.)

Taulukko 3. Johtimien pienimmät sallitut poikkipinnat. (Tiainen 2013, 178.)

| Johtojärjestelmä   |                                | Käyttötarkoitus                     | Johdin             |   |
|--|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------|---|
|  |                                |                                     | Materiaali         | Poikkipinta mm <sup>2</sup>             |
| Kiinteät asennukset  | Kaapelit ja eristetyt johtimet | Tehonsyöttö- ja valaistuspiiri      | Kupari<br>Alumiini | 1,5<br>10 (huom1)                       |
|  |                                | Merkinanto- ja ohjauspiirit         | Kupari             | 0,5 (huom2)                             |
|  | Eristämättömät johtimet        | Tehonsyöttöpiirit                   | Kupari<br>Alumiini | 10<br>16                                |
|  |                                | Merkinanto- ja ohjauspiirit         | Kupari             | 4                                       |
| Eristetyillä johtimilla ja kaapeleilla tehdyt taipuisat liittännät   |                                | Tiettyä kojetta varten              | Kupari             | Asianomaisen laitestandardin mukaisesti |
|  |                                | Muuhun käyttöön                     |                    | 0,75 a                                  |
|  |                                | Pienoisjännitteillä erikoiskäytössä |                    | 0,75                                    |
| Huomautus 1: Alumiinijohtimissa käytettävien liittimien on oltava rakennettuja ja testattuja erityisesti tähän käyttöön.   |                                |                                     |                    |   |
| Huomautus 2: Elektroniikkalaitteiden merkinanto- ja ohjauspiireissä hyväksytään 0,1 mm <sup>2</sup> poikkipinta. Monijohdinkaapeleissa, joissa on vähintään 7 johdinta, on huomautus 2 voimassa. |                                |                                     |                    |   |

### 3.2.1 Johdon kuormitettavuus

Standardissa SFS 6000, luvussa 523 kerrotaan johdon kuormitukseen liittyvät vaatimukset. Johtimen poikkipinnan koko valitaan ensisijaisesti kuormitusvirran ja virran aiheuttaman lämpötilan mukaan, kuten taulukossa 4 on esitetty. Johtimelle määritetään suurin virta, millä johdinta voidaan kuormittaa jatkuvasti ilman raja-arvojen ylitystä. Tähän vaikuttavat eristemateriaali, johdinmateriaali, ympäristön lämpötila, asennustapa, sekä muiden kaapeleiden läheisyys. (Tiainen 2013, 155.) Edellä mainitut asiat määrittelevät mahdolliset korjauskertoimet kuormittavuuden laskemiselle kaavalla 2. (D1 2017, Liite 52Y)

$$I_z = I_t * C_1 * C_2 * \dots * C_x \quad \text{KAAVA 2}$$

jossa

$I_z$  = johtimen jatkuva kuormitettavuus (A)

$I_t$  = kuormitettavuus yhdelle virtapiirille (A)

$C_{1...x}$  = asennusolosuhteista riippuvat korjauskertoimet

Taulukko 4. Eristeaineiden suurimmat sallitut käyttölämpötilat (SFS 6000, taulukko 52.1.)

| Eristeen laji   | Suurin sallittu lämpötila °C |
|---|------------------------------|
| Polyvinyylidikloridi (PVC)  | 70 johtimessa                |
| Silloitettu polyeteeni (PEX) ja eteenipropreenikumi (EPR)                         | 90 johtimessa                |
| Mineraali (PVC:llä päällystetty tai paljas ja kosketeltavissa)                    | 70 vaipassa                  |
| Mineraali (paljas, ei kosketeltavissa eikä kosketuksissa palaviin materiaaleihin) | 105 vaipassa                 |

Käytännössä taulukossa 4 esitetyillä lämpötila-arvoilla ei saada suoraan johtimen kuormitettavuutta selville, vaan tarvitaan myös tietoa sallituista kuormitusvirroista. Aina jokaisessa tapauksessa tarkka mitoitus ei ole tarpeellista, vaan johtimen kuormitettavuusarvoja voidaan tarkastella taulukon 5 mukaan, mikäli nimellisvirta on tiedossa. (Tiainen 2010, 44.) Taulukosta löytyy PVC-eristeiset kupari- tai alumiinijohtojen kuormitettavuudet erilaisille asennustavoille, kuten uppoasennuksille (asennustapa A), pinta-asennuksille (asennustapa C), maa-asennuksille (asennustapa D) ja ilma-

asennuksille (asennustapa E), joka pitää sisällään myös kaapeli- ja tikashyllyt. Standardien mukaan johtimien lämpötila on 90°C sekä ympäristön lämpötila 30°C ja 20°C maa-asennustavalla. PEX-eristeisillä kaapeleilla pystytään hyödyntämään suurempia lämpötiloja, vaikka valmistaja eivät sitä suosittele. (SFS 6000, taulukko B.52.2-52.10.)

Taulukko 5. Johtojen kuormitettavuudet (A) asennustavoilla A, C, D ja E. (SFS 6000, taulukko B.52.2-52.10.)

| Johtimen nimellinen poikkipinta mm <sup>2</sup> | Taulukon 4 mukainen referenssiasiennustapa PVC-eristeisille johtimille |                             |                                     |                             |                                  |                             |                             |
|---|--|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|   | A – uppoasennus (putkessa)   |                             | C – pinta-asennus (seinän pinnalla) |                             | D – maa-asennus (suoraan maassa) |                             | E – ilma-asennus            |
|   | Kolme kuormitettua johdinta  | Kaksi kuormitettua johdinta | Kolme kuormitettua johdinta         | Kaksi kuormitettua johdinta | Kolme kuormitettua johdinta      | Kaksi kuormitettua johdinta | Kolme kuormitettua johdinta |
| 1   | 2  | 3                           | 4                                   | 5                           | 6                                | 7                           | 8                           |
| Kupari  |  |                             |                                     |                             |                                  |                             |                             |
| 1,5   | 13   | 14                          | 17,5                                | 19,5                        | 19                               | 22                          | 18,5                        |
| 2,5   | 17,5   | 18,5                        | 24                                  | 27                          | 24                               | 28                          | 25                          |
| 4   | 23   | 25                          | 32                                  | 36                          | 33                               | 38                          | 34                          |
| 6   | 29   | 32                          | 41                                  | 46                          | 41                               | 48                          | 43                          |
| 10  | 39   | 43                          | 57                                  | 63                          | 54                               | 64                          | 60                          |
| 16  | 52   | 57                          | 76                                  | 85                          | 70                               | 83                          | 80                          |
| 25  | 68   | 75                          | 96                                  | 112                         | 92                               | 110                         | 101                         |
| 35  | 83   | 92                          | 119                                 | 138                         | 110                              | 132                         | 126                         |
| 50  | 110  |                             | 168                                 |                             | 156                              |                             | 153                         |
| 70  | 139  |                             | 213                                 |                             | 192                              |                             | 196                         |
| 95  | 167  |                             | 258                                 |                             | 230                              |                             | 238                         |
| 120   | 192  |                             | 299                                 |                             | 261                              |                             | 276                         |
| 150   | 219  |                             | 344                                 |                             | 293                              |                             | 319                         |
| 185   | 248  |                             | 392                                 |                             | 331                              |                             | 364                         |
| 240   | 291  |                             | 461                                 |                             | 382                              |                             | 430                         |
| 300   | 334  |                             | 530                                 |                             | 427                              |                             | 497                         |

|          |     |     |     |     |
|----------|-----|-----|-----|-----|
| Alumiini |     |     |     |     |
| 16       | 44  | 66  | 82  | 61  |
| 25       | 58  | 83  | 98  | 78  |
| 35       | 71  | 103 | -   | 96  |
| 50       | 86  | 125 | 117 | 117 |
| 70       | 108 | 160 | 145 | 150 |
| 95       | 130 | 195 | 173 | 183 |
| 120      | 150 | 226 | 200 | 212 |
| 150      | 172 | 261 | 224 | 245 |
| 185      | 195 | 298 | 255 | 280 |
| 240      | 229 | 352 | 298 | 330 |
| 300      | 263 | 406 | 336 | 381 |

Tarkemmassa johdon poikkipinnan valinnassa otetaan huomioon kaikki mahdolliset korjauskertoimet, ympäristön lämpötila, asennustapa, lähellä olevien kaapeleiden lukumäärä sekä mahdolliset eristeiden läpiviennit asennusreitillä.

### 3.2.2 Ylikuormitussuojaus

Ylivirralla tarkoitetaan kaikkia mitoitusvirtaa suurempaa virtaa. Kun virtapiirissä esiintyy muulloin kuin vikatilanteessa ylivirtaa, kyse on ylikuormitusvirrasta. Kuormitettavuus tarkoittaa johtimien suurinta mitoitusvirtaa ilman, että johtimessa oleva lämpötila ylittää sallitun arvon jatkuvassa käytössä. Ylikuormitussuojana käytetään johdonsuojakatkaisijoita tai sulakkeita, jotka katkaisee virtapiiristä ylikuormitusvirran. Ylikuormitussuojaus pitää toimia ennen kuin lämpötila nousee niin paljon, että se vahingoittaa eristyksiä, jatkoksia, liitoksia tai johtimen ympäristöä. Suojalaite, joka suojaaa johdinta ylikuormitukselta on täytettävä SFS 6000 standardin mukaan kaavojen 3, 4 ja 5 mukaiset ehdot. (Tiainen 2010, 27.)

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad \text{KAAVA 3}$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_z \quad \text{KAAVA 4}$$

$$k * I_N \leq 1,45 * I_z \quad \text{KAAVA 5}$$

jossa

$I_B$  = virtapiirin mitoitusvirta (A)

$I_z$  = johtimen jatkuva kuormitettavuus (A)

$I_N$  = suojalaitteen mitoitusvirta (A)

$I_2$  = virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen laitteelle tavanomaisessa ajassa (A)

$k$  = sulakkeen ylempään sulamisrajavirran ja nimellisvirran suhde

Mitoitusvirta ( $I_B$ ) voidaan myös asettaa tunnetun, arvioidun tai lasketun kuormituksen perusteella kaavalla 6. Suojalaitteiden laitestandardeissa on määritetty virran  $I_2$  arvo, joka on käytännössä suojaamiseen tarkoitettun sulakkeen sulamisrajavirta. Sulakkeilla on 1,45-kertainen sulamisrajavirta verrattuna nimellisvirtaan, joten ylikuormitussuojaa ei voida suoraan valita kuormitettavuuden perusteella, vaan käytetään kaavaa 5. (ST 53.14.) Toimintarajavirtojen arvot ja ajat gG-tyypin sulakkeille saadaan taulukosta 6 (SFS-EN 269-2-1.) ja pienimmät sallitut johtojen kuormitettavuudet ylikuormitussuojana toimivalle gG-sulakkeelle taulukosta 7. Taulukon suluissa esitetyt arvot koskevat harvinaisia D- ja gL-tyypin sulakkeita. (ST 53.14.)

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U_p * \cos\varphi}$$

KAAVA 6

jossa

$P$  = Laitteen teho (W)

$U_p$  = Pääjännite (V)

$I_B$  = Virtapiirin mitoitusvirta (A)

$\cos\varphi$  = Jännitteen ja virran välinen vaihekulma

Taulukko 6. gG-tyypin sulakkeiden toimintaominaisuudet. (SFS-EN 269-2-1.)

| Nimellisvirta                               | Ylempi toimintarajavirta | Aika |
|---|--------------------------|------|
| $I_N \leq 4 \text{ A}$                      | $2,1 * I_N$              | 1 h  |
| $4 \text{ A} \leq I_N \leq 16 \text{ A}$    | $1,9 * I_N$              | 1 h  |
| $16 \text{ A} \leq I_N \leq 63 \text{ A}$   | $1,6 * I_N$              | 1 h  |
| $63 \text{ A} \leq I_N \leq 160 \text{ A}$  | $1,6 * I_N$              | 2 h  |
| $160 \text{ A} \leq I_N \leq 400 \text{ A}$ | $1,6 * I_N$              | 3 h  |

Taulukko 7. Johtojen pienimmät kuormitettavuudet käyttäessä gG-tyyppin sulaketta yli-kuormitussuojana. (ST 53.14.)

| gG-tyyppisen sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A | Johdon sallittu kuormitus vähintään A |
|--|---------------------------------------|
| 6  | 8                                     |
| 10   | 13,5                                  |
| 16   | 18 (19,4)                             |
| 20   | 22 (24,2)                             |
| 25   | 28 (30,2)                             |
| 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                                   |

Johdonsuojakatkaisijoilla on kolme erilaista suojalaitetyyppiä, mitkä on määritelty SFS-EN 60898 standardissa. Suojalaitetyypit on nimetty B-, C- ja D-tyypiksi, joiden ominaisuudet eroavat toisistaan. Standardin johdonsuojakatkaisijoilla on terminen toimintarajavirta, joka on 1.45 kertainen suojalaitteen nimellisvirtaan nähden, joten yli-kuormitussuoja voidaan suoraan valita johdon kuormitettavuuden perusteella. Johdonsuojakatkaisijat valitaan niiden katkaisukyvyyn, nimellisvirran ja -jännitteen sekä laukaisukäyrän taulukon 8 mukaan. (Tiainen 2010, 32, 33.) On kuitenkin otettava huomioon, että oikosulkusuojausominaisuuksiltaan laitteet poikkeavat toisistaan.

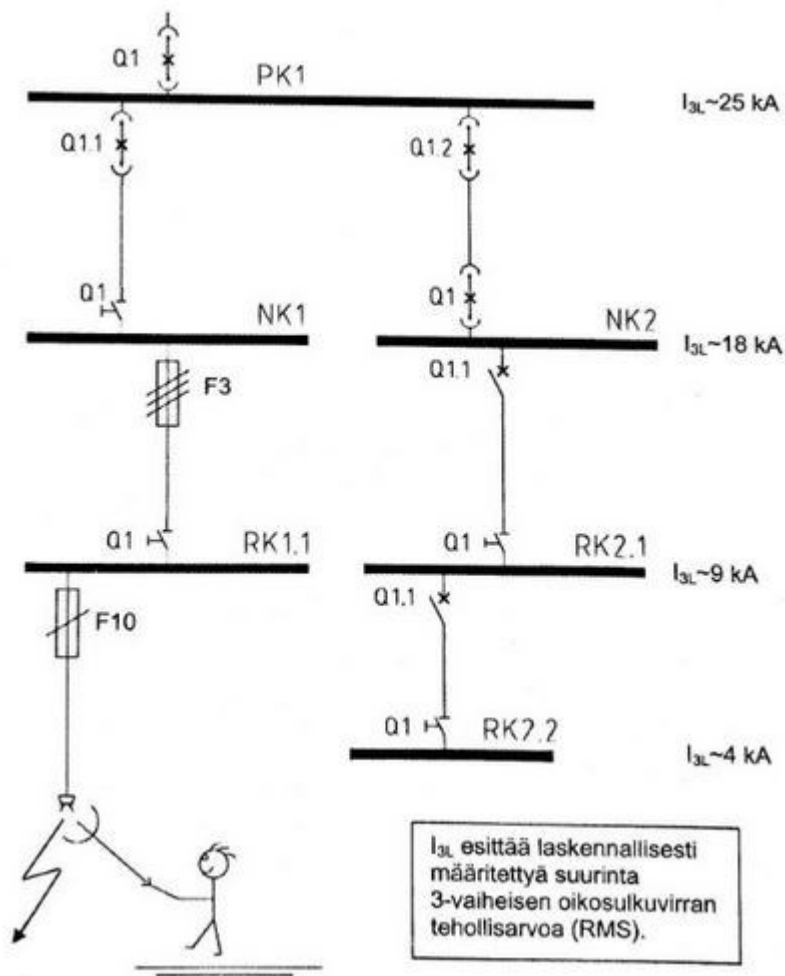
Taulukko 8. Johdonsuojakatkaisijan toimintaominaisuudet. (Tiainen 2010, 32, 33.)

| Toimintakäyrä ja nimellisvirrat |                     | Terminen laukaisu            | Laukaisu-aika                      | Magneetti laukaisu       | Laukaisu-aika                             | Käyttökohde  |
|---------------------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------|---|--|
| B (nopea)                       | $\leq 63 \text{ A}$ | $1,13 * I_N$<br>$1,45 * I_N$ | $> 1 \text{ h}$<br>$< 1 \text{ h}$ | $3 * I_N$<br>$5 * I_N$   | $\geq 0,1 \text{ s}$<br>$< 0,1 \text{ s}$ | Resistiiviset kuormat, johdonsuojaus, lämmitys, valaistus, liesi, lämminvesivaraaja.   |
| C (hidas)                       | $\leq 63 \text{ A}$ | $1,13 * I_N$<br>$1,45 * I_N$ | $> 1 \text{ h}$<br>$< 1 \text{ h}$ | $5 * I_N$<br>$10 * I_N$  | $\geq 0,1 \text{ s}$<br>$< 0,1 \text{ s}$ | Resistiiville, sekä lievästi induktiivisille ja kapasitiivisille kuormille kuten pistorasiat ja pienet moottorit.                      |
| D (erittäin hidas)              | $\leq 63 \text{ A}$ | $1,13 * I_N$<br>$1,45 * I_N$ | $> 1 \text{ h}$<br>$< 1 \text{ h}$ | $10 * I_N$<br>$20 * I_N$ | $\geq 0,1 \text{ s}$<br>$< 0,1 \text{ s}$ | Voimakkaasti induktiiviset ja kapasitiiviset kuormat kuten muuntajat, moottorit, hitsauskoneet, joilla on suuri käynnistysvirtapiikki. |

### 3.2.3 Selektiivisyys

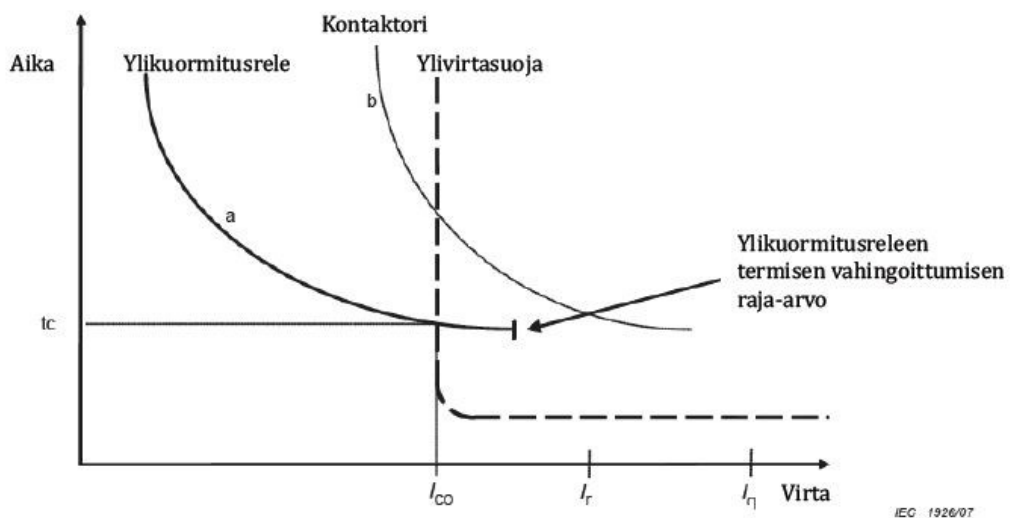
Suojalaitteiden selektiivisyydellä tarkoitetaan sitä, että vain lähinnä vikapaikkaa oleva suojalaite toimii ylikuormitus tai oikosulkuilanteissa. SFS 6000 standardi ei vaadi suojausten toimivan selektiivisesti vain lääkintätiloissa, mutta oikea selektiivisyyden toiminta mahdollistaa sen, että vain vikapaikan lähimmäinen osa verkosta tulee jännitteettömäksi kuten kuvassa 1 on esitetty.





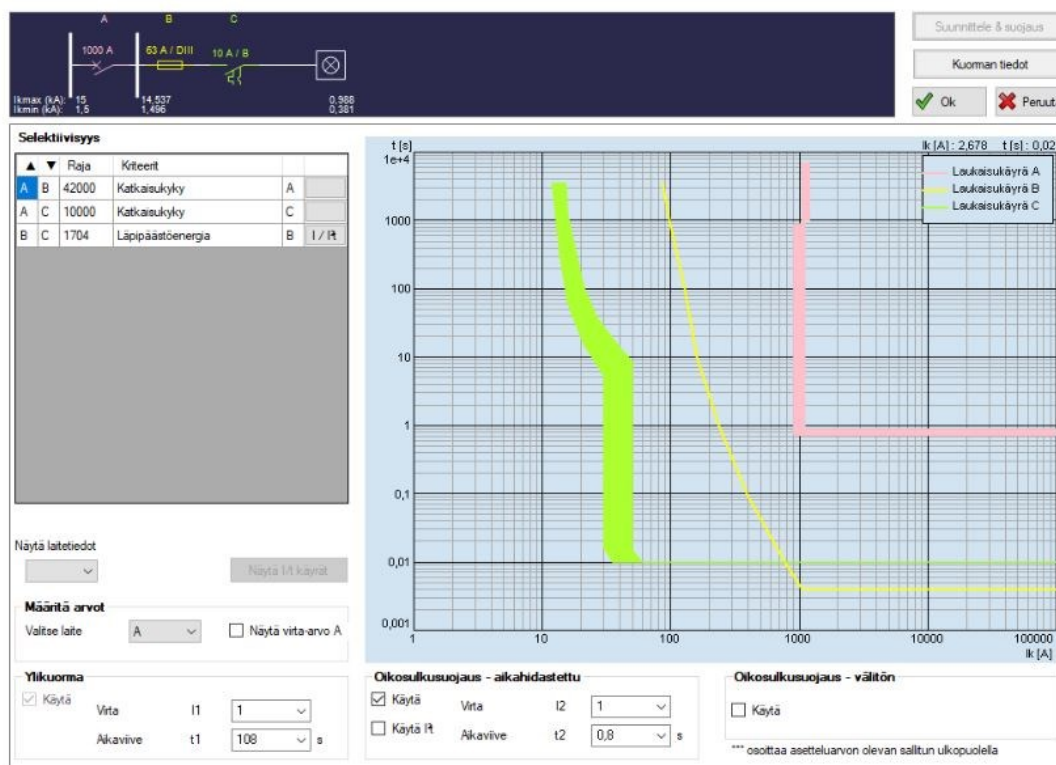
Kuva 1. Esimerkkikuva selektiivisyydestä. (Tiainen, E & Orrberg, M 2019, 125.)

Suojien selektiivisyyttä voidaan arvioida toiminta-aikakäyrien ja valmiina olevien taukoiden avulla. Näiden toimintaan vaikuttaa virta- sekä aikaporras. Näin luodaan virta-aikakoordinaatisto, mihin laitetaan suojalaitteiden toimintakäyrät ja katsotaan leikkaavatko peräkkäiset suojien toimintakäyrät toisiaan. Ominaiskäyrien vertailun kohteiksi otetaan jälkimmäisen suojan ylin toimintakäyrä ja edellä olevan suojan alin toimintakäyrä kuvan 2 mukaan. Selektiivisyys toteutuu täydellisesti, kun käyrät eivät leikkaa ollenkaan toisia, vaikka sen toteutuminen ei ole aina tarpeellista, koska toteuttaminen voi johtaa liialliseen ylimitoitukseen. (D1 2017, 44, 45.)



Kuva 2. Selektiivisyyden tarkistaminen virta-aikakoordinaatistosta (D1 2017, 52.)

Selektiivisyyden toteutuminen voidaan myös laskea, mutta sen edellyttäminen vaatii suojalaitteiden toimintaominaisuuksista tarkat tiedot. Varmempi tapa on käyttää valmistajien ohjeita tai soveltuvia laskentaohjelmia (kuva 3) selektiivisyyden toteamiseen. (Tiainen 2010, 103.)



Kuva 3. Selektiivisyyden tarkasteleminen Fedbok-laskentaohjelmalla. (Fedbok www-sivut 2020.)

Sulakkeita käytettäessä päästään tavallisesti suhteellisen hyvään selektiivisyyteen, jos sulakkeiden koot on valittu verrattuna toisiinsa oikein, eikä valitsemalla liian isoja sulakekokoja oikosulkuvirran minimitalanteeseen nähden. Syötön sulakekoko olisi siis syytä olla vähintään kahta kokoa suurempi, kuin jälkimmäinen sulake.

### 3.2.4 Oikosulkusuojaus

Kaikissa virtapiireissä pitää olla oikosulkusuojaus, mikä katkaisee sähköpiirin oikosulkuvirran aikaisemmin kuin johtimissa ja liitoksissa tapahtuu lämpö- ja mekaanista vaikutuksista johtuvia vaurioita. Johdineriste määrittelee sallitun kestoajan ja lämpötilan. Sama suojalaite voi toimia oikosulkusuojana, sekä ylikuormitussuojana, mutta oikosulkutilanteessa suojalaitteiden pitää toimia paljon nopeammin kuin ylikuormitustilanteessa. (Tiainen 2010, 64.) SFS 6000 standardi määrittelee seuraavat oikosulkusuojauksen vaatimukset:

- Oikosulkuvirran pitää olla suurempi kuin oikosulkusuojan katkaisukyky

- Kun johtimien lämpötila nousee suurimpaan sallittuun arvoon, on virtapiirissä kaikki oikosulkuvirrat katkettava viimeistään silloin. Kaava 7
- Oikosulkuvirran pitää olla vähintään yhtä suuri kuin suojalaitteen katkaisukyky kun käytetään yhteistä suojalaitetta ylikuormitus- ja oikosulkusuojaukseen.
- Oikosulkuvirta saa olla pienempi suojalaitteen katkaisukykyä jos syöttävällä puolella on toinen suojalaite, minkä katkaisukyky on riittävä. Edellä mainituissa tapauksissa energia ( $I^2t$ ), joka kulkee läpi suojalaitteen ei ylitä kuormituspuolen arvoa, minkä suojalaite ja johtimet kestävät vahingoittumatta. (SFS 6000, 433, 434.)

Oikosulkuvirta on siis standardin mukaisesti katkaistava virtapiiristä aikaisemmin kuin johtimien lämpötila nousee yli sallitun lämpötila-arvon. Kaavalla 7 voidaan laskea oikosulun kesto aika enintään 5 sekuntia kestävässä oikosuluissa. (D1 2017, 434.5.2)

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

KAAVA 7

jossa

$t$  = aika minkä kuluessa johtimen lämpötila nousee sallittuun rajalämpötilaan (s)

$A$  = johdinpoikkipinta (mm<sup>2</sup>)

$I$  = todellinen oikosulkuvirta (A) tehollisarvona

$k$  = johdin- ja eristemateriaalista riippuva vakio (Taulukko 2)

Oikosulun kestoajan perusteella pystytään määrittelemään suojalaitteen toimintakäyrältä, että suojalaite pystyy katkaisemaan oikosulkuvirran ajoissa. Jos kesto aika oikosululle on todella lyhyt (< 0,1 s), on laitteen läpimenevä valmistajan ilmoittama energia ( $I^2t$ ) oltava pienempi kuin johtimen  $k^2 A^2$  -arvo. Kun oikosulun kesto aika on pidempi kuin 5 s, tulee vertailla keskenään suojalaitteen toiminta- ja lämpenemiskäyriä. (Tiainen, E & Orrberg, M 2019, 84, 85.)

### 3.2.5 Jännitteenalenema

Johtimessa virta synnyttää jännitteenalenemaa tehohäviöiden lisäksi. SFS 6000 standardi suosittelee, ettei jännitealenema olisi suurempi kuin 4% sähkölaitteiston nimellisjännitteestä sähkölaitteen ja sähkölaitteiston liittymäkohdassa. (Tiainen 2013, 176.)

Jännitteenalenema voidaan laskea kaavoilla 8, 9, 10 ja 11.

Tasajännitteellä:

$$\Delta U = I * 2 * r * l \quad \text{KAAVA 8}$$

Yksivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$\Delta U = I * 2 * l * (r * \cos\varphi \pm x * \sin\varphi) \quad \text{KAAVA 9}$$

Kolmivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (r * \cos\varphi \pm x * \sin\varphi) \quad \text{KAAVA 10}$$

Suhteellinen jännitteenalenema:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100\% \quad \text{KAAVA 11}$$

jossa

$\Delta U$  = jännitteenalenema volteissa (V)

$I$  = kuormitusvirta (A)

$l$  = johdon pituus (m)

$r$  = johdon ominaisresistanssi ( $\Omega/km$ )

$x$  = johdon ominaisreaktanssi ( $\Omega/km$ )

$U_n$  = nimellisjännite (V)

$\varphi$  = jännitteen ja virran välinen vaihekulma

$\Delta u$  = suhteellinen jännitteenalenema

$\pm$  = plus -merkkiä käytetään induktiivisella kuormalla ja miinus -merkkiä kapasitiivisella kuormalla

Jännitteenalenemaa laskiessa tarvitsee tietää myös johtimien ominaisreaktanssi sekä ominaisresistanssin arvot. Likimääräiset arvot laskentaan löytyvät taulukosta 9 ja tarkat arvot ovat saatavilla kaapeleiden valmistajilta.

Taulukko 9. Kaapeleiden ominaisresistanssit ja -reaktanssit 20 °C lämpötilassa. (Tiainen 2010, 112.)

| Johtimen<br>poikkipinta<br>(mm <sup>2</sup> ) | Kupari           |                 |                 | Alumiini         |                 |                 |
|---|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
|   | Resistanssi<br>r | Reaktanssi<br>x | Impedanssi<br>z | Resistanssi<br>r | Reaktanssi<br>x | Impedanssi<br>Z |
| 1,5   | 11,80            | 0,115           | 11,801          |                  |                 |                 |
| 2,5   | 7,07             | 0,110           | 7,071           |                  |                 |                 |
| 6   | 2,95             | 0,100           | 2,952           |                  |                 |                 |
| 10  | 1,81             | 0,094           | 1,812           |                  |                 |                 |
| 16  | 1,14             | 0,090           | 1,144           | 1,87             | 0,090           | 1,872           |
| 25  | 0,72             | 0,086           | 0,725           | 1,20             | 0,086           | 1,203           |
| 35  | 0,53             | 0,083           | 0,536           | 0,88             | 0,083           | 0,884           |
| 50  | 0,39             | 0,083           | 0,399           | 0,64             | 0,083           | 0,645           |
| 70  | 0,27             | 0,082           | 0,282           | 0,44             | 0,082           | 0,448           |
| 95  | 0,20             | 0,082           | 0,216           | 0,32             | 0,082           | 0,330           |
| 120   | 0,16             | 0,080           | 0,179           | 0,25             | 0,080           | 0,262           |
| 150   | 0,13             | 0,080           | 0,153           | 0,21             | 0,080           | 0,225           |
| 185   | 0,10             | 0,080           | 0,128           | 0,17             | 0,080           | 0,188           |
| 240   | 0,08             | 0,079           | 0,112           | 0,13             | 0,079           | 0,152           |
| 300   | 0,06             | 0,079           | 0,099           | 0,11             | 0,079           | 0,135           |

### 3.2.6 Syötön nopean poiskytkennän ehtojen toteutuminen

Syötön nopealla poiskytkennällä tarkoitetaan sellaista vikasuojaukseen, jolla pyritään estämään vikatilanteessa olevan kosketusjännitteen aiheuttamat vaaratilanteet katkaisemalla virtapiirin kosketusjännitteet. Standardi SFS 6000 kohdissa 411.3.2.2 ja 411.3.2.3 kerrotaan selkeät vaatimukset vikasuojaukseen. Vian poiskytkentäaika pitää olla ryhmäjohdoille enintään 0,4 s, kun ylivirtasuojauksella on enintään 32 A. Ryhmäjohdoille sekä pääjohdoille 5 s, kun ylivirtasuojauksella on yli 32 A.

Toimivan suojauksen toteuttamiseksi tarvitsee tietää pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran liittymän luona. Tämän tiedon pystyy laskemaan kaavalla 12. Koska laskentakaavaa on yksinkertaistettu huomattavasti, virhemarginaali voi olla jopa 10%, mutta virhemarginaali on aina turvallisempaan suuntaan. Tarkemman tiedon oikosulkuvirrasta voi saada pyytämällä sitä sähkön jakeluverkkoyhtiöltä. Oikosulkuvirran voi saada myös arvioimalla kiinteistön pääsulakkeiden arvojen avulla. (Tiainen, E & Orrberg, M 2019, 111.)

$$I_k = \frac{c*U}{\sqrt{3}*Z} \quad \text{KAAVA 12}$$

jossa

$I_k$  = pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta (A)

$c = 0,95$  kerroin, joka ottaa huomioon jännitteenaleneman

$U$  = pääjännite (V)

$Z$  = virtapiirin kokonaisimpedanssi ( $\Omega$ )

Vikasuojauksen toteutumisen tarkastamiseksi tarvitsee usein määrittää myös suurin sallittu johtopituus. Luvallinen maksimipituus voidaan laskea käyttäen kaavaa 14. Ennen kuin voidaan laskea johdon maksimipituus, pitää ensin selvittää kaavalla 13 nousukeskusta syöttävän verkon impedanssi. (Tiainen, E & Orrberg, M 2019, 112.)

$$Z_v = \frac{c*U}{\sqrt{3}*I_k} \quad \text{KAAVA 13}$$

Sallittu maksimipituuden laskenta:

$$l = \frac{\frac{c*U}{\sqrt{3}*I_k} - Z_v}{2*z} \quad \text{KAAVA 14}$$

jossa

$l$  = johdon pituus (km)

$c$  = vakio kerroin 0,95

$U$  = pääjännite (V)

$I_k$  = oikosulkuvirta, joka aiheuttaa automaattisen poiskytkennän vaaditussa ajassa (A)

$Z_v$  = impedanssi ennen suojalaitetta ( $\Omega$ )

$z$  = suojattavan johtimen impedanssi ( $\Omega/km$ ) (Taulukko 9)

Kun lasketaan ryhmäkeskuksen oikosulkuvirtaa, on otettava huomioon laskennassa myös takaisin tuleva paluujohtin, koska ominaisimpedanssiin vaikuttaa johdon poikkipinta-ala. Kaavalla 15 voidaan laskea vastaava impedanssi ennen ryhmäkeskusta.

$$Z_{vrk} = Z_{vnk} + 2 * z * l \quad \text{KAAVA 15}$$

Laskettua oikosulkuvirran arvoa vertaillaan liitteen 2 taulukosta käyttäessä johdonsuojakatkaisijoita ja liitteen 3 taulukosta käytettäessä gG-typin sulakkeita. Lasketun tuloksen pitää olla suurempi kuin taulukossa esiintyvän oikosulkuvirran. Toteutuminen voidaan selvittää myös mittaamalla, mutta oikosulkuvirtojen pitää olla 25 % suurempia kuin suojalaitteiden toimintavirrat. (Tiainen, E & Orrberg, M 2019, 91.)

Suojauksessa voidaan käyttää vikavirtasuojaa tai vaihtoehtoisesti suurentamalla johdon poikkipinta-alaa, ylivirtasuojan nimellisvirran tai tyyppin vaihtamista, jos automaattisen poiskytkennän ehtoja ei saada muutoin toteutumaan. (Tiainen, E & Orrberg, M 2019, 120.)



## 4 KAAPELIN ASENNUSTAVAT

Standardin SFS 6000 on määritellyt kaapelien erilaiset asennustavat ja sen miten niiden on kestävä myös asennuspaikan ulkoisten tekijöiden vaikutukset. Kun tarkempi tarkastelu on välttämätöntä, tulee johtoja valittaessa huomioida asennustapaan vaikuttavat korjauskertoimet.

### 4.1 Uppoasennus

Asennustapa A eli uppoasennus pitää sisällään asennukset, missä kaapeli on asennettu lämpöeristettyyn seinään upotetussa muovisessa tai metallisessa putkessa. (D1 2017, Liite 52A)

Kuormitettavuuteen on SFS 6000, 523.8 luvun mukaisesti otettava huomioon korjauskertoimet taulukosta 10, jos putki asennetaan lämpöeristyksen sisään läpimenojen vuoksi. Lämpöeristeen läpivienti ei saa ylittää 0,5 m matkaa. (D1 2017, Liite 52A)

Korjauskertoimet soveltuvat suuremmalle lämmöneristeelle kuin 0,0625 W/Km lämmönjohtavuuden mukaan ja enintään 10 mm<sup>2</sup> kaapelille. Mikäli lämmönjohtavuus on huonompi, on syytä käyttää huonompia kertoimia. (Tiainen 2014, 107.) Eri rakennusmateriaalien lämmönjohtavuuksia voi vertailla ympäristöministeriön asetuksesta. (Finlex www-sivut 2020.)

Taulukko 10. Korjauskertoimet lämpöeristeen läpivienneistä. (D1 2017, 523.8.)

| Lämpöeristeen paksuus<br>mm | Korjauskerroin |
|-----------------------------|----------------|
| 50                          | 0,89           |
| 100                         | 0,81           |
| 200                         | 0,68           |
| 400                         | 0,55           |
| 500                         | 0,50           |

## 4.2 Pinta-asennus

Asennustapa C eli pinta-asennus pitää sisällään asennukset, missä kaapeli on asennettu puu- ja kiviseinälle siten, että seinän ja kaapelin väliin jäävä väli on 0,3 kertaa pienempi kuin kaapelin poikkipinta. Asennustavan korjauskertoimet on esitetty taulukossa 11 ja niitä voidaan myös käyttää, kun kaapeli on asennettu lattialle, umpipohjaisella hyllyllä tai kaapelikatkon yläpuolelle. (Tiainen, E & Orrberg, M 2019, 60.)

Taulukko 11. Korjauskertoimet pinta-asennukseen. (Tiainen, E & Orrberg, M 2019, 70.)

| Sijointus<br>(kaapelit<br>kosket-<br>tavat<br>toisiaan)  | Virtapiirien tai monijohdinkaapeleiden lukumäärä |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|  | 1  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 12   | 16   | 20   |
| Nipussa<br>ilmassa,<br>pinnalla,<br>upotet-<br>tuina tai<br>kotelon<br>sisällä                                     | 1,00   | 0,80 | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,57 | 0,54 | 0,52 | 0,50 | 0,45 | 0,41 | 0,38 |
| Yhdessä<br>kerrok-<br>sessa<br>seinällä,<br>lattialla<br>tai rei'it-<br>ämättö-<br>mällä<br>kaapeli-<br>hyllyllä   | 1,00   | 0,85 | 0,79 | 0,75 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | 0,71 | 0,70 |      |      |      |
| Yhdessä<br>kerrok-<br>sessa<br>kiinni-<br>tettynä<br>suoraan<br>puuka-<br>ton ala-<br>puolelle                     | 0,95   | 0,81 | 0,72 | 0,68 | 0,66 | 0,64 | 0,63 | 0,62 | 0,61 |      |      |      |
| Yhdessä<br>kerrok-<br>sessa<br>rei'ite-<br>tyllä<br>kaapeli-<br>hyllyllä<br>vaaka-<br>tai pys-<br>tysuun-<br>nassa | 1,00   | 0,88 | 0,82 | 0,77 | 0,75 | 0,73 | 0,73 | 0,72 | 0,72 |      |      |      |

|   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|--|
| Yhdessä kerroksessa tikkailla, tuilla tai kiinnikkeillä | 1,00 | 0,87 | 0,82 | 0,80 | 0,80 | 0,79 | 0,79 | 0,78 | 0,78 |  |  |  |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|--|

#### 4.3 Maa-asennus

Asennustapa D eli maa-asennus pitää sisällään asennukset, missä kaapeli on asennettu maahan suoraan tai putkessa asennussyvyyden ollessa 0,7 m ja maan lämpöresistiivisyyden ollessa 2,5 K \* m/W. (Tiainen, E & Orrberg, M 2019, 60.) Korjauskertoimet maa-asennukselle löytyy taulukoista 12, 13. Taulukosta 14 selviää eri maa-ainesten lämpöresistiivisyyden arvoja.

Taulukko 12. Korjauskertoimet maa-asennukselle ympäröivän lämpötilan mukaan. (SFS 6000, taulukko B.52.15.)

| Maan lämpötila °C | Korjauskerroin johtimen eristeen mukaan |            |
|-------------------|---|------------|
|                   | PVC                                     | PEX ja ERP |
| 10                | 1,10                                    | 1,07       |
| 15                | 1,05                                    | 1,04       |
| 20                | 1,00                                    | 1,00       |
| 25                | 0,95                                    | 0,96       |
| 30                | 0,89                                    | 0,93       |
| 35                | 0,84                                    | 0,89       |
| 40                | 0,77                                    | 0,85       |
| 45                | 0,71                                    | 0,80       |
| 50                | 0,63                                    | 0,76       |

Taulukko 13. Korjauskertoimien keskiarvot, kun maan lämpöresistiivisyys poikkeaa 2,5 K \* m/W. (Tiainen, E & Orrberg, M 2019, 69.)

| Lämpöresistiivisyys K * m/W                              | 0,5  | 0,7  | 1,0  | 1,5  | 2,0  | 2,5 | 3,0  |
|--|------|------|------|------|------|-----|------|
| Korjauskertoimen putkiin asennetuille kaapeleille        | 1,28 | 1,20 | 1,18 | 1,1  | 1,05 | 1,0 | 0,96 |
| Korjauskertoimen suoraan maahan asennetuille kaapeleille | 1,88 | 1,62 | 1,5  | 1,28 | 1,12 | 1,0 | 0,90 |

Taulukko 14. Maan lämpöresistiivisyyden arvoja. (Tiainen, E & Orrberg, M 2019, 69.)

| Maalaji  | Lämpöresistiivisyys, K * m/W |
|--|------------------------------|
| Kuiva hiekka (kosteus 0 %)                         | 3,0                          |
| Kuiva sora tai savi                                | 1,5                          |
| Puolikuiva sora, suomuta tai hiekka (kosteus 10 %) | 1,2                          |
| Puolikuiva savi ja kostea sora                     | 1,0                          |
| Kostea savi ja hiekka (kosteus 25 %)               | 0,7                          |

#### 4.4 Ilma-asennus

Asennustapa E eli ilma-asennus pitää sisällään asennukset, missä kaapeli on asennettu vapaasti ilmaan tuettuna siten, että lämpö pääsee kaapelista haihtumaan joka suuntaan. Ulkoiset tekijät, kuten auringon säteilyn aiheuttama lämpeneminen pitää ottaa huomioon. Ilma-asennuksen korjauskertoimia voidaan käyttää, kun kaapelin ja minkä ta-

hansa lähimmän tason etäisyys on vähintään 0,3 kertaa kaapelin poikkipinta-ala. (Tiainen, E & Orrberg, M 2019, 60). Korjauskertoimia taulukosta 15 voidaan myös käyttää, kun kaapeli asennetaan kaapelihyllylle, tikashyllylle, tai ripustuksille kun reikiä on 30 % hyllyn pohjan pinta-alasta. (D1 2017, B52.6.2.)

Taulukko 15. Korjauskertoimet ilma-asennuksissa, kun ympäristön lämpötila poikkeaa 30 °C. (SFS 6000, taulukko B.52.14.)

| Ympäristön lämpötila °C | Korjauskerroin johtimen eristeen mukaan |            |
|-------------------------|---|------------|
|                         | PVC                                     | PEX ja EPR |
| 10                      | 1,22                                    | 1,15       |
| 15                      | 1,17                                    | 1,12       |
| 20                      | 1,12                                    | 1,08       |
| 25                      | 1,06                                    | 1,04       |
| 30                      | 1,00                                    | 1,00       |
| 35                      | 0,94                                    | 0,96       |
| 40                      | 0,87                                    | 0,91       |
| 45                      | 0,79                                    | 0,87       |
| 50                      | 0,71                                    | 0,82       |
| 55                      | 0,61                                    | 0,76       |
| 60                      | 0,50                                    | 0,71       |
| 65                      | -                                       | 0,65       |
| 70                      | -                                       | 0,58       |
| 75                      | -                                       | 0,50       |
| 80                      | -                                       | 0,41       |

## 5 ESIMERKKEJÄ MITOITUSLASKENNASTA

### 5.1 Esimerkkilasku johdon mitoituksesta hyödyntäen korjauskertoimia

Johdon poikkipinta-alaa valittaessa toimitaan seuraavalla tavalla:

1. Valitaan yhtä suuri tai suurempi sulake kuin kuormitusvirta. Jos kuormitusvirtaa ei tiedä, se voidaan laskea kaavalla 6, kun tiedetään vaadittu teho.
2. Haetaan taulukosta 7 toisesta sarakkeesta sulaketta vastaava kuormitusvirta, jonka johto kestää.
3. Valitaan halutut korjauskertoimet, jotka vastaavat asennuksen olosuhteita. Jos korjauskertoimia on useita, lasketaan niiden tulo, jotta saadaan kokonaiskorjauskerroin.
4. Jaetaan sulaketta vastaava kuormitusvirta saadulla korjauskertoimella.
5. Etsitään taulukosta 5 käytetyllä asennustavalla (A, B, C tai D) laskettua virtaa vastaava johdon poikkipinta-ala.

**Esimerkin lähtötiedot: Kuormitusvirta 106 A, kaapeli asennetaan kaapelihyllylle, jossa on ennestään 5 kaapelia vierekkäin. Huoneen lämpötila on 35 °C.**

1. Valitaan ylikuormitussuojaksi suurempi sulake, kun lähtötiedoissa annettu kuormitusvirta on 106 A  $\rightarrow$  125 gG.
2. Haetaan taulukosta 7 toisesta sarakkeesta valitun 125 gG-sulakkeen perusteella sulaketta vastaava kuormitusvirta, jonka kaapeli kestää eli 138 A.
3. Valitaan asennuksen vastaavat korjauskertoimet olosuhteiden mukaan. Lämpötilan korjauskerroin on taulukossa 15, joka on 0,94 35 °C lämpötilassa PVC-kaapelilla. Muiden kaapeleiden vaikutus löytyy taulukosta 11, joka on viidelle kaapelille kaapelihyllyyn asennettuna 0,75. Lopuksi lasketaan saatujen korjauskertoimien tulo  $0,94 * 0,75 = 0,705$ .
4. Jaetaan kaapelin kestävä kuormitusvirta korjauskertoimien tulolla.  $138 \text{ A} / 0,705 = 195 \text{ A}$
5. Kaapelin kuormittavuuden pitää olla vähintään 195 A ja taulukosta 5 etsitään asennustavan mukaan vastaavan kaapelin poikkipinta. Johtimen poikkipinnaksi saadaan siis 70 mm<sup>2</sup> Cu tai 120 mm<sup>2</sup> Al.

5.2 Esimerkkilasku syötön automaattisen poiskytkennän toteutumisesta.

**Esimerkin lähtötiedot:** Asiakas on muuttanut vanhan sivurakennuksen saunalliseksi ja haluaa asentaa nykyisen pistorasiaryhmän lisäksi 6,8 kW tehoisen kiukaan. Sivurakennuksen ryhmäkeskus on 35 m päässä suojattuna 25 A gG-sulakkeilla, maassa kulkeva nousujohto on 5 x 6mm<sup>2</sup>. Pääkeskuksen oikosulkuvirta on 220 A ja pääsulakkeiden suuruus on 35 A gG. Pisin pistorasiaryhmäjohto on 20 m (3 x 2,5), joka on suojattu 16 A B-tyyppin johdonsuojakatkaisijalla ja kiukaan syöttävän kaapelin pituus on 15m.

Lasketaan impedanssit ennen keskuksia ja vastaavat oikosulkuvirrat keskuksissa kaavalla 13:

$$Z_v = \frac{0,95 * 400 V}{\sqrt{3} * 220 A} = 0,99 \Omega$$

$$Z_{v1} = Z_v + 2 * 2,952 \frac{\Omega}{km} * 0,035 km = 1,19 \Omega$$

$$I_{krk} = \frac{0,95 * 400 V}{\sqrt{3} * 1,19 \Omega} = 184 A$$

Pistorasiaryhmän oikosulkuvirta

$$Z_{v2} = Z_{v1} + 2 * 7,081 \frac{\Omega}{km} * 0,020 km = 1,47 \Omega$$

$$I_{kpr} = \frac{0,95 * 400 V}{\sqrt{3} * 1,47 \Omega} = 149 A$$

Liitteen 2 taulukosta todetaan, että 16 A B-tyyppin johdonsuojakatkaisijan pienin toimintavirta on 80 A, joten syötön automaattinen poiskytkentäehto toteutuu pistorasiaryhmässä.

Tarkistetaan myös kaavalla 14 pistoryhmän sallittu johdon pituus:

$$l = \frac{0,95 * 400 V}{\sqrt{3} * 80 A} - 1,19 \Omega = 109 m > 20 m$$

Suurin sallittu kaapelin pituus on 109 m, joten kaapeli on luvallinen.

Pistorasiaryhmän asennustavaksi on kerrottu uppoasennus ja tarkempia lähtötietoja ei ole saatavilla voidaan käyttää taulukon 5 referenssiarvoja ja todeta, että kaapeli kestää kuormituksen. Pistorasiaryhmä on siis sallittu.

Seuraavaksi lähdetään tarkastelemaan tulevan kiukaan asennusta. Ensimmäiseksi pitää laskea kiukaan nimellisvirta kaavalla 6.

$$I = \frac{6800 W}{\sqrt{3} * 400 V} = 9,8 A$$

Haetaan taulukosta 7 kiuasta suojaamaan 16 A -gG sulake lasketun nimellisvirran perusteella. Kiukaaseen tuleva syöttökaapeli joudutaan asentamaan yhden 100 mm lämpöeristeen lävitse uppoasennuksena. Valitaan taulukosta 7 toisesta sarakkeesta valitun 16 A gG-sulakkeen perusteella sulaketta vastaava kuormitusvirta, jonka kaapeli kestää eli 18 A. Tiedossa olevan asennustavan mukaisesti valitaan taulukosta 10 100 mm lämpöeristeen korjauskerroin 0,81. Jaetaan kaapelin kestävä kuormitusvirta korjauskertoimella:  $18 A / 0,81 = 22,2 A$ . Kaapelin kuormitettavuuden pitää siis olla vähintään 22,2 A ja taulukosta 5 löydetään asennustavan A mukainen kaapelinkoko: 4 mm<sup>2</sup>.

Taulukosta huomataan samalla, että asennustapaa muuttamalla tai vaihtamalla kaapelin asennusreittiä siten, että eristeen lävitse ei tarvitse kulkea, kaapelin kooksi riittäisi 2,5 mm<sup>2</sup>.



Kiukaan syöttäväksi kaapeliksi on valittu 4 mm<sup>2</sup> ja tarkistetaan, onko kaapelin pituus luvallinen kaavalla 14.

$$l = \frac{\frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 110 \text{ A}} - 1,19 \Omega}{2 \cdot 2,952 \Omega} = 136 \text{ m} > 15 \text{ m}$$

Seuraavaksi tarkistetaan syötön automaattinen poiskytkentä.

$$Z_{v3} = Z_{v1} + 2 \cdot 2,952 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0,015 \text{ km} = 1,27 \Omega$$

$$I_{kk} = \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 1,27 \Omega} = 173 \text{ A} > 110 \text{ A}$$

Lasketaan kiukaan synnyttämä jännitteenalenema kaavalla 9 ja 10.

$$\Delta U = 9,8 \text{ A} \cdot 0,015 \text{ km} \cdot \sqrt{3} \cdot \left( 2,95 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0,8 + 0,100 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0,6 \right) = 0,62 \text{ V}$$

$$\Delta u = \frac{0,62 \text{ V}}{400 \text{ V}} \cdot 100\% = 0,16\% < 4\%$$

Kuten luvussa 3.2.2 kävi ilmi, standardissa suositellaan jännitteenaleneman olevan pienempi kuin 4%, joka toteutuu hyvin.

## 6 SÄHKÖASENNUKSIEN MITOITUS OHJELMAN LUOMINEN EXCELISSÄ

### 6.1 Tavoite

Työn tavoitteena oli tehdä laskentaohjelma kaapeleiden ja suojalaitteiden valintaan sähköasennuksilla, joka ottaisi huomioon vaaditut standardit sekä asennusolosuhteiden vaikutukset. Ohjelmasta haluttiin mahdollisimman helppokäyttöinen ja yksinkertainen, joka luo käyttömukavuutta ja voisi lisätä ohjelman käyttöä tulevaisuudessa.

Laskentatyökalun päätin toteuttaa Excel-taulukkolaskentaohjelmalla, tällä varmistettiin mahdollisimman yleinen yhteensopivuus käyttäjien päätelaitteiden kanssa. Myös ylimääräisiä lisäkustannuksia Excelillä tekemässä ohjelmassa ei ole tiedossa.

### 6.2 Suunnittelu ja ohjelmointi

Ohjelman suunnittelu lähti kartoittamalla toimeksiantajan tavoitteita ja toiveita. Ennen Excel sovelluksen tekemistä oli tärkeää perehtyä sähköalan standardeihin, sekä johdon mitoituksen ja suojalaitteiden valintaan teoria-aineistolla.

Excelin ohjelmointi perustuu Excelin omiin kaavoihin, laskutoimituksiin, yhtälöihin ja solutietoihin. Excel on kykeneväinen monimutkaisiin ja vaativiin laskutoimituksiin, mutta ohjelman monimutkaisuuden vuoksi, piti alkaa kaavoja jakamaan useille eri soluille saadakseni halutun lopputuloksen. Aloin keräämään laskutoimituksia ja taulukoita eri sivulle saadakseni selvemmän kokonaisuuden. Huomasin kaavoja ja taulukoita kertyvän niin paljon, että kokonaisuuden hahmottaminen muuttui vaikeaksi ja siksi heti ohjelman luomisen alkuvaiheessa olisi erityisen tärkeää organisoida laskutoimitukset yhdelle omalle sivulle.

Ongelmia tuli myös Excelin ohjelmoinnin ohjeiden kanssa. Ohjeita ja oppaita on olemassa erittäin paljon, mutta kaikki eivät ole keskenään yhteensopivia eri järjestelmäversioiden kanssa. Myös kielelliset erot tulivat esille, englanninkielisellä Excelillä käytetään : -merkkiä kun suomenkielisellä ;-merkkiä kaavoissa. Tämä aiheutti usein

sekaannusta kaavojen kirjoittamisessa. Ohjelmointikielen kanssa on myös apua saatavilla lukemattomilla internetin foorumi -palstoilla, mutta usein ongelman selittäminen on vaikeampaa kuin itse toteutuksen tekeminen.

### 6.3 Valmis ohjelma

Laskentaohjelman testaaminen suoritettiin ensiksi yksinkertaisilla ja valmiiksi toteutuneilla sähköasennuskohteilla varmistamaan ohjelman toimivuus. Ohjelman toimivuus on toiminut, mutta sellaisia virheitä voi vielä löytyä, mitkä ei testauksessa löytyneet. Siksi on tärkeää, että vain sähköalanammattilaiset käyttävät ohjelmaa ja ymmärtävät ohjelman antamia vastauksia. Ohjelma auttaa hahmottamaan ja havainnollistamaan, kuinka paljon erilaiset asennusolosuhteet voivat vaikuttaa. Hyvällä suunnitellulla ja ohjelman käyttämisellä voidaan tehdä taloudellisempia asennuksia.

Koska korjauskertoimia on erilaisille asennustavoille valtava määrä, päätin yksinkertaistaa laskutoimituksia. Näin ohjelmasta saatiin yksinkertaisempi ja vastauksien tarkoitus on olla suuntaa antavia kuitenkin niin, että turvallisuusvaatimukset aina täyttyvät. Tarkempia tarkasteluja varten on syytä laskea kaikki korjauskertoimet erikseen, mutta kuten teoriaosuudessa kävi ilmi, tämä ei ole kovinkaan usein perusteltua.

Poistin myös ohjelmasta käytännöllisyyden vuoksi 4 mm<sup>2</sup> kuparikaapelin, koska kyseistä poikkipinta-alallista kaapelia ei käytännössä koskaan käytetä asennuksilla.

Ohjelman nykyinen versio (Liite 4) on valmis käytettäväksi ja toimiva, mutta sen kehittäminen ja tekeminen jatkuu vielä opinnäytetyön jälkeenkin. Tarkoituksena on lisätä ohjelmaan tulevaisuudessa laskennat tasasähköjärjestelmille, siirrettäville kumi-kaapeleille ja 5 s gG-sulakkeen vikasuojaukselle.

## 7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön päätavoitteena oli luoda Porin kaupungin sähköyöntekijöille laskentaohjelma, minkä avulla voidaan mitoittaa oikeat kaapelit ja suojalaitteet tulevilla sähköasennuksilla. Työ jakautui kahteen selkeään osioon, kirjalliseen teoriaosuuteen ja sovelluksen luomiseen taulukkolaskentaohjelmalla.

Työ oli mielenkiintoista toteuttaa ja opettavaista niin sähköteknillisesti kuin ohjelmoinninkin puolesta. Excelin ohjelmointi ei ollut minulle ennestään kovinkaan tuttua ja se aiheutti ohjelmaa luodessa paljon haasteita. Excel on kuitenkin kykeneväinen moneen ja onnistuin tekemään vaikeita ja monimutkaisia kaavoja. Kyseessä on yleinen työkalu, joten ohjelman opetteleminen oli perusteltua tulevaisuutta ajatellen.

Työn lopputulos oli kuitenkin onnistunut, koska sain tehtyä valmiin ohjelman, mitä pystyy käyttämään asennuksilla ja kehittämään tulevaisuudessa tarpeiden mukaan.

## LÄHTEET

D1 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Fedbok:n www-sivut. Viitattu 09.09.2020. <http://severi.sahkoinfo.fi/Software/Febdok>

Finlex. Lainsäädäntö 516/1996. Viitattu 08.09.2020. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1996/19960516>

Nurmi, V-P & Simonen, S. 2003. Sähköturvallisuuden varmistaminen. Helsinki: Ota-tieto.

Pori. Tekninen toimiala. Viitattu 08.09.2020 <https://www.pori.fi/organisaatio/toimialat/tekninen-toimiala>

Rousku, H & Mäkinen, P. 2018. SFS 6002 Käytännössä. 32. uud. p. Espoo: Sähköinfo Oy

Sesko ry:n www-sivut. Viitattu 08.09.2020. <https://www.sesko.fi/>

SFS 600-1 Taulukko 52.1. Eristetyyppien suurimmat sallitut käyttölämpötilat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS 600-1 Taulukko B52.2. Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla A, B, C ja D. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 269-2-1. gG -sulakkeen toimintarajavirrat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

ST 53.14. Ohjeet perinteisten sulakkeiden valinnasta ja käytöstä, alle 1000 V:n sähköjärjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.

Sähköinfo Oy:n www-sivut. Viitattu 08.09.2020. <http://www.sahkoinfo.fi/>

Tiainen, E & Orrberg, M. 2019. Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus. 2. uud. p. Tampere: Sähköinfo Oy

Tiainen, E. 2010. Johdon mitoitus ja suojaus. 3. uud. p. Espoo: Sähköinfo Oy

Tiainen, E. 2013. Sähköasennukset 1.3. uud. p. Espoo: Sähköinfo Oy

Tiainen, E. 2014. Sähköasennusopas. 9. uud. p. Espoo: Sähköinfo Oy

Tukes www-sivut. Viitattu 08.09.2020. <https://tukes.fi/etusivu>

## Nykyiset voimassa olevat Tukesin julkaisemat standardit

### Sähkölaitteistot

|   |  |
|---|--|
| SFS 6000 (2017)   | Pienjännitesähköasennukset<br>(Standardisarja, joka sisältää 39 kpl erillisiä standardeja)   |
| SFS 6001 (2018)   | Suurjännitesähköasennukset   |
| SFS-EN 60079-14 (2015)<br>+ AC (2016)                                       | Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 14: Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen  |
| SFS-käsikirja 604-2 (2017)<br>Luku 3  | Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 2: Sähköasennukset, tarkastus ja huolto, Luku 3: Räjähdetilat   |
| SFS-EN 50107-1 (2003)   | Valomainokset ja valopurkausputkien asennukset yli 1 kV mutta alle 10 kV tyhjäkäyntijännitteellä. Osa 1: Yleiset vaatimukset   |
| SFS-EN 50191 (2011)   | Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö  |
| SFS-EN IEC 62485-2<br>(2018)  | Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Paikalliset (Vastaa tekniseltä sisällöltään standardia SFS-EN 50272-2 (2001))  |
| SFS-EN 50119 (2010) + A1<br>(2013)  | Railway applications. Fixed installations. Electric traction overhead contact lines  |
| SFS-EN 50122-1 (2011) +<br>A1 (2011) + A2 (2016) +<br>A3 (2016) + A4 (2017) | Railway applications. Fixed installations. Electrical safety, earthing and bonding. Part 1: Protective provisions against electric shock   |
| SFS-EN 50122-2 (2011)   | Railway applications. Fixed installations. Electrical safety, earthing and the return circuit. Part 2: Provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems  |
| SFS-EN 50124-1 (2017)   | Railway applications. Insulation coordination. Part 1: Basic requirements. Clearances and creepage distances for all electrical and electronic equipment   |
| SFS-EN 50341-1 (2014) +<br>SFS-EN 50341-2-7 (2015)                          | Vaihtosähköilmajohtot yli 1 kV jännitteillä. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Yhteiset määrittelyt, Osa 2-7 Suomen kansalliset velvoittavat määrittelyt (Standardeja sovelletaan myös enintään 1 kV:n ilmajohtoihin osan 2-7 soveltamisalan mukaisesti) |

### Sähkötyöturvallisuus

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| SFS 6002 (2015) + A1<br>(2018) | Sähkötyöturvallisuus<br>(Lisäys A1 2018 ei varsinaisesti muuta standardin asiasisältöä) |
|--------------------------------|---|

**Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoille ja vaaditut mitatut arvot.**

| Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoille ja vaaditut mitatut arvot |                            |                            |                            |                            |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Nimellisvirta  | B-tyyppi 0,4 s<br>ja 5,0 s | Vaadittu mi-<br>tattu arvo | C-tyyppi 0,4 s<br>ja 5,0 s | Vaadittu mi-<br>tattu arvo |
| A  | A                          | A                          | A                          | A                          |
| 6  | 30                         | 37,5                       | 60                         | 75                         |
| 10   | 50                         | 62,5                       | 100                        | 125                        |
| 13   | 65                         | 81,3                       | 130                        | 162,5                      |
| 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                     |

**Pienimmät toimintavirrat gG-sulakkeille ja vaaditut mitatut arvot.**

| Pienimmät toimintavirrat gG-sulakkeille ja vaaditut mitatut arvot |                    |                            |                    |                            |
|---|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
| Nimellisvirta   | gG-sulake 0,4<br>s | Vaadittu mi-<br>tattu arvo | gG-sulake 5,0<br>s | Vaadittu mi-<br>tattu 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  |                    |                            | 190                | 237,5                      |
| 50  |                    |                            | 250                | 312,5                      |
| 63  |                    |                            | 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                       |
| 630   |                    |                            | 5100               | 6375                       |



## Laskentaohjelman nykyinen versio.

| Sähköasennuksen mitoitus                |              |                    |
|---|--------------|--------------------|
| Siniset laatikot täytetään itse         |              |                    |
|   | Pääkeskus    |                    |
| Ilmoitettu oikosulkuvirta               | 3192         | A                  |
|   |              |                    |
|   |              |                    |
| Kaapelin pituus                         | 30           | m                  |
| Kaapelin koko                           | 16           | mm <sup>2</sup>    |
|   |              |                    |
|   |              |                    |
|   | Ryhmäkeskus  |                    |
| Oikosulkuvirta                          | 1597,1       | A                  |
|   |              |                    |
|   |              |                    |
|   |              |                    |
|   |              |                    |
|   |              |                    |
| Kaapelin koko                           | 6            | Cu mm <sup>2</sup> |
| Kaapelin koko                           | 16           | Al mm <sup>2</sup> |
|   |              |                    |
| Kaapelin suurin sallittu pituus         | 315          | Cu m               |
| Kaapelin suurin sallittu pituus         | 496          | Al m               |
|   |              |                    |
|   |              |                    |
| Kaapelin todellinen pituus              | 25           | m                  |
|   |              |                    |
|   |              |                    |
| Ryhmälähdön teho (P) watteina           | 7000         | W                  |
| Asennustapa                             | A            | ▼                  |
| Lämpöeristeen paksuus                   | 100          | mm                 |
| Kaapeleiden lukumäärä                   | 1            | kpl                |
| Ympäristön lämpötila                    | 30           | °C                 |
| Maalaji                                 | Tyhjä        | ▼                  |
| Suosittelava sulakekoko tehon mukaan    | 16           | A                  |
| Ylivirtasuojan koko                     | 16           | A                  |
| Ylivirtasuojan tyyppi                   | gG           | gG - B - C         |
|   |              |                    |
| Ryhmälähdön virta (I)                   | 11,2         | A                  |
| Johdon sallittu kuormitusvirta          | 22,2         | A                  |
| Oikosulkuvirta                          | 769,9        | A                  |
|   |              |                    |
|   |              |                    |
| Ryhmälähdön Cosφ-arvo                   | 0,9          |                    |
| Ryhmälähdön Sinφ-arvo                   | 0,9          |                    |
|   |              |                    |
|   |              |                    |
| Syötön automaattinen poiskytkentä 0,4 s | Toteutuu     |                    |
| Jännitteenalenema                       | Hyväksyttävä |                    |
|   |              |                    |
| Jännitteenalenema                       | 1,33         | V                  |
|   | 0,33         | %                  |