

**MOBIILIAPPLIKAATIO RESISTIIVISIÄ KUORMIA SYÖTTÄVIEN
JOHTOJÄRJESTELMIEN MITOITUKSEEN PIENJÄNNITESÄHKÖ-
ASENNUKSISSA**

Lauri Pyykkönen
Opinnäytetyö (AMK)
Kevät 2026
Sähkö- ja automaatiotekniikan insinööritutkinto
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka
Sähkötekniikka

Tekijä: Lauri Pyykkönen

Opinnäytetyön otsikko: Mobiiliapplikaatio resistiivisiä kuormia syöttävien johtojärjestelmien mitoitukseen pienjännitesähköasennuksissa.

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2026

Sivumäärä: 37 + 1 liite

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda toimeksiantavan yrityksen suunnitteluosastolle laskentatyökalu resistiivisten kuormien sähkönsyöttöpiirien johdinten tai kaapeleiden vähimmäispoikkipinta-alojen määrittämiseksi.

Lähestyin ohjelmakehityshaastetta luomalla kaksi ohjelmaa, joista ensimmäinen toimi prototyypinä teorian ja aiheen ohjelmitavuuden testaamiseksi, jonka jälkeen toisen pääasiallinen tavoite oli prototyyppiä hyödyntäen rakentaa täydellisen käyttöliittymän omaava laskentasovellus puhelimelle.

Opinnäytetyön keskeisin toteutustapa oli Suomen sähköturvallisuuslakien ja sitä mukailevien standardien määrittely koodipohjaiseen datan- ja ehtojenkäsittelyyn, jonka lopputuloksena oli tiettyjen rajoitteiden puitteissa yleisiin pienjännitesähkökäyttökohteisiin soveltuva vähimmäispoikkipinta-alan laskentasovellus.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Program in Bachelor of Science, electrical- and automation engineering
Option of Electrical Engineering

Author: Lauri Pyykkönen

Title of thesis: Mobile application for determining cross section of insulated conductors in resistive load feeder circuits.

Term and year when the thesis was submitted: spring 2026

Number of pages: 37 + 1 appendice

Objective of this thesis work was to create for the commissioning companies electrical design department a mobile software, that can determine, in accordance with Finnish Electrical Safety Act and the following national standards, the minimum cross section of insulated conductors feeding resistive loads.

I approached the set targets by creating two programs, of which the first one was for testing theory and programmability of the subject while the second was for creating a user interface around it.

The method for creating such software included turning the required Finnish Electrical standards into code based data and condition handling, which resulted, with limitations, a software capable of determining minimum cable cross section for common low voltage applications.

SISÄLLYS

| | |
|--|----|
| TIIVISTELMÄ | 2 |
| ABSTRACT | 3 |
| SISÄLLYS | 4 |
| SANASTO | 6 |
| 1 JOHDANTO | 7 |
| 2 SÄHKÖSUUNNITTELUN LAINMUKAISUUS | 8 |
| 2.1 Lakia täydentävä standardi | 9 |
| 3 JOHTIMEN POIKKIPINTA-ALAN MÄÄRITTÄMINEN | 10 |
| 4 JOHTIMIEN KUORMITETTAVUUS | 11 |
| 4.1 Ohjeistavan liitteen kuormitettavuuskorjauskertoimet | 13 |
| 4.1.1 Ympäristön lämpötila | 14 |
| 4.1.2 Maan lämpöresistiivisyys | 15 |
| 5 JOHTIMIEN YLIVIRTASUOJAUKSEN MÄÄRITTÄMINEN | 16 |
| 5.1 Ylikuormitussuojaus | 16 |
| 5.2 Piirin oikosulkuominaisuudet | 18 |
| 5.2.1 Suurimman oikosulkuvirran laskenta | 18 |
| 5.2.2 Vähimmäisoikosulkuvirran laskenta | 19 |
| 5.2.3 Vaatimus oikosulkusuojan vähimmäistoiminta-ajalle kosketusjännitesuojauksessa | 20 |
| 5.2.4 Vaatimus oikosulkusuojan vähimmäistoiminta-ajalle termisessä suojauksessa | 21 |
| 5.3 Suojalaitteiden valinta | 22 |
| 5.3.1 Oikosulkusuojan katkaisukyky | 24 |
| 5.4 Erillinen tai Yhdistetty ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus | 24 |
| 6 JÄNNITTEENALENEMA | 25 |
| 7 STANDARDIN MUKAINEN MITOITUSLASKENTAOHJELMA, EXCEL- PROTOTYYPPI | 27 |
| 8 STANDARDIN MUKAINEN MITOITUSLASKENTAOHJELMA, PUHELINSOVELLUS | 29 |
| 8.1 Käyttöliittymä | 30 |
| 8.2 Toiminta-hierarkia | 31 |

| | | |
|-----|---|----|
| 8.3 | Tietokirjastot ja välimuisti | 31 |
| 8.4 | Ohjelman laskennalliset lopputulokset ja virhetilanteet | 32 |
| 9 | TYÖN LOPPUTULOS..... | 33 |
| 10 | POHDINTA..... | 35 |
| | LÄHTEET | 36 |
| | LIITTEET..... | 37 |

SANASTO

| | |
|--------------------------------|--|
| Mitoitusvirta | Virta, jota käytetään piirin osien mitoitukseen |
| Oikosulkuvirta | Ylivirta, jonka on aiheuttanut oikosulku tai maasulku |
| Prospektiivinen oikosulkuvirta | Teoreettinen maksimivirran tehollisarvo oikosulkupisteessä |
| Ylikuormitusvirta | Ylivirta, jota ei ole aiheuttanut oikosulku tai maasulku |
| Ylivirta | Mitoitusvirran ylittävä sähkövirta |
| Ylivirtasuoja | Ylikuormitukselta ja/tai oikosululta suojaava laite |

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Bilfinger Finland Oy:n toimeksiantamana, tavoitteena luoda puhelinsovellus mikä kykenee määrittämään standardin ja lakien puitteissa resistiivisiä kuormia syöttävien johtimien tai kaapeleiden vähimmäispoikkipinta-alat pienjännitesähköasennuksissa.

Yrityksen yksi toimialoista on saattolämmitysjärjestelmien suunnittelu ja asennus, mikä luo suunnittelutarpeen järjestelmien syöttöpiirien mitoitukselle. Aiemmin syöttöpiirien mitoitus on toteutettu standardin suosituksia ja vaatimuksia käyttäen käsin ja yrityksen suunnittelijoiden toiveena oli saada käytettäväksi nopea mutta teknisesti standardin vaatimukset täyttävä vähimmäispoikkipinta-alan mitoitus-työkalu.

Käytin opinnäytetyössäni pohjustavana tietolähteenä Suomen sähköturvallisuuslakia ja SFS 6000-sarjan standardeja, minkä lisäksi D1-2022 käsikirja rakennusten sähköasennuksista toimi standardia täyttävänä ohjeena. ABB teknisiä tietoja ja taulukoita osan 7 kaavat toimivat matemaattisena perustana oikosulkuvirtoja vaativiin laskuihin ja ABB:n tuotevalikoima ja esitteet vertailukohteena laitevalintoihin.

Opinnäytetyössäni, käyttämällä aiemmin mainittuja lähteitä loin kaksi laskenta-sovellusta joista ensimmäinen oli prototyyppi, tarkoituksena vahvistaa teorian osaamista sekä todentaa koodipohjaisen sovelluksen luonnin mahdollisuus ja toisena opinnäytetyön päätavoite, puhelinalustainen laskentasovellus joka hyödynsi prototyyppivaiheen tuomaa osaamista ja joka tuli yrityksen suunnittelijoiden työkäyttöön.

2 SÄHKÖSUUNNITTELUN LAINMUKAISUUS

Vuonna 2016 asetettu Suomen lainsäädäntö 1135, sähköturvallisuuslaki, joka on kirjoitushetkellä viimeisin ajantasainen sähköturvallisuuslain säädös ja jonka osana on varmistaa sähkölaitteen tai -laitteiston käytön turvallisuus, määrää ensimmäisessä luvussa kuudennessa pykälässä:

”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;

--

Jos sähkölaite tai -laitteisto ei täytä 1 momentissa säädettyjä edellytyksiä, sitä ei saa saattaa markkinoille, luovuttaa toiselle eikä ottaa omaan käyttöön.”

Sähkölaitteen ja -laitteiston markkinoille saattajan tai toiselle käyttöön luovuttavan osapuolen täytyy pystyä osoittamaan kuudennen pykälän vaatimusten täyttyminen. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 7§, 31§.)

Sähköturvallisuuslain 1135/2016 momentti §33 määrää myös, että viranomaisen joka valvoo sähköturvallisuuslain noudattamista on turvallisuus- ja kemikaalivirasto ja momentti §87 vaatii että mainittu sähköturvallisuusviranomaisen julkaise luettelon noudatettavista standardeista, jotka täyttävät sähköturvallisuuslain.

Kirjoitushetkellä viimeisin luettelo on julkaistu nimellä S10-2026, jonka standardit noudattamalla sähkölaitteiston katsotaan täyttävän yllä mainitut lait. Ensimmäisenä listan kohdalla on SFS 6000 pienjännitesähköasennuksien 41 osainen standardisarja. (Tukes 2.2.2026.)

Suomen lainsäädännön 1135/2016 nojalla on samana vuonna asetettu lainsäädäntö 1434 valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista, jonka liitteessä sähkölaitteistojen olennaisista turvallisuusvaatimuksista, esitetään vaatimukset:

”3. Sähkölaitteiston rakenteen on oltava sellainen, että ei synny korkean lämpötilan tai valokaaren aiheuttamaa sähkölaitteistoon kuulumattoman palavan aineen syttymisvaaraa.”

--

”5. Jännitteisissä johtimissa mahdollisesti kulkeva ylivirta ei saa aiheuttaa sellaisia korkeita lämpötiloja tai sähkömekaanisia rasituksia, jotka voivat vahingoittaa ihmisiä, kotieläimiä tai omaisuutta.”

Näiden osien lisäksi sähköturvallisuuslaki määrää momentissa §12 vaatimuksen sähkölaitteiden suojaamiseen, jonka mukaan ulkoisten tai sähkölaitteen itse tuottamien vaarojen kannalta vaaditaan suojausta.

2.1 Lakia täydentävä standardi

SFS 6000-1:2022 vaatii kohdissa 131.2.2, 131.3, 131.4 ja 131.5 suojausta ihmisille ja kotieläimille sähköasennuksen, -järjestelmän ja -laitteiston vioilta, lämmön vaikutuksilta, ylivirroilta sekä vikavirroilta.

Suojausvaatimuksia voidaan noudattaa muun muassa rajoittamalla viasta johdettu vikavirran kesto aika vaarattoman lyhyeksi, rajoittamalla ylivirran suuruus tai kesto vaarattoman lyhyeksi, vikavirtoja kestäväällä johtimien ja osien valinnalla ja toteuttamalla sähköasennus siten että siitä ei voi aiheutua korkean lämpötilan aiheuttamaa syttymisvaaraa.

(SFS 6000-1:2022, 29–30.)

D1 käsikirja, joka täydentää standardien vaatimuksia ohjeilla, esittää että turvallisuusvaatimuksia voidaan noudattaa oikeanlaisella piirin osien suunnittelulla, valinnalla ja asennuksella. (D1-2022, 5, 7.)

3 JOHTIMEN POIKKIPINTA-ALAN MÄÄRITTÄMINEN

Käytettävän johtimien poikkipinta-alaan vaikuttaa standardin SFS 6000-5-52 esittämät vähimmäispoikkipinta-alat kuten on esitetty taulukossa 1 johtimien kuormittavuus, vikasuojaus, oikosulkukestoisuus, mekaaninen kestävyys sekä jännitteenalenema. (SFS 6000-1:2022, 210; D1-2022, 191–192.)

TAULUKKO 1. Standardia mukaileva vähimmäispoikkipinta-alat eri käyttötarkoituksille. (SFS 6000-1:2022, 210.)

| | Materiaali | Poikkipinta-ala mm² |
|---|-------------------|---------------------------------------|
| Kaapelilla tai eristetyin johtimin kiinteä tehonsyöttö tai valaistuspiiri | Kupari | 1.5 |
| | Alumiini | IEC 60228 mukaan |
| Kaapelilla tai eristetyin johtimin kiinteä merkinanto tai ohjauspiiri | Kupari | 0.5 |
| Paljain johtimin kiinteä tehonsyöttöpiiri | Kupari | 10 |
| | Alumiini | 16 |
| Paljain johtimin kiinteä merkinanto tai ohjauspiiri | Kupari | 14 |

4 JOHTIMIEN KUORMITETTAVUUS

Standardi 6000–5–52 asettaa perusvaatimuksen turvallisille johtimien lämpötiloille kappaleessa 523 kuormitettavuus, jonka mukaan kaapelin eristysaineen lämpötila ei saa ylittää taulukossa 2 esitettyjä lämpötilan raja-arvoja.

TAULUKKO 2. Johtimien suurimmat sallitut käyttölämpötilat. (SFS 6000-5-52:2022, 207.)

| Eristemateriaali | Lämpötilan huippuarvo °C¹ |
|---|---|
| Termoplastinen muovi (esim. Polyvinyylikloridi (PVC), Halogeeniton muovi (HFFR), Polyeteeni (PE)) | 70 johtimessa |
| Silloitettu polyeteeni (PEX) ja eteenipropeenikumi (EPR) | 90 johtimessa |
| Mineraali (PVC:llä päällystetty tai paljas ja kosketeltavissa) | 70 vaipassa |
| Mineraali (paljas, ei kosketeltavissa eikä kosketuksissa palaviin materiaaleihin) | 105 vaipassa |

¹ Sertifioiduilla johtimilla tai kaapeleilla voi olla valmistajan itse määrittämä lämpötilan huippuarvo, näissä tapauksissa noudatetaan valmistajan vaatimusta niin kauan kun lämpötila pysyy taulukossa esitettyjen arvojen alla.

D1 käsikirjan mukaan lämpötilan raja-arvoja ei saa ylittää koska yllämpötila voi aiheuttaa paloturvallisuusriskejä sekä vauhdittaa johtimen eristeiden ikääntymistä ja että johtimen kuormitettavuuden määrittää sen kyky luovuttaa virran aiheuttamaa lämpöä ympäristöön. (2022, 218.)

Taulukon 2 mukaan on samaan standardiin luotu ohjeistava liite 52B kaapelien kuormitettavuus, jota noudattamalla voidaan määrittää yleisimpiin asennusolosuhteisiin ja tapauksiin johtimien jatkuva pitkäkestoinen virta-arvo pysyen alle vaaditun lämpötila-arvon normaalissa käytön tilanteessa. (SFS 6000-1:2022, 207.)

Ohjeistavaan liitteeseen 52B on koottu referenssiasennustapoja, joille on määritetty kuormitettavuus laskennallisesti tai testaamalla käyttäen yhtä piiriä olosuhteissa jossa

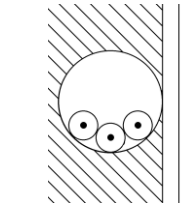
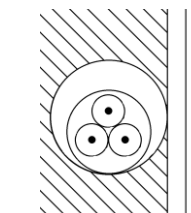
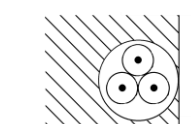
- a) Jännite enintään 1 kVAC tai 1.5 kVDC
- b) Ympäristön lämpötila +30 C
- c) Maan lämpötila +20 C
- d) Maan lämpöresistiivisyys 2,5 m/W
- e) Ei ole muita vierekkäisiä piirejä, jotka vaikuttavat käyttölämpötilaan.

Tuloksien perusteella on standardiin luotu peruskuormitettavuustaulukot B.52.2-B.52.13 kuten on esitetty liitteen 1 taulukossa 1 Kuormitettavuustaulukon Esi-merkki.

(SFS 6000-5-52:2022, 223, 224.)

Lisäksi standardiin on luotu taulukko A52.3 esimerkkejä asennustavoista ja kuormitettavuutta koskevia ohjeita, jossa havainnollistetaan lisää yleisiä asennustapoja ja ohjataan käyttämään vastaavaa referenssiasennustapaa mahdollisin lisäehdoin kuten taulukossa 3.

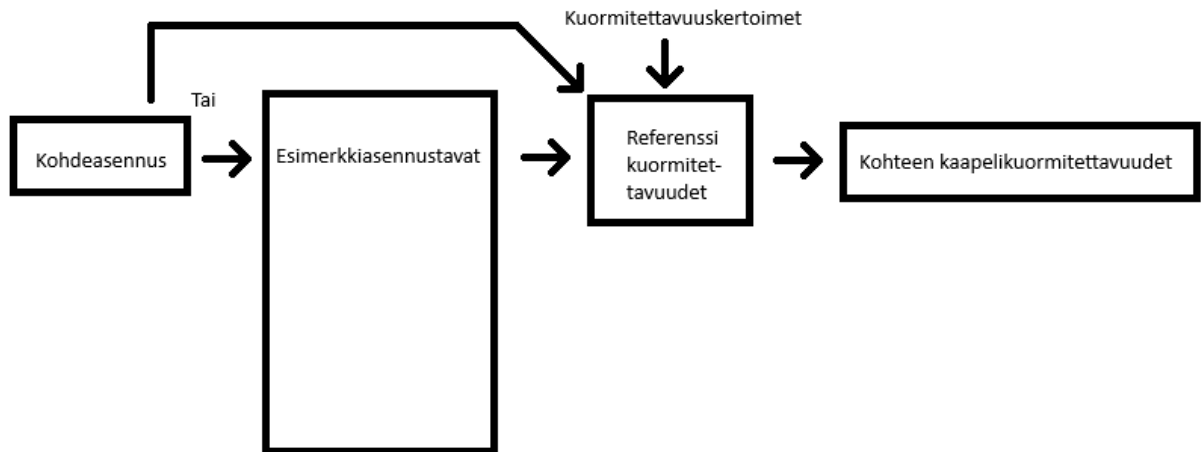
TAULUKKO 3. Standardin taulukkoon A52.3 perustuva esimerkkitaulukko. (SFS 6000-1:2022, 217–222.)

| Kohta | Kuva | Kuvaus | Referenssiasennustapa |
|-------|---|--|-----------------------|
| 1 |  | Lämpöeristettyyn seinään upotettu putki, jossa eristetyt johtimet. Putken ja seinän välissä ei lämpöeristettä. ^{a, b} | A1 |
| 2 |  | Lämpöeristettyyn seinään upotettu putki, jossa kaapeli. Putken ja seinän välissä ei lämpöeristettä. ^{a, b} | A2 |
| 3 |  | Lämpöeristettyyn seinään upotettu kaapeli. Kaapelin ja seinän välissä ei lämpöeristettä. ^{a, b} | A1 |

^a Seinän sisäpintarakenteen lämmönläpäisykerroin on suurempi kuin 10 W/m²*K

^c Pystysuoraan rajoitetussa ilmanvaihdossa asennetun piirin lämpötila fyysisesti korkeimmassa kohdassa on otettava harkintaan

Kyseisillä tiedoilla voidaan määrittellä eri johdinkokojen huippukuormitettavuus yleisimmille asennustavoille pienjännitesähköasennuksissa kuvan 1 menettelytavalla. SFS 6000-5-52 kohdan 523.8, asennusolosuhteiden muutokset asennusreitillä, mukaan asennusolosuhteiden muuttuessa on kuormitettavuudet määritettävä hankalimpien olosuhteiden mukaisesti (2022, 209.)



KUVA 1. Kohteen johdinkuormitettavuuksien määrittäminen käyttäen SFS 6000-5-52 ohjeistusliitettä 52B sekä taulukkoa A.52.3.

4.1 Ohjeistavan liitteen kuormitettavuuskorjauskertoimet

Jos asennusolosuhteet poikkeavat esimerkkiasennustavasta tai referenssiolosuhteista, on standardissa SFS 6000-5-52:2022 esitetty yleisiin poikkeuksiin referenssiarvoja kertovia korjauskertoimia sivuilla 241–248, joista ilman ja maan lämpötila sekä maan lämpöresistiivisyys on tuotu esimerkiksi kappaleissa 4.1.1 ja 4.1.2.

Kuormitettavuus asennustavalle korjauskertoimien kanssa voidaan määrittää kaavalla 1.

$$I_z = I_t * \prod c_i$$

KAAVA 1

I_z = todellinen kuormitettavuus (A)

I_t = referenssikuormitettavuus (A)

$\prod c_i$ = kuormitettavuuskertoimien tulo

(SFS 6000-5-52:2022, 260.)

4.1.1 Ympäristön lämpötila

Jos piiriä ympäröivän maan tai ilman lämpötila poikkeaa referenssistä, käytetään korjauskertoimia taulukoiden 4 ja 5 mukaisesti. (SFS 6000-1:2022, 223.)

TAULUKKO 4. Standardin taulukkoon B52.14 perustuva esimerkki vapaasti ilmassa olevien kaapelien lämpötilakorjauskerrointaulukosta. (SFS 6000-1:2022, 241.)

| Ympäristön lämpötila °C | PVC-eristeinen | PE-X tai EPR-eristeinen | PVC päällystetty mineraalieristetty tai mineraalieristetty (kosketeltavissa) ^a | Mineraalieristetty (ei kosketeltavissa) ^a |
|-------------------------|----------------|-------------------------|---|--|
| 10 | 1,22 | 1,15 | 1,26 | 1,14 |
| 15 | 1,17 | 1,12 | 1,2 | 1,11 |
| 20 | 1,12 | 1,08 | 1,14 | 1,07 |
| 25 | 1,06 | 1,04 | 1,07 | 1,04 |
| 30 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 35 | 0,94 | 0,96 | 0,93 | 0,96 |
| 40 | 0,87 | 0,91 | 0,85 | 0,92 |
| 45 | 0,79 | 0,87 | 0,78 | 0,88 |

^a Korkeammissa ympäristön lämpötiloissa sovelletaan johdinvalmistajan ohjeistusta

TAULUKKO 5. Standardin taulukkoon B52.15 perustuva esimerkki suoraan maassa tai asennusputkessa olevien kaapelien lämpötilakorjauskerrointaulukosta. (SFS 6000-5-52:2022, 241.)

| Maan lämpötila °C | PVC | PEX ja EPR |
|-------------------|------|------------|
| 10 | 1,1 | 1,07 |
| 15 | 1,05 | 1,04 |
| 20 | 1 | 1 |
| 25 | 0,95 | 0,96 |
| 30 | 0,89 | 0,93 |
| 35 | 0,84 | 0,89 |
| 40 | 0,77 | 0,85 |
| 45 | 0,71 | 0,8 |

4.1.2 Maan lämpöresistiivisyys

Jos piiriä ympäröivän maan lämpöresistiivisyys poikkeaa referenssistä, käytetään kuormitettavuuskertoimia taulukon 6 mukaisesti. (SFS 6000-5-52:2022, 242.)

TAULUKKO 6. Standardin taulukkoon B52.16 perustuva esimerkkitaulukko suoraan maahan tai maassa olevaan putkeen asennetun piirin kuormituskertoimista. (SFS 6000-1:2022, 241.)

| Lämpöresistiivisyys K*m/W | 0,5 | 0,7 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|-----|------|
| Putkeen asennettu piiri | 1,28 | 1,2 | 1,18 | 1,1 | 1,05 | 1 | 0,96 |
| Suoraan maahan asennettu piiri | 1,88 | 1,62 | 1,5 | 1,28 | 1,12 | 1 | 0,9 |

HUOM. Kertoimien tarkkuus on $\pm 5\%$

5 JOHTIMIEN YLIVIRTASUOJAUKSEN MÄÄRITTÄMINEN

Lainsäädäntöön pohjautuva standardi SFS 6000-4-43 kuvaa äärijohtimien ylivirtasuojausta ja se esittää kohdassa 430.3 vaatimuksen, jonka mukaan piirissä tapahtuva ylivirta joka voi aiheuttaa termisiä tai mekaanisia vahinkoja tulee pystyä poiskytkemään suojalaitteella tai -laitteilla ennen vahingoittavia vaikutuksia eristyksiin, liitoksiin, jatkoksiin tai ympäröiviin materiaaleihin. Poiskytkentää ei kuitenkaan vaadita 436, 433.3 tai 434.3 mukaisissa tilanteissa, kuten esimerkiksi SFS 6000-8-801 mukaisissa maahan tai ilmajohdoin asennetuissa jakeluverkkoasennuksissa, joissa ylikuormitus ei aiheuta vaaraa.

Kohdan 431.1.1 mukaan kaikki äärijohtimet on suojattava ylivirran vaikutuksilta ylivirtasuojauksella lukuun ottamatta 431.1.2 mukaisia TT- ja TN-järjestelmien tilanteita.

Ylivirran eli oikosulkuvirran ja/tai ylikuormitusvirran vaikutuksilta täytyy suojautua käyttämällä yhtä tai useampaa syötön automaattista poiskytkevää laitetta, lukuun ottamatta tilanteita, jossa virta on rajoitettu vaarattoman pieneksi sekä 433.3 ja 434.3 mukaisia tilanteita.

(SFS-600-1:2022, 117.)

SFS 6000-4-43 kohdan 433.2 mukaan ylikuormitussuoja on sijoitettava kohtiin, joissa kuormitettavuus pienenee aiempaan verrattuna, 433.2.2 ja 433.3 mukaisin poikkeuksin, ja kohdan 434.2 mukaan oikosulkusuoja on sijoitettava kohtiin, joissa johtimen poikkipinta-ala pienenee tai muuten piirin ominaisuudet muuttuvat, 434.2.1–2 ja 434.3 mukaisin poikkeuksin. (SFS-600-1:2022, 120, 122.)

5.1 Ylikuormitussuojaus

Johtimen ylikuormitussuojauksen tulee täyttää seuraavien, standardin SFS 6000-4-43 kohdan 433.1 mukaisten kaavojen 2 ja 3 ehdot:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

KAAVA 2

$$I_2 \leq 1.45 * I_Z$$

KAAVA 3

I_B = piirin suunniteltu nimellisvirta (A)

I_n = suojalaitteen nimellisvirta (A)

I_Z = johtimen jatkuva kuormitettavuus (A)

I_2 = virta, joka varmistaa suojalaitteen toiminnan määritellyssä toiminta-ajassa (A)

(SFS-600-1:2022, 119–120.)

Virta, joka varmistaa suojalaitteen toiminnan määritellyssä toiminta-ajassa saadaan laitevalmistajalta tai se on annettu laitestandardeissa. SFS-EN 60 898 mukaisten B-, C- ja D-tyyppisten johdonsuojakatkaisijoiden terminen toimintavirta on D1-2022 käsikirjan mukaan 1.45 kertaa suojalaitteen nimellisvirran. Kuormitettavuuden kerroin kumoutuu, jolloin kaavasta 3 tulee

$$I_2 \leq I_Z$$

KAAVA 4

Saman standardin K-tyypin johdonsuojakatkaisijan terminen toimintavirta on 1.2 kertaa nimellisvirran, jolloin kaavasta 3 tulee

$$I_2 \leq 1.16 * I_Z$$

KAAVA 5

Samoin, on gG-tyypin sulakkeille määritetty eri nimellisvirran alueilla termisiksi toimintavirroiksi nimellisvirran kertoimet

- $I_n \leq 4 A, K = 2.1$
- $4 A \leq I_n \leq 16 A, K = 1.9$
- $I_n \geq 16 A, K = 1.6$

(D1-2022, 133–134.)

5.2 Piirin oikosulkuominaisuudet

Johtimin toteutettujen piirien oikosulkusuojauksen on täytettävä standardin SFS 6000-4-43 kohdan 434.5.1–2 mukaiset vaatimukset, joiden mukaan suojalaitteiden on kyettävä katkaisemaan piirissä esiintyvä huippuoikosulkuvirta sekä oikosulkuvirta missä tahansa piirin kohdassa ennen kuin johtimet saavuttavat suurimman sallitun rajalämpötilan.

Oikosulkusuojien valinnassa vaatimusten täyttämiseksi on otettava huomioon piirin suurin oikosulkuvirta ja vähimmäisoikosulkuvirta sekä suojauksen toimintaajat.

(SFS-600-1:2022, 123–124, 278.)

5.2.1 Suurimman oikosulkuvirran laskenta

Prospektiivinen oikosulkuvirta eli suurin tehollinen oikosulkuvirta tapahtuu ennen oikosulkuvirtaa rajoittavia komponentteja merkityksettömän impedanssin omaavalla oikosulkevalla väliaineella, mahdollisimman lähellä keskuksen syöttöliittimiä. (D1-2022, 264.)

Oikosulkuvirtojen laskemiseen voidaan käyttää IEC-60909 standardin mukaisia menetelmiä (D1-2022, 264.) joita on esitetty ABB:n teknisiä tietoja ja taulukoita osa 7:ssä.

Kaukana generaattoreista tai laitteista, jotka voi aiheuttaa vastakomponentteja, prospektiivinen oikosulkuvirta voidaan laskea Thevenin menetelmällä kolmen vaiheen välisenä oikosulkuna kaavalla 6.

$$I'_{k3} = \frac{c \cdot U_{l-l}}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

KAAVA 6

c = taulukon 7 mukainen jännitekerroin

U_{l-l} = piirin vaiheiden välinen jännite (V)

Z = oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi (Ω)

missä oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi koostuu oikosulkuvirtaa rajoittavista impedansseista, joihin kuuluu vähintään syöttävän verkon oikosulkuimpedanssi.

$$Z = z_v + \sum z_i$$

KAAVA 7

z = johtimien/kaapelin ominaisimpedanssi (Ω)

$\sum z_i$ = muiden oikosulkuvirtaa rajoittavien impedanssien summa (Ω)

(ABB Strömberg TTT 7, 2.)

TAULUKKO 7. Standardiin IEC 60909 perustuva jännitekerroin (ABB Strömberg TTT 7, 2.)

| Nimellisjännite | Huippuoikosulkuvirta | Vähimmäisoikosulkuvirta |
|--------------------|----------------------|-------------------------|
| 100 V - 1000 V | | |
| a) 230 V / 400 V | 1.00 | 0.95 |
| b) muut jännitteet | 1.05 | 1.00 |
| 1 kV - 35 kV | 1.10 | 1.00 |
| 35 kV - 230 kV | 1.10 | 1.00 |

5.2.2 Vähimmäisoikosulkuvirran laskenta

Pienin vaiheiden välinen oikosulkuvirta tapahtuu suojattavan piirin syötöstä kauimmassa pisteessä, jolloin oikosulkuvirtaa rajoittaa oikosulkupiirin impedanssia sisältävien komponenttien ominaisarvot. (D1-2022, 264.)

Kaukana laitteistosta, joka voi aiheuttaa verkkoon vastakomponentteja, vähimmäisoikosulkuvirta voidaan laskea kahden vaiheen välisenä oikosulkuna käyttäen kaavaa 8

$$I_{kmin} = \frac{c * U_{l-l}}{2 * Z}$$

KAAVA 8

c = Taulukon 7 mukainen jännitekerroin

U_{l-l} = Piirin vaiheiden välinen jännite (V)

Z = Oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi (Ω)

missä oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi koostuu rajoittavista impedansseista, joihin kuuluu vähintään johtimien impedanssit sekä syöttävän verkon oikosulkuimpedanssi.

$$Z = z_v + (l * (2 * z) + \sum z_i)$$

KAAVA 9

l = johtimien/kaapelin pituus (m)

z_v = syöttävän verkon oikosulkuimpedanssi (Ω)

z = johtimien/kaapelin ominaisimpedanssi (Ω)

$\sum z_i$ = muiden oikosulkuvirtaa rajoittavien impedanssien summa (Ω)

(ABB Strömberg TTT 7, 2; D1-2022 91.)

Piirin vähimmäisoikosulkuvirtaa käytetään yhdessä standardin mukaisessa oikosulkusuojan toiminta-ajan laskennassa tai sitä voidaan käyttää yhdessä D1-2022 käsikirjan 0.4 ja 5 sekunnin valmiiksi lasketuilla toiminta-ajoilla, kunhan taulukon 8 ehdot täyttyvät. (SFS-600-1:2022, 124; D1-2022, 88–89, 139.)

5.2.3 Vaatimus oikosulkusuojan vähimmäistoiminta-ajalle kosketusjännitesuojauksessa

Oikosulkusuojaukselle on asetettu standardissa SFS 6000-4 osissa 41 ja 43 suurimmat sallitut toiminta-ajat, jotka perustuvat henkilösuojaukseen ja suojaukseen lämmön vaikutuksilta.

Kun suojattava piiri syöttää alle 63 A pistorasiaryhmää tai alle 32 A kiinteää kuormaa, oikosulussa vaiheen ja maadoitetun osan tai maapotentiaalin välillä

automaattisen poiskytkennän tulee tapahtua vaihtovirtakäytössä enintään taulukon X mukaisessa ajassa.

TAULUKKO 8 Standardin taulukkoon 41.1 perustuvat suurimmat sallitut toimintaajat. (SFS 6000-1:2022, 85.)

| Järjestelmä | 50 V < U < 120 | 120 V < U < 230 | 230 V < U < 400 | U > 400 V |
|-------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------|
| TN | 0.8 s | 0.4 s | 0.2 s | 0.1 s |
| TT | 0.3 s | 0.2 s | 0.07 s | 0.04 s |

Tilanteissa, jossa suojattava piiri syöttää yli aiemmin mainittujen kuormatyyppien nimellisvirran, voidaan poiskytkentäaikana käyttää enintään

- 5 s TN-järjestelmässä
- 1 s TT-järjestelmässä

(SFS-600-1:2022, 85)

5.2.4 Vaatimus oikosulkusuojan vähimmäistoiminta-ajalle termisessä suojauksessa

Jotta johtimen lämpörasitus rajoittuisi, oikosulkuvirtojen pisin sallittu aika eri johtimissa voidaan määrittää standardissa esitetyllä kaavalla 10.

$$t = \left(k * \frac{S}{I}\right)^2$$

KAAVA 10

t = aika, jossa johtimet saavuttavat standardin asettaman rajalämpötilan (s)

k = kerroin, joka ottaa huomioon johdinmateriaalin ominaisarvot, lämpötilakertoimen, lämmönvarauskyvyn sekä sopivat alku- ja loppulämpötilat. Kerroinarvot ovat saatavilla SFS 6000-4-43 taulukosta 43.1

S = johtimen poikkipinta-ala (mm²)

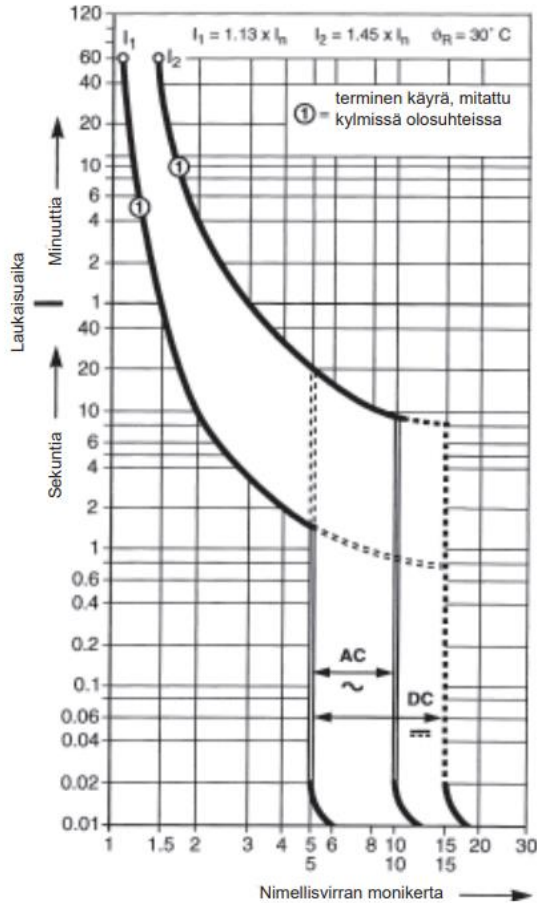
I = tehollinen oikosulkuvirta-arvo (A)

Kaava 10 ottaa huomioon taulukon 2 suurimman sallitun käyttölämpötilan, olettaen että suurin sallittu käyttölämpötila on saavutettu jo ennen oikosulkutilannetta.

(SFS-600-1:2022, 123–124).

5.3 Suojalaitteiden valinta

Piirin ominaisuuksilla sekä standardin asettamilla ylikuormitussuojan ehdoilla ja oikosulkusuojan vähimmäistoiminta-ajoilla suojalaitteet valitaan vertailemalla vika- ja ylikuormitustilanteiden virtoja sekä vähimmäistoiminta-aikoja suojalaittevalmistajien standardin mukaisiin toimintakäyriin, kuten esitetty kuvassa 2, sekä sen nimellisarvoon.



KUVA 2. Laukaisukäyrä ABB S200-sarjan C-tyyppin 0.5–63 A nimellisvirran johdonsuojakatkaisijoille (ABB Oy Pienjännitekojeet Esite, 11.).

D1-2022 käsikirjaan on koottu TN järjestelmien 120–230 V jännitealueen vastaviin 0.4- sekä 5.0 sekunnin toiminta-aikoihin perustuvia B-, C-, D-, K-, ja gG toimintakäyrien omaavien suojalaitteiden vähimmäisoikosulkuvirtoja, kuten on esitetty taulukossa 9.

TAULUKKO 9. D1-2022 käsikirjaan perustuvat automaattisen poiskytkennän varmistavat vähimmäisoikosulkuvirta-arvot. (D1-2022, 88–89.)

| | B-tyyppi | gG-tyyppi | gG-tyyppi |
|---------------|--------------|-----------|-----------|
| Nimellisvirta | 0.4 ja 5.0 s | 0.4 s | 5.0 s |
| 6 | 30 | 46.5 | 28 |
| 10 | 50 | 83 | 46.5 |
| 16 | 80 | 110 | 65 |
| 20 | 100 | 145 | 85 |

5.3.1 Oikosulkusuojan katkaisukyky

Suojalaitteen toiminnan varmistamisen lisäksi on tarkasteltava suojalaitteiden katkaisukykyä. Suojalaitteille määritellään suurin katkaisukyky, jonka ne pystyvät turvallisesti katkaisemaan ilman vahinkoa suojalaitteelle tai ympäristölle, sekä äärimmäinen katkaisukyky, jonka suojalaite pystyy katkaisemaan ilman varmuutta katkaisun jälkeiselle perustoiminnalle.

Nämä ilmoitetaan SFS-EN 60989-1 ja 60947–2 mukaisin arvoin mitoituskatkaisukyknä I_{cn} sekä äärimmäisen oikosulkuvirran katkaisukyknä I_{cu} . Arvoja on vertailtava suojattavan piirin prospektiivisen oikosulkuvirran kanssa turvallisen katkaisun varmistamiseksi oikosulkutilanteissa.

(SFS-600-1:2022, 278; D1-2022, 264.)

Oikosulkusuojalaitteen prospektiivista oikosulkuvirtaa pienempi katkaisukyky on sallittu, jos suojalaitetta edeltää standardin SFS 6000-5-53 kappaleen 536 mukaan yhteensovitettu suojalaite, jonka katkaisukyky on suurempi.

5.4 Erillinen tai Yhdistetty ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus

Standardin SFS 6000-4-43:2022 kohtien 435.1 ja 435.2 oikosulkusuojana ja ylikuormitussuojana voidaan käyttää erillisiä suojalaitteita tai yhtä suojalaitetta, niin kauan kun piirin suojauksen mukaiset lukujen 433 ja 434 ehdot täyttyvät.

(SFS-600-1:2022, 125.)

D1 käsikirjan mukaan rakennusten sähköasennuksissa käytettävien ylikuormitussuojien ominaisuudet ovat usein riittävät toimimaan samanaikaisesti ylikuormitus- ja oikosulkusuojana (2022, 248.)

6 JÄNNITTEENALENEMA

Jos syötettävän kuorman valmistaja tai muulla piirin osalla ei ole esitetty erillistä vaatimusta jännitteenallemalle, suositellaan standardissa SFS 6000-5-52 jännitteenalema otettavaksi huomioon johtojärjestelmien valinnassa käyttäen sen opastavaa liitettä 52G Jännitteenalema Sähkökäyttäjän Asennuksessa. (SFS 6000-5-52:2022, 211.)

Liitteen 52G mukaan maksimijännitteenalema piirin sisällä voi olla yleiseen jakeluverkkoon yhdistyvän piirin tapauksessa

- a) 3 % valaistuspiireille
- b) 5 % muille piireille.

Jos piiri yhdistyy erilliseen pienjännitetehtolähteeseen, kuten esimerkiksi LED-tehtolähde tai teollisuusautomaatiopiiriä syöttävä tehtolähde, suositeltu jännitteenalema on

- a) 6 % valaistuspiirille
- b) 8 % muille piireille.

(SFS 6000-5-52:2022, 253).

Jännitteenalemat eri johtimille voidaan määrittää kaavalla 11

$$u = b \left(\rho * \frac{L}{S} * \cos(\varphi) \pm L * \gamma * \sin(\varphi) \right) * I$$

KAAVA 11

b = Kerroin, jonka arvo on 1 kolmivaiheisille piireille ja 2 yksivaiheisille

ρ = Johtimen ominaisresistanssi (Ω/m)

L = Johtimen pituus (m)

S = Johtimen poikkipinta-ala (mm^2)

φ = Kuorman tehokerroin

γ = Johtimen ominaisreaktanssi (Ω/m)

I = Johtimen suunniteltu kuormitusvirta (A)

Johtimien ominaisarvot saadaan usein kaapelivalmistajilta. D1-2022 käsikirjaan on koottu likimääräisiä impedanssin ominaisarvoja 80 C° käyttölämpötilassa kuten on esitetty taulukossa 10.

TAULUKKO 10. D1-2022 käsikirjaan pohjautuvia likimääräisiä johtimien impedanssiarvoja. (D1-2022, 91.)

| Poikkipinta-ala mm^2 | Impedanssi Ω/km | |
|------------------------|------------------------|----------|
| | Kupari | Alumiini |
| 1.5 | 14.62 | |
| 2.5 | 8.77 | |
| 16 | 1.418 | 2.326 |
| 25 | 0.902 | 1.492 |

Jännitteenaleneman suositusta noudattaessa, voi tuloksen perusteella johtimien vähimmäishalkaisijaa mahdollisesti nostaa tai johtimen materiaali vaihtaa, kunnes johtimen ominaisresistanssi ja -reaktanssi ovat tarpeeksi pienet.

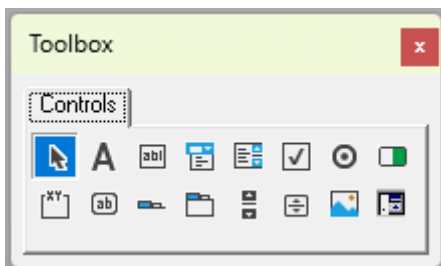
(D1-2022, 90–91, 239.)

7 STANDARDIN MUKAINEN MITOITUSLASKENTA-OHJELMA, EXCEL-PROTOTYYPPI

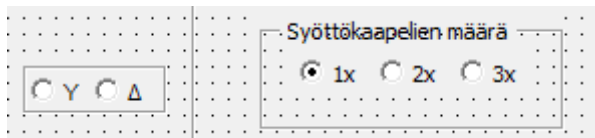
Prototyypilaskentaohjelman tavoitteena oli luoda standardin sääntöjen perusteella testiohjelma, jossa pystyisiin harjoittamaan ohjelmoinnin perusteita, tavoitteena standardin mukainen poikkipinta-alan automaattimitoitus. Ohjelmaympäristö prototyypin rakentamiseen oli Microsoft Excel pohjaan rakennettu Microsoft Visual Basic for Application (VBA) -ympäristö.

VBA käyttää ohjelmointikielenään versiota Visual Basic 6.0:sta ja sen tärkeitä ominaisuuksia ovat Excel integraatio sekä valmiit käyttöliittymän drag & drop toiminnot.

Rakentaminen alkoi yksinkertaisten sääntöjen ja käyttöliittymän luonnilla, edeten yksi mitoituksen osa kerrallaan.



KUVA 3. Kuvankaappaus VBA käyttöliittymän drag & drop toimintojen valikosta.



KUVA 4. kuvankaappaus prototyypin käyttöliittymästä.

VBA on luotu Microsoft Excel ympäristöön pystymään hyödyntää Excel-taulukkoja. Tämän avulla rakensin datakirjaston SFS-käsikirjan 600–1:2022 ja D1-2022 käsikirjan aiheiden relevantista datasta Excelin kennorakenteisiin, josta ohjelma pystyy kutsumaan ja kirjoittamaan tietoa käyttämällä Exceliin sisäänrakennettua kennojen viittausjärjestelyä.

| | P | Q | R | S | T | U | V | W |
|----|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 33 | 150 | 189 | 172 | 234 | 201 | 261 | 204 | 224 |
| 34 | 185 | 215 | 195 | 266 | 230 | 298 | 228 | 255 |
| 35 | 240 | 252 | 229 | 312 | 269 | 352 | 262 | 298 |
| 36 | 300 | 289 | 263 | 358 | 308 | 406 | 296 | 336 |
| 37 | 1-Vaihe PEX/EPR | | | | | | | |
| 38 | Cu | A1 | A2 | B1 | B2 | C | D1 | D2 |
| 39 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 1,50 | 19,00 | 18,5 | 23 | 22 | 24 | 25 | 27 |
| 41 | 2,5 | 26 | 25 | 31 | 30 | 33 | 33 | 35 |

KUVA 5. Datakennot, joissa vaaka-akselilla kirjainkoordinaatti ja pystyakselilla numerokoordinaatti.

Prototyypivaiheen lopputulos oli toiminnoiltaan ja toimivuudeltaan rajoitettu mutta teoriaan pohjautuva standardin mukainen laskentaohjelma.

8 STANDARDIN MUKAINEN MITOITUSLASKENTAOHJELMA, Puhelinsovellus

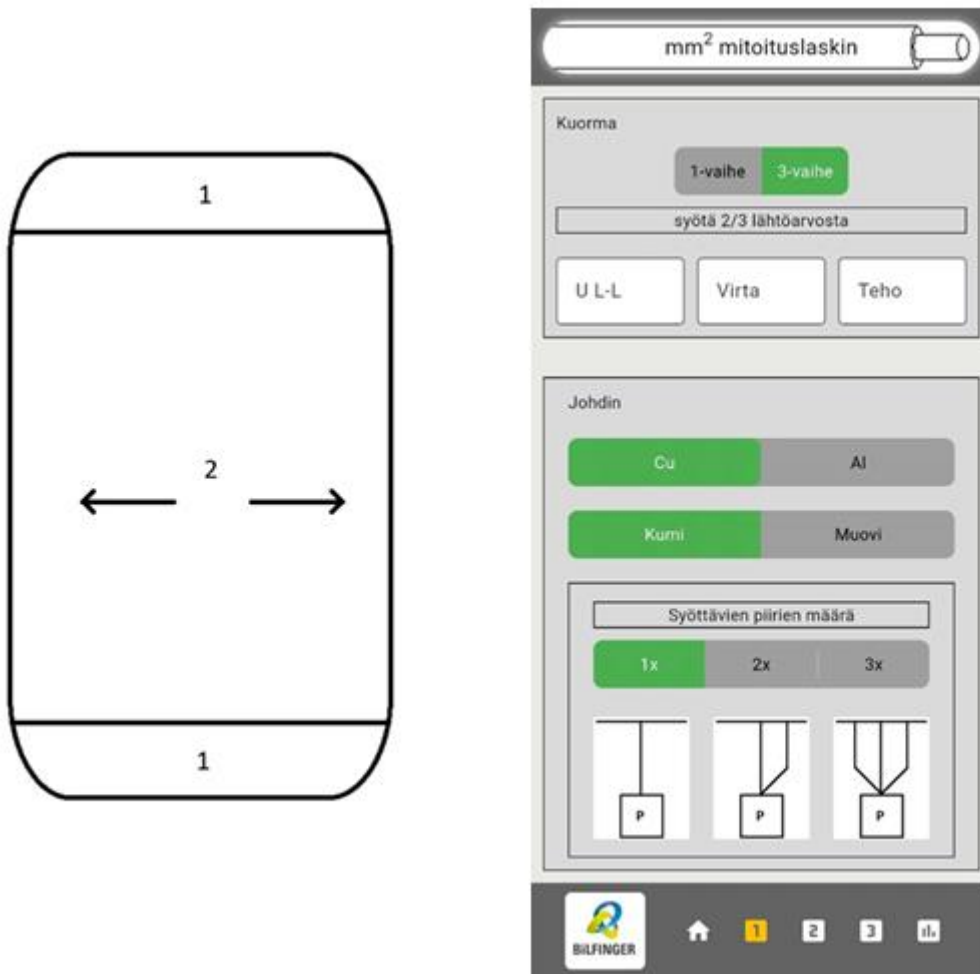
Prototyypivaiheen jälkeen alkoi puhelinsovelluksen ohjelmointiympäristön, -kehityksen ja kielen haku, tavoitteena löytää alusta, jolla rakentaa nopeasti käytettävä laskentasovellus Android ja mahdollisesti iOS -alustalle. Omana tavoitteena ohjelmalle oli mahdollisimman yksinkertainen käyttö, ilman kirjautumisia ja pitkäaikaista datan säilöntää, referenssinä peruslaskentasovellukset, jotka tulevat usein asennettuina älypuhelimien käyttöjärjestelmien mukana.

Tiedonhaun ja vertailun perusteella lopullinen valinta oli Flutter-ohjelmistokehys, jossa pystyy luomaan sovelluksia usealle alustalle. Sen kielenä toimii Dart ja ohjelmointiympäristöksi valitsin Microsoft Visual Studio Code:n.

Ohjelma tulisi olemaan laajempi kuin Excel-prototyyppi, joten ohjelmoinnissa tuli suosia koodin luomista eri tiedostoihin koodin ulkonäön ja luettavuuden säilyttämiseksi. Lisäksi puhelimen suorituskyky on rajoitetumpi, joten komentojen ja turhan datan kutsuntaa täytyi rajoittaa.

Valittu ohjelmointiympäristö sekä toimeksiantajan ohjelmistokehitysosasto mahdollisti pilvipohjaisen versiohallinnan Microsoft Azure Git-lähdekoodivarastolla.

8.1 Käyttöliittymä



KUVA 5. Käyttöliittymän alkuperäinen luonnos sekä ohjelmaan toteutunut ensimmäinen sivu.

Rakensin ohjelman käyttöliittymän kahteen kerrokseen, josta kerros 1 on päällimmäisimpänä ylä- ja alapalkkina, säilyttäen tilansa puhelinmuistissa, sekä kerros 2 joka muodostuu useasta sivusuunnassa navigoitavasta sivusta, joiden tilaa puhelinmuistissa ei säilytetä muistia säästääkseni. Muodostin navigoitavat sivut useasta eri laskentaan liittyvästä käyttäjävalinnasta, joiden tiloja ja arvoja säilytetään, luetaan ja muutetaan erillisessä tiedostossa.

Käyttöliittymän rakentamisessa tuli ottaa huomioon eri näyttöjen koot, joten käytin jokaisen sivun objektissa näytön pikselimääräiseen mittaukseen tai saatavilla olevaan tilaan perustuvaa skaalausta. Koska joissain vaihtoehdoissa on

käyttöliittymässä aina oltava valinta, valitsin lähtöarvoiksi osittain loppukäyttäjän mukaan yleisimmät valinnat sekä osittain standardin mukaan turvallista poikkipinta-alan valintaa suosivat vaihtoehdot.

8.2 Toiminta-hierarkia

Käyttäjän valintoihin perustuvan laskennan rakensin vertailemaan tuloksia kuvan 6 mukaisessa hierarkkisessa järjestyksessä. Jaoin toiminnot eri luokkiin ja luokkien sisällä metodeihin, jonka jälkeen loin päälaskentakomentoja, jotka käyvät tietyt, tarvittavat metodit lävitse.

Kuva 6 on poistettu julkisesta versiosta toimeksiantajan pyynnöstä.

KUVA 6. Puhelinsovelluksen poikkipinta-alan määrittävä toimintahierarkia

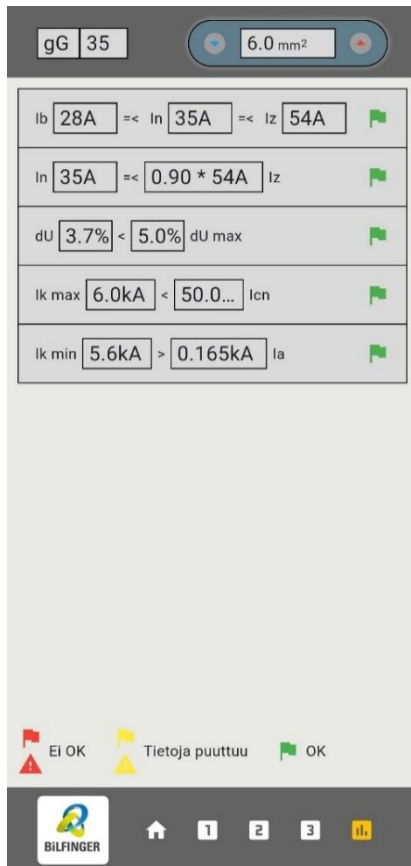
Päälaskentakomennot loin suoritettavaksi jokaisen käyttöliittymän laskentaan liittyvän käyttäjävalinnan muuttuessa, mikä mahdollisti jatkuvan muutostarkkailun käyttöliittymään.

8.3 Tietokirjastot ja välimuisti

Hyödynsin Excel-prototyypissä käyttämiäni taulukoita, jotka oli luotu standardista ja käsikirjasta. Taulukkojen muuttamisesta eri datamuotoihin löytyy useita eri työkaluja ja päädyin käyttämään .json tiedostomuotoa tietokirjastojen luontiin, jolloin taulukot pystyivät muuttamaan json muotoon Exceliin rakennetuilla työkaluilla, lisäksi tämä tekee helpoksi loppukäyttäjien muutokset tietokirjastoon standardien tai lain mahdollisesti muuttuessa.

Koska ohjelma muodostuu useasta tilaa säilömättömästä metodista, jotka suoriutuvat hetkellisesti, loin ohjelmaan tiedoston välimuistiksi, jossa määritetään suurin osa ohjelman globaaleista muuttujista ja joiden arvo säilyy läpi ohjelman eliniän. Ohjelman käynnistyessä arvoiksi asetetaan aiemmin mainitut käyttöliittymän lähtöarvot.

8.4 Ohjelman laskennalliset lopputulokset ja virhetilanteet



KUVA 7. Käyttöliittymän viimeinen sivu, eli tulossivu.

Rakensin ohjelman tekemät mitoitus- ja laskutulokset selkeällä mutta yksityiskoh-
taisella tavalla esitettynä loppukäyttäjälle, käyttämällä laskentatuloksien tarkko-
jen arvojen esittämistä taulukkomuodossa sekä vertailulogiikkaa ja siihen perus-
tuvaa merkkilippujen väritystä kuten kuvassa 8. Yhdistin vertailulogiikan päälas-
kentakomentoihin, joten lopputuloksen arvot ja liput muuttuvat jatkuvasti käyttä-
jän tehdessä muutoksia.

Koska ohjelma tulee käytettäväksi opastamattomille käyttäjille, halusin ottaa vir-
hetilanteet huomioon estäen ohjelman kaatumisen tai virheellisen mitoituksen.
Loin virhetilanteita varten erillisen toiminnon, joka estää mahdollisen virheellisen
mitoituksen näkymän loppukäyttäjältä ja ilmoittaa käyttäjälle virhetyypin. Tämä
rakentui yhdessä loppukäyttäjätestauksen kanssa, joka suoritettiin paikallisesti
toimipisteen suunnittelijoiden kanssa ohjelman kehityksen ajan.

9 TYÖN LOPPUTULOS

Tiedonhaun, prototyypin ja puhelinsovelluksen luomisen lopputuloksena oli täysin paikallisesti toimiva, matalan suorituskyvyn omaava laskentasovellus joka, käyttäen standardin suosituksia sekä D1-2022 käsikirjan ohjeistuksia, saavuttaa pienjännitealueella standardin mukaisen poikkipinta-ala mitoituksen yleisiin asennusolosuhteisiin TN-järjestelmissä ja joka laskee poikkipinta-alan joka kerta kun käyttäjä tekee muutoksia arvoihin.

Ohjelmaan liittyviä datakirjastoja on tarvittaessa helppo muokata tekstimuokkausohjelmilla ja ohjelman koodi itsessään on rakennettu kansioittain ja kommentoitu, varmistaen jatkokehityksen helppouden kolmansilta osapuolilta.

Käytettävissä olevan aikamäärän sekä standardin ja suositusten puitteissa ohjelmaan jäi rajoitteita. Ohjelma pystyy mitoittamaan johdinpoikkipinta-alat seuraavin merkittävine rajoituksineen:

1. Vain resistiivisistä kuormaa sisältävät piirit.
Aika jäi rajoittavaksi tekijäksi tehokertoimen lisäämiseksi laskentalogiikkaan. Kuitenkin puitteet tulevaisuutta varten tälle on otettu huomioon oikosulkuvirran ja muiden osien ohjelmoinnissa
2. 120 VAC – 230 VAC Pienjännitealue ja vain TN-järjestelmät.
Käytin ohjelmassa D1-2022 käsikirjan ohjeistavia vähimmäis-oikosulkuvirta-arvoja taulukoista 41.4A ja B sekä 41.5 määrittääkseni suojalaitteen laskettavalle piirille, mikä rajoittaa toiminta-ajat 0.4 tai 5 sekunnille, jotka ovat standardin mukaan hyväksyttäviä TN-järjestelmissä 120–230 VAC jännitteillä.
3. Ei kuormitettavuuskertoimia.
Aika jäi rajoittavaksi tekijäksi standardin kuormitettavuuskertoimien lisäämiseksi ohjelmaan. Puitteet kertoimille on myös rakennettu ohjelman käyttöliittymään ja komentoketjuihin.

Kävimme ohjelman tietoturvakartoituksen läpi toimeksiantajan kanssa ja koska loin ohjelman toimimaan täysin paikallisesti ilman pitkäaikaista datan säilöntää tai tiedonlähetystä, ohjelma ei luo tietoturvariskejä.

Ohjelman julkaisu toimeksiantajan hallitsemaan Google Play Store ja Apple Store ympäristöihin alkoi jo projektin alussa ja vahvistui loppuvaiheessa. Käyttäen Azure Git-lähdekoodivarastoa ja julkaisuketjua on mahdollista puskea ohjelman uusia versioita puhelinohjelmajulkaisu-ympäristöihin ja loppukäyttäjän puhelimeen. Ensimmäinen versio julkaistiin onnistuneesti opinnäytetyön kirjoitusvaiheen lopussa.

10 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli saattolämmityjärjestelmien eli resistiivisten kuormien syöttöpiirin poikkipinta-alamitoituslaskentaan puhelinsovellus. Tavoite saavutettiin mitoituksena TN-verkkoihin liitettäville syötöille, jotka käyttävät 120 VAC - 230 VAC jännitealuetta, merkittävämpänä rajoituksena ilman standardin mitoitussohjeistuksen korjauskertoimia. Pienjännitealue on kuitenkin määritetty yleensä 100 VAC –1000 VAC mihin laskunsovellus ei kykene koko alueelta luotettavasti määrittämään poikkipinta-alaa ensimmäisessä versiossaan.

Lisäksi, sovellus käyttää suojalaitteiden vähimmäisoiikosulkuvirtana D1-2022 käsikirjaan luotuja kansainvälisiin standardeihin perustuvia laskennallisia arvoja, joiden tarkoista laskentamenetelmistä ei ole kirjassa mainintaa ja samoin johdinten ominaisarvot on sovellettu käsikirjan likimääräisistä arvoista, joten sovelluksen tekemä mitoitus ei ole varmuudella teoreettisin vähimmäispoikkipinta-ala.

Ohjelman rajoitukset on otettu huomioon koodin ja käyttöliittymän sisällä ja lisäkehitys tulee jatkumaan opinnäytetyön ulkopuolella jo valmiiksi luotujen kehitystyökalujen ja julkaisureittien avulla.

LÄHTEET

ABB. Pienjännitekojeet Esite, System Pro M Compact, Johdonsuojakatkaisijat S 200, Vikavirtasuojakytkimet F 200, Henkilösuojat FS 200. ABB Oy. Luettavissa: <https://library.e.abb.com/pub-lic/6b2e3b61cdc65b49c2256e7e0026aeb4/1SCC400004C1801.pdf> Luettu 6.3.2026

ABB Strömberg. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luettavissa: <https://heikkilaakso.com/opetus/abb/> Luettu 2.3.2026

SESKO ry. 2022. SFS 600-1:2022. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Pienjännitesähköasennukset. 2. painos. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Luettavissa: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2016/1135> Luettu 28.1.2026

Sähköturvallisuuslaki 1434/2016. Luettavissa: <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2016/1434> Luettu 16.2.2026

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2022. D1-2022 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 30. painos. Sähköinfo Oy. Espoo

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. 3.1.2023. Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit (Luettelo S10-2023). Luettavissa: <https://tukes.fi/teollisuus/standardit> Luettu 28.1.2026

LIITTEET

Liite 1 Kuormitettavuustaulukon esimerkki

TAULUKKO 1. Standardiin pohjautu kuormitettavuustaulukko ampeereina PVC-eristeisille kupari- tai alumiinijohtimille kahdella kuormitetulla johtimella (SFS 6000-5-52:2022, 229.).

| Cu | A1 | A2 | B1 | B2 | C | D1 | D2 |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1,50 | 14,50 | 14 | 17,5 | 16,5 | 19,5 | 22 | 22 |
| 2,5 | 19,5 | 18,5 | 24 | 23 | 27 | 28 | 28 |
| 4 | 26 | 25 | 32 | 30 | 34 | 37 | 38 |
| 6 | 34 | 33 | 41 | 38 | 46 | 48 | 48 |
| 10 | 41 | 40 | 48 | 46 | 63 | 64 | 63 |
| 16 | 56 | 54 | 63 | 60 | 84 | 83 | 84 |
| 25 | 69 | 67 | 79 | 74 | 97 | 99 | 97 |
| 35 | 99 | 92 | 125 | 111 | 138 | 119 | 132 |
| 50 | 120 | 113 | 151 | 168 | 163 | 143 | 160 |
| 70 | 151 | 139 | 192 | 201 | 201 | 173 | 192 |
| 95 | 182 | 167 | 232 | 232 | 258 | 204 | 230 |
| 120 | 210 | 192 | 269 | 269 | 301 | 231 | 261 |
| 150 | 243 | 219 | 302 | 302 | 344 | 261 | 293 |
| 185 | 270 | 240 | 338 | 338 | 394 | 294 | 321 |
| 240 | 303 | 271 | 374 | 374 | 461 | 336 | 382 |
| 300 | 337 | 291 | 458 | 394 | 530 | 379 | 427 |
| Al | A1 | A2 | B1 | B2 | C | D1 | D2 |
| 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 2,50 | 15,00 | 14,5 | 18,5 | 17,5 | 21 | 22 | |
| 4,00 | 20,00 | 19,5 | 25 | 24 | 28 | 29 | |
| 6 | 26 | 25 | 32 | 30 | 36 | 36 | |
| 10 | 36 | 33 | 44 | 41 | 49 | 47 | |
| 16 | 48 | 44 | 60 | 54 | 66 | 61 | 63 |
| 25 | 63 | 58 | 79 | 71 | 83 | 77 | 82 |
| 35 | 77 | 71 | 97 | 86 | 103 | 93 | 98 |
| 50 | 93 | 86 | 118 | 104 | 125 | 109 | 117 |
| 70 | 118 | 108 | 150 | 131 | 160 | 135 | 145 |
| 95 | 142 | 130 | 181 | 157 | 195 | 159 | 173 |
| 120 | 164 | 150 | 210 | 181 | 226 | 180 | 200 |
| 150 | 189 | 172 | 234 | 201 | 261 | 204 | 224 |
| 185 | 215 | 195 | 266 | 230 | 298 | 228 | 255 |
| 240 | 252 | 229 | 312 | 269 | 352 | 262 | 298 |
| 300 | 289 | 263 | 358 | 308 | 406 | 296 | 336 |