



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PIENJÄNNITESÄHKÖASEN- NUSTEN MITOITUSTYÖ- KALU

TEKIJÄ: Antti Heikkinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Antti Heikkinen	
Työn nimi Pienjännitesähköasennusten mitoitus työkalu	
Päiväys 18.11.2018	Sivumäärä/Liitteet 48/13
Ohjaaja(t) Heikki Laininen, Jukka Kinnunen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Lieke Suunnittelu Oy	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa toimeksiantajan käyttöön laskentaohjelma pienjännitteisten sähköasennusten suojausten ja kaapeleiden mitoittamistyötä ja mitoitusvaatimusten oikeellisuuden tarkistamista varten, käyttäen yksinkertaisia ohjelmointitapoja.</p> <p>Opinnäytetyössä perehdyttiin pienjännitesähköasennuksille standardissa asetettuihin mitoitusvaatimuksiin, suojausvaatimuksiin, sekä mitoitusvaatimukseen vaikuttaviin tekijöihin. Laskentaohjelman toteutusta varten opinnäytetyössä perehdyttiin myös ohjelmistotuotannon perusteisiin, kuten mm. vaihejakomalleihin. Perehtymistyön perusteella toteutettiin toimeksiantajan vaatimukset täyttävä laskentaohjelma pienjännitteisten sähköasennusten mitoittamistyöhön ja mitoitusvaatimusten oikeellisuuden tarkistamiseen käyttäen. Lisäksi opinnäytetyössä perehdyttiin ja tehtiin vertailua markkinoilla oleville laskentaohjelmille ja niiden ominaisuuksille.</p> <p>Työn tuloksena saadaan toimeksiantajan käyttöön toimintatapa, joka ei vaadi suunnittelijalta mitoitusvaatimusten määrittämistä käsin laskemalla, eikä aiheuta kustannuksia toimeksiantajalle. Tämä nopeuttaa ja helpottaa sähkösuunnittelijan työtä mitoittamisessa, sekä vähentää ajallisia kustannuksia.</p>	

Avainsanat

Pienjännitteiset sähköasennukset, suojausenvitoittaminen, kaapelin mitoittaminen, laskentaohjelma

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Antti Heikkinen			
Title of Thesis Tool for Dimensioning Low Voltage Installations			
Date	21 November 2018	Pages/Appendices	47/12
Supervisor(s) Mr Heikki Laininen, Senior Lecturer and Mr Jukka Kinnunen, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners Lieke Suunnittelu Ltd			
<p>Abstract</p> <p>The objective of this thesis was to develop a computing program for the sizing of cables and defining protective devices in low voltage electrical installations.</p> <p>The thesis investigated electrical engineering, software engineering and implementation of the computing program. In addition, different design programs and their features were compared. In the electrical engineering section factors affecting the dimensioning were investigated, such as voltage drop, short circuit current, selectivity, correction factors and over voltage protection. In the software engineering section were the phases of software engineering such as phasing models investigated. In the implementation part, the planning, implementation and testing of the calculation program was carried out. This section describes the steps and results of the work. The program was made by simple programming method using VBA.</p> <p>As a result of this thesis, software was obtained to ease and speed up the designer's work in the sizing of cables and defining protective devices.</p>			
<p>Keywords Cable sizing, computing software, electrical engineering, cable protection, programming</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	PIENJÄNNITESÄHKÖASENNUSTEN MITOITUS.....	8
2.1	Mitoitusarvot	8
2.1.1	Asuinrakennuksen huipputehon arviointi	9
2.1.2	Muiden rakennusten tehon tarpeen arviointi	11
2.2	Johtimien ylikuormitussuojaus	14
2.2.1	Ylikuormitussuojaus johdonsuojakatkaisijalla.....	15
2.2.2	Ylikuormitussuojaus sulakkeella	16
2.2.3	Ylikuormitussuojauksen pois jättäminen	18
2.2.4	Rinnankytkettyjen johtimien ylikuormitussuojaus.....	19
2.3	Johdon poikkipinta ja kuormitettavuus	20
2.3.1	Johdon jatkuva kuormitettavuus	20
2.3.2	Asennustavat	21
2.3.3	Korjauskertoimet.....	21
2.3.4	Nollajohtimen mitoittaminen	24
2.4	Oikosulkusuojaus	24
2.4.1	Oikosulusta johtimeen kohdistuvan lämpörasituksen tarkistaminen	25
2.4.2	Sulakkeiden ominaisuuksia	26
2.4.3	Johdonsuojakatkaisijan ominaisuudet oikosulkusuojuuksessa	26
2.4.4	Oikosulkuvirta ja sen määrittäminen.....	27
2.4.5	Oikosulkusuojaus rinnankytketyillä johtimilla	27
2.4.6	Suojauksen toteutuminen liittymisjohdolle	27
2.5	Vikasuojaus	29
2.5.1	Suojajohdin ja sen mitoittaminen	29
2.5.2	Syötön nopean poiskytkennän mitoitus.....	30
2.6	Suojalaitteiden selektiivisyys	31
2.6.1	Aikaselektiivisyys.....	31
2.6.2	Virtaselektiivisyys	31
2.6.3	Selektiivisyyden toteaminen	32
2.7	Jännitteen alenema.....	32
2.8	Ylijännitesuojauksen tarve	33

3	OHJELMISTOTUOTANTO.....	36
3.1	Vaihejakomalli	36
3.1.1	Esiselvitys ja vaatimukset	37
3.1.2	Määrittely	37
3.1.3	Suunnittelu	37
3.1.4	Toteutus.....	37
3.1.5	Testaus	37
3.1.6	Käyttöönotto ja ylläpito	38
4	VBA (VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS) LYHYESTI	39
5	PIENJÄNNITESÄHKÖASENNUSTEN MITOITUSTYÖKALU	40
5.1	Määrittely ja Esiselvitys	40
5.2	Suunnittelu ja toteutus.....	41
5.3	Testaus ja Prototyyppi.....	43
5.4	Ensimmäinen käyttöönotettava versio V1.0.....	44
5.5	Käyttöohje ja opastus.....	44
5.5.1	Käyttöönotto.....	44
5.5.2	Ohjelman ja käsin laskun vertailua	45
6	MITOITUSOHJELMIEN VERTAILUA.....	47
6.1	Febdok.....	47
6.2	CADS Electric.....	47
6.3	Ols-consult	47
7	OPINNÄYTETYÖN MERKITYS.....	48
8	LÄHDELUETTELO.....	49
	LIITE 1 JOHDON SUOJAUS ERI TILANTEISSA	50
	LIITE 2 KÄYTTÖOHJE	53

EEI- indeksiä= Energiatehokkuusindeksi

SPF= Ominais sähköteho

SFS 6000= Standardi pienjännitesähköasennuksista

CENELEC= Sähköalan eurooppalainen standardijärjestö

ST-kortisto= Sähkötietokortisto

VBA= Visual Basic for Applications

1 JOHDANTO

Sähkösuunnittelussa olennaisena osana on sähköjohdon ja suojausten mitoittaminen. Mitoituksella perinteisesti tarkoitetaan lähinnä johdon mitoittamista kuormitettavuuden kannalta, sekä suojausten mitoittamista ylikuormitusten ja oikosulkujen vaikutuksilta. Mitoitukseen sisältyy myös ylivirtasuojien ja johdon valitseminen siten, että vaatimukset vikasuojauksen osalta toteutuvat. (Esa Tiainen, 2015) Syksyllä 2017 uudistuneessa standardissa SFS6000 lisätään myös ylijännitesuojauksen tarvetta, joka osaltaan vaikuttaa myös keskusten ylijännitesuojauksen mitoittamiseen.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä toimeksiantajan vaatimusten mukainen sähkökaapeleiden ja suojausten mitoittamiseen ja mitoitus- oikeellisuuden tarkastamiseen soveltuva mitoitus- työkalu käyttäen yksinkertaisia ohjelmointitapoja. Työn toimeksiantajana toimii Lieke Suunnittelu Oy. Toimeksiantajalla on mitoitusta varten tällä hetkellä käytössä yksinkertainen Excel- taulukkomalli, joka ei vastaa tämän hetkisiä vaatimuksia.

Markkinoilta löytyy mitoitusta varten valmiita sovelluksia, joiden hankinta- ja ylläpitokustannukset ovat kuitenkin pienille ja keskikokoisille suunnittelutoimistoille kohtuuttoman suuret sovelluksen käyttömäärään nähden. Tämän opinnäytetyön avulla toimeksiantaja saa käyttöönsä toimintatavan, joka ei vaadi suunnittelijalta mitoitus- määrittämistä käsin laskemalla, eikä aiheuta kustannuksia toimeksiantajalle.

2 PIENJÄNNITESÄHKÖASENNUSTEN MITOITUS

Yksi keskeisimpiä asioita sähkösuunnittelussa on johdon mitoittaminen siten, että johdon mitoitus täyttää tekniset minimivaatimukset, sekä on taloudellisesti mahdollisimman optimaalinen. Myös suo- jalaitteiden suunnittelun on täytettävä sähköturvallisuuslain mukaiset ehdot, jotka määrittellään Säh- köturvallisuuslaissa siten, ettei sähkölaitteisto saa aiheuta hengenvaaraa eikä palovaaraa. (Sähkötur- vallisuuslaki, §5). Standardisarjassa SFS6000 edellytetään, että suojaus- ehtojen toteutuminen on var- mistettava suunnitteluvaiheessa ja että johtimien poikkipinnat ja suojalaitteet valitaan siten, että suoja- ehdot toteutuvat. (Esa Tiainen, 2015).

Tässä opinnäytetyössä tarkkaillaan sähköteknistä mitoittamista pienjännitesähköasennuksissa lä- hinnä kiinteistöjen ja rakennusten sisäisen sähkönjakeluverkon osalta.

2.1 Mitoitusarvot

Lähtökohtana oikeanlaisten pienjännitteisten johtojen ja niiden suojalaitteiden valinnassa on mitoitus arvojen selvittäminen. Jotta asennus pystytään suunnitella luotettavasti sallittujen arvojen rajoissa, ottaen huomioon myös taloudelliset seikat, on määriteltävä sitä koskeva suurin kuormitettavuus. (Esa Tiainen, 2015) (SFS-Käsikirja 6000, 2012,7)

Rakennuksen sähköverkon ja liittymän oikeanlaisella mitoittamisella vältetään alimitoittamisesta syn- tyvät liittymää rajoittavat tekijät ja ylimitoituksesta aiheutuvat ylimääräiset kustannukset. Suunnitte- luvaiheessa sähköverkon ja liittymän mitoittamisessa on huomioitava myös tulevaisuuden teho tar- peet sopivissa rajoissa. (ST-kortisto ST 13.31, 2015)

Mitoittamisessa olennaista on tuntee kohde, johon sähköverkon ja liittymän mitoitus- tehdään. Ra- kennuksen käyttötarkoituksen lisäksi on liittymän mitoitus- huomioitava myös eri järjestelmien ja niiden laitteiden valinnat. ST- kortiston kortissa ST 13.31 on jaettu rakennustyyppien mukainen te- hon mitoitus asuinrakennuksiin ja muihin rakennuksiin.

2.1.1 Asuinrakennuksen huipputehon arviointi

Asuinrakennuksen huipputehon määrittelemisessä voidaan käyttää menetelmää, jossa lasketaan yksittäisten huoneistojen huipputehot yhteen ja kerrotaan sopivalla tasauskertoimella. Näin saadaan huomioitua kuormitusten eriaikaisuus, jolloin mitoitusarvo ei kasva turhan suureksi.

Huoneen huipputehoa määriteltäessä on huomioitava huipputehon muodostuminen valaistuksen, huoneiston pinta-alan, peruskuorman, sähkökiukaan ei- vuorottelu osan, sähkölämmityksen ja autolämmityksen yhteiskuormituksista, aina huoneisto kohtaisesti.

Huoneiston peruskuorma on suhteellisen vakio ja sen suuruuteen vaikuttaa lineaarisesti huoneen pinta-ala. Peruskuorman P_{kk} laskemiseen voidaan käyttää kaavaa 1:

$$P_{kk} = 6kW + \frac{20 \frac{W}{m^2}}{1000} * A_h, \text{ jossa} \quad (1)$$

A_h = huoneiston pinta – ala

$6kW$ = huoneistokohtainen pohjakuormitus

Myös huoneiston valaistuskuorma on riippuvainen huoneiston pinta-alaan ja sen suuruus kasvaa lineaarisesti pinta-alan kasvaessa. Valaistustehon P_{val} määrittämiseen on käytössä kaava 2:

$$P_{val} = \frac{10 \frac{W}{m^2}}{1000} * A_h, \text{ jossa} \quad (2)$$

A_h = huoneiston pinta – ala

Sähkölämpökuorma P_{SLK} lasketaan summaamalla kaikki sähkölämmityskuormat yhteen. Laskemiseen voidaan käyttää kaavaa 3:

$$P_{SLK} = P_{L\ddot{A}M} + P_{AL\ddot{A}M} + P_{LVV} + P_{KEV}, \text{ jossa} \quad (3)$$

$P_{L\ddot{A}M}$ = Sähkölämmityksen yhteenlaskettu teho

$P_{AL\ddot{A}M}$ = Autolämmityksen yhteenlaskettu teho

P_{LVV} = Lämminvesivaraajan teho

P_{KEV} = Kiukaan ei vuoroteltu teho

Kun huoneiston erilliset kuormat ovat laskettu, saadaan nämä summaamalla laskettua huoneiston huippukuormitus, eli tehon tarve.

Huoneiston huipputehon P_{hmax} laskentaan voidaan käyttää kaavaa 4:

$$P_{hmax} = P_{kk} + P_{val} + P_{SLK}, \text{ jossa} \quad (4)$$

P_{val} = Peruskuorma

$P_{AL\ddot{A}M}$ = Valaistusteho

P_{SLK} = Sähkölämpökuorma

Huoneiston huipputehon määrittämiseksi voidaan suunnitteluvaiheessa arvioida sähkölaitteiden käyttöaikasuhte. Esimerkiksi jos huoneiston sähkölaitteen käyttö on vähäistä, sen merkitys huipputehon laskennassa ei ole oleellinen. Käyttöaikasuhteen avulla suunnittelussa määritellään huoneisto sisäinen samanaikaisuuskerroin aina tapauskohtaisesti. Kaavassa 5 on esitetty laskentatapa, kun laskennassa otetaan huomioon samanaikaisuuskerroin:

$$P_{hmax} = (P_{kk} \times k_1) + (P_{val} \times k_2) + (P_{SLK} \times k_3), \text{ jossa} \quad (5)$$

$P_{val} = \text{Peruskuorma}$

$P_{ALÄM} = \text{Valaistusteho}$

$P_{SLK} = \text{Sähkölämpökuorma}$

$k_1 = \text{kojekuorman samanaikaisuuskerroin}$

$k_2 = \text{sähkölämpökuorman samanaikaisuuskerroin}$

$k_3 = \text{valaistuskuorman samanaikaisuuskerroin}$

Kun mitoitettavana on useita huoneistoja käsittävä kiinteistö, sen tehon tarpeen laskennassa huomioidaan asuntojen keskimääräinen tehon tarve. Keskimääräinen tehon tarve kerrotaan huoneistojen määrällä, sekä asuntojen välisellä samanaikaisuuskertoimella ja huoneistojen sisäisellä samanaikaisuuskertoimella.

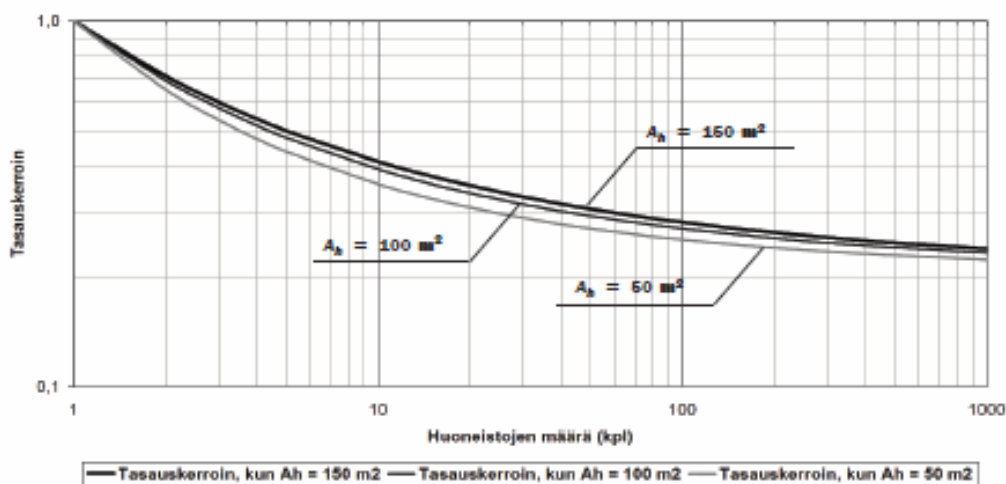
Huoneistojen välisen tasauskerroimen $C(N_h)$ määrittämiseen voidaan käyttää kaavaa 6:

$$C(N_h) = C_{MIN} + (1 - C_{MIN}) \times \left(\frac{1}{\frac{1 + \log(N_h)}{\log(A_h)}} \right)^{3,5} \text{ jossa} \quad (6)$$

$C(N_h) = \text{huoneistojen määrän perusteella laskettu tasauskerroin}$

$C_{MIN} = \text{minimitasauskerroin, jota pienemmäksi tasauskerrointa ei lasketa.}$

Kuvassa 1 on esitetty ST- kortiston kortin ST13.31 Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen ohjeen mukaiset huoneistojen määrästä riippuvat tasauskerroimet keskimääräisille huoneistopinta-aloille. (ST-kortisto ST 13.31, 2015)



Kuva 1 Tasauskerroimet huoneistojen välille keskimääräisillä huoneistopinta-aloilla. (ST-kortisto ST 13.31, 2015)

2.1.2 Muiden rakennusten tehon tarpeen arviointi

Rakennuksiin asennettavien sähkölaitteiden ja käyttötarpeiden poikkeavuudesta johtuen muiden, kuin asuinrakennusten tehon tarpeen määrittämisessä ei voida käyttää samoja laskentakaavoja, kuin asuinrakennuksille. Erilaiset ohjaustavat, valaistustarpeet, tuotantolaitteet ja muut käytöstä ja kohteesta riippuvat mitoitus tehoon vaikuttavat tekijät voivat poiketa suuresti kohteiden välillä, joten soveltuva menetelmä tällaisiin kohteisiin on mitoittaa rakennuksen sähkötehon tarve selvittämällä valaisin-, koje- ja laiteluetteloiden perusteella sähkötehon tarve kiinteistöön. (ST-kortisto ST 13.31, 2015)

Mitoitus tehon laskemiseksi on ST- kortistossa ST 13.31 annettu kaava 7, jonka avulla mitoitus teho P_M voidaan arvioida:

$$P_M = 1,3 \cdot (P_{LVIA} + P_{valaistus} + P_{laitteet} + P_{SLK} + P_{muut}), \text{jossa} \quad (7)$$

P_{LVIA} = yhteenlaskettu sähköteho, joka saadaan LVIA – kojeluettelosta

$P_{valaistus}$ =yhteenlaskettu teho. joka saadaan valaisinluettelosta

P_{SLK} = Sähkölämpökuorma

$P_{laitteet}$ = yhteenlaskettu sähköteho, joka saadaan laiteluettelosta

P_{muut} =mahdollisesti muut suuren tehon omaavat kuormat

1,3 = kerroin, joka varattu järjestelmälisäyksille ja muuhun sähkötehon tarpeen nousuun (30%)

Kun mitoitusta suoritetaan yksittäiselle laiteryhmälle, on huomioitava tasauskerroimet, kuten laiteryhmän sisäinen tasauskerroin K_1 ja samanaikaisuuskerroin K_2 . Tasauskerroin K_1 kertoo, kuinka paljon saman laiteryhmän laitteista in yhtäaikaisesti käytössä. Samanaikaisuukertoimen K_2 avulla huomioidaan K_1 :lla tasattujen tehojen käyttö huipputehon aikana. Esimerkiksi koneellisen jäädytyksen ja sähkölämmityksen yhtäaikainen huipputehon tarve on usein eriaikainen.

Muiden, kuin asuinrakennusten tehon tarpeen arvioinnissa voidaan mitoitus teho määrittää myös ominais- tai sähkötehokkuuden perusteella hankesuunnittelussa tehdyn energialuokituksen mukaisesti.

Useimmille kodin- ja toimistorakennusten sähkölaitteille on laadittu energiatehokkuusluokat. Tällaisia laitteita ovat mm. jääkaapit, pakastimet, pesukoneet, kopiokoneet, televisiot ja tietokoneet. Vastavia sähkötehokkuusluokkia on laadittu mm. ilmanvaihdolle, valaistukselle ja LVIA- laitteille. (ST-kortisto ST 13.31, 2015) (Esa Tiainen, 2015)

Ilmanvaihdon sähkötehon tarpeen mitoittamisella laiteluettelon perusteella päästään mahdollisimman tarkkaan lopputulokseen riittävän sähkötehon kannalta. Ilmanvaihtokoneissa taajuusmuuttaja-ohjatut moottorit ovat yleisimpiä ilmanvaihtokoneita ja näin ollen ilmoitettu taajuusmuuttajan teho alue on saman suuruinen, kuin sähköteho, joka otetaan verkosta. LVI- suunnitelmista saadaan toimintaselostuksen avulla selville toiminnat, kuinka ilmanvaihdon tulisi toimia. Kuitenkin ilmanvaihdon oletetaan toimivan niin, että järjestelmä ei koskaan olisi täysin pysähtynyt, eli jotkin järjestelmän laitteista olisi aina toiminnassa. Tämä johtaa tulokseen, jossa ilmanvaihtojärjestelmä tulee huomioida noin 70-80- prosenttisesti sähköliittymän mitoituksessa.

Kun ilmanvaihdossa on käytössä jokin muu, kuin taajuusmuuttajaohjattu moottori, on huomioitava myös teho häviöt järjestelmän osissa. (ST-kortisto ST 13.31, 2015)

Ilmanvaihdon mitoittamisessa sähkötehokkuuden tai ominaistehon perusteella määritellään ilmanvaihdon sähkötehokkuus. Ilmanvaihdon sähkötehokkuus kertoo koko ilmanvaihtojärjestelmän tehokkuuden suhteessa sähkönkulutukseen ja sen yksikkönä käytetään $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Ominais sähköteho SPF (Specific Fan Power) tarkoittaa järjestelmä kaikkineen puhaltimieen yhteenlaskettua sähkötehokkuutta. SPF: n laskenta suoritetaan siten, että yhteenlaskettu sähköteho kaikista laitoksen puhaltimista jaetaan suuremmalla ilmavirralla (tulo/poisto). (ST-kortisto ST 13.31, 2015)

$$SFP = P_{verkko} / q_{max}, \text{ jossa} \quad (8)$$

$SFP = \text{rakennuksen puhaltimien ominais sähköteho}$

$P_{verkko} = \text{rakennuksen kaikkien puhaltimien ottama yhteenlaskettu sähköteho, kW}$

$q_{max} = \text{rakennuksen ilmavirroista suurempi, tulo tai poisto, m}^3/\text{s}$

Kun rakennuttaja ja suunnittelijat ovat määritelleen sähkötehokkuusluokan ja ilmamäärän, voidaan ilmanvaihtopuhaltimien sähkötehon tarve laskea kaavan 9 avulla:

$$P_{ilmanvaihto} = SFP \times q_{max} \quad (9)$$

Tämä teho $P_{ilmanvaihto}$ on suuruudeltaan samaa luokkaa, kuin ilmanvaihdon mitoittava sähkötehon tarve. Kuitenkin huomioitavana on, että loistehon kompensointi on rakennuksessa hoidettu.

Valaistuksen sähkötehon tarpeen mitoittaminen valaisinluettelon perusteella tapahtuu siten, että lasketaan valaisinluettelon mukaisesti valaistuksen kokonaisteho ja kerrotaan se tasauskerroimella, joka riippuu valaisimen ohjaustavasta. (ST-kortisto ST 13.31, 2015)

Tyypillisiä tasauskerroimia eri ohjaustavoille on esiteltyä taulukossa 2

Ohjaustapa	Tasauskerroin
läsnölotunnistin ja päivänvalosäädin	0,7
päivänvalosäädin	0,8
läsnölotunnistin	0,75
huoneistokohtainen kytkin	0,9
huoneistokohtainen kytkin, erillinen ikkuna seinällä	0,9
keskitetty ohjaus päälle/pois	1

Taulukko 1 Tyypillisiä tasauskerroimia eri ohjaustavoille

Kun valaistuksen sähkötehon tarvetta määritellään sähkötehokkuuden perusteella, vastaavasti kuin ilmanvaihdollekin, käytetään mitoitus arvona taulukon 2 arvoja. Kyseenomaisessa taulukossa on esitetty EU- vaatimuksien mukaiset arvot eri rakennustyypeissä jakamalla rakennuksen kokonaisteho tiheys, sen kokonais lattiapinta-alalla.

Rakennuslaji	Valaistuksen tehoitiheys W/m ²
Autopaikoituslaitos	2,5
Oikeustalo	14
Näyttelytila, museo	9
Paloasema	12
Jatkokoulutuslaitos	13
Sairaala	12
Kirjasto	12
Toimisto (pääasiassa osastoihin jaettu)	13
Toimisto (pääasiassa avotilaa)	11
Poliisiasema	14
Postitoimisto	14
Vankila	9
Julkinen Sali	9
Asuinrakennus	11
Asuinrakennus (vain yhteiset tilat)	6
Koulu	8
Urheilukeskus	9
Kaupungintalo	13

Taulukko 2 Perusvaatimusten mukaiset enimmäistehotiheydet eri rakennuksissa.

Julkisissa rakennuksissa on ilmanvaihtolaitteiden lisäksi myös muita sähkötehoiltaan suuria laitteita, jotka mitoituksessa on huomioitava. Näistä laitteista voidaan käyttää lyhennettä $P_{\text{muut LVI-laitteet}}$. Esimerkkejä muista huomioitavista LVI- laitteista ovat jäähdytykseen käytettävät jäähdytyskoneet, puhaltimet, kuten kiertoilmakojeet ja oviverhokojeet, sekä pumput, kuten kiertovesipumput.

Puhaltimien tehon tarve on aina määriteltävä tapauskohtaisesti ja tehon tarpeen laadinnassa sähköteho arvot saadaan esimerkiksi LVI- kojeluettelosta.

Jäähdytyskojeiden osalta sähkötehon tarvetta on riippuvainen lämmitysmuodosta, sekä lämmitykseen tarvittavasta tehosta. Jos lämmitykseen käytettävä sähköteho on suurempi, kuin jäähdytyksen sähkötehon tarve, voidaan jäähdytyksen sähkötehon tarve jättää huomioimatta. Tämä johtuu lämmityksen ja jäähdytyksen eriaikaisesta sähkötehon tarpeesta.

Pumppujen energiatehokkuus ilmaistaan EEI- indeksillä. Mitä pienempi on pumpun EEI arvo, sitä energiatehokkaampi pumppu on kyseessä. Pumpuille on mahdollista määrittää myös sähkötehokkuus samalla tavalla, kuin ilmanvaihdollekin. Kun kyse on pumpusta, käytetään määrittelyssä SPF:n ja vesimäärän (l/s) tuloa. (ST-kortisto ST 13.31, 2015) (Esa Tiainen, 2015)

Rakennuksissa sähkönkulutuksen määrittämisessä on huomioitava rakennuksen kojeiden ja laitteiden sähkötehon tarve. Näitä kojeita ja laitteita ovat mm. keittiölaitteet, toimistolaitteet, kuten ATK-laitteet, sähkölämmityslaitteet, sekä muut sähkötehoa tarvitsevat laitteet.

Keittiölaitteiden sähkötehon tarvetta voidaan keittiölaitesuunnitelmien ja tasauskertoimien avulla. Usein keittiölaitteet voivat olla suuritehoisia ja näiden yhteenlaskettuarvo hyvinkin suuri. Kuitenkaan

keittölaitteita harvoin käytetään yhtäaikaaisesti ja tasauskertoimena voidaankin käyttää pääsääntöisesti arvoa 0,5. Tasauskerrointa määriteltessä on kuitenkin aina huomioitava käyttötarkoitus ja laiteluettelossa olevat laitteet ja kojeet.

ST- kortistossa on annettu annoskohtaisia sähkötehon arvoja työtehoisuuden tutkimukseen perustuen. Annoskohtaisilla arvoilla voidaan suorittaa karkea arvio keittiön sähkötehon tarpeesta. Näitä arvoja esillä taulukossa 3 annoskohtaisia sähkötehon arvoja. (ST-kortisto ST 13.31, 2015)

Ravintola tyyppi	kWh/annos
opiskelijaravintolat	0,84
henkilöstöravintolat	0,61
ruoka- ja seurusteluravintolat	1,49
fine dining- ravintolat	4,5

Taulukko 3 annoskohtaisia sähkötehon arvoja (ST-kortisto ST 13.31, 2015)

Toimistolaitteiden sähkötehon tarve voidaan karkeasti arvioida laitteiden määrän ja tehojen perusteella. Tässä tapauksessa on huomioitava myös samanaikaisuuskerroin, jonka arvona voidaan esimerkiksi käyttää arvoa 0,4 -0,6. Kuitenkin tehon tarve ja samanaikaisuuskerroin on aina määriteltävä tapauskohtaisesti käyttötarpeen mukaan. (ST-kortisto ST 13.31, 2015)

Sähkölämmityksessä käytettävien kojeiden ja laitteiden sähkötehon tarpeen määrittelyssä on huomioitava kaikki sähkötehoa tarvitsevat sähkölämmityslaitteet, kuten kiukaat, sulanapidot, autonlämmitykset jne. Kohteesta on myös huomioitava se, että jos kohteeseen on toteutettu sähkölämmitys, voidaan huipputehoa laskea lämmitysten vuorottelulla. Esimerkiksi sähkölämmityksen ja kiukaan vuorottelu. Autonlämmityspistorasioiden sähkötehon tarve saadaan arvioitua lämmityspistorasioiden määrän ja arvioidun tehon perusteella. Myös samanaikaisuuskerroin on huomioitava ja yleensä käytetäänkin arvoa 0,8 -0,9, koska lämmitystarve on usein samanaikaista. Suurissa kohteissa myös sulanapidolla ja saattolämmityksillä on vaikutusta liittymistehoon. Sulanapito- ja saattolämmitysten sähkötehon tarve voidaan arvioida metri tehon ja kaapeleiden pituuksien perusteella huomioiden samanaikaisuuskerroin. Sähkölämmitysten laitteiden- ja kojeiden kertoimet ovat aina arvioitava tapauskohtaisesti, huomioiden ohjausjärjestelmät ja vuorottelut. (ST-kortisto ST 13.31, 2015)

Muissa sähkötehoa vaativissa sähkölaitteissa- ja kojeissa arviot tehdään yleensä laiteluettelossa ilmoitettujen tehojen perusteella. Nämä laitteet ja kojeet ovat yleensä kohteen käyttötarkoitukseen liittyviä, eli tuotantolaitteita. Tuotantolaitteiden sähkötehot ovat yleensä pienempiä, kuin ilmoitetut nimellistehot ja lisäksi laitteet harvoin ovat yhtäaikaisessa käytössä. (ST-kortisto ST 13.31, 2015)

2.2 Johtimien ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojauksessa virtapiiri suojataan ylivirralla, joka on suurempi, kuin mitoitusvirta ja esiintyy virtapiirissä muulloin, kuin vikatilanteessa. Mitoitusvirta tarkoittaa tässä tapauksessa johti-

mien kuormitettavuutta. Virtapiireissä ylikuormitussuojauksella suojataan virtapiiriä siten, että suoja-laite katkaisee ylikuormitusvirran ennen kuin se aiheuttaa virtapiirin osissa lämpenemistä, joka voi aiheuttaa vahingoittumista eristeissä, jatkoksissa, liitoksissa tai johtimien ympäristössä.

Usein ylikuormitussuojauksena käytetään oikein mitoitettua sulaketta, johdonsuojakatkaisijaa tai muita katkaisijoita, jotka kytkevät ylikuormitetun virtapiirin irti verkosta.

Joissain tapauksissa, kuten lääkintätiloissa voidaan ylikuormasuojauksen sijaan käyttää ylikuormituksesta ilmaisevaa hälyttävää suojausta. Myös joissain tapauksissa, tiettyjen ehtojen toteutuessa, voidaan ylikuormitussuojaus jättää pois kokonaan. (Esa Tiainen, 2015)

Johtimien ylikuormitussuojaukselle on standardissa SFS 6000 määritelty seuraavat ehdot (SFS-Käsikirja 6000, 2012):

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (10)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_Z \quad (11)$$

I_B = Virtapiirin mitoitusvirta

I_Z = Johtimen jatkuva kuormitus

I_n = Suojalaitteen nimellisvirta

I_2 = Virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä toiminta ajassa

Standardin SFS 6000 määrittelemissä ehdoissa kaavalla 10 tarkoitetaan sitä, että ylikuormitussuojauksen tulee olla vähintään saman suuruinen, kuin virtapiirin arvioidun mitoitusvirran, eli kuormitusvirran. Sekä kuormitusvirran tulee olla vähintään suojalaitteen nimellisvirran suuruinen.

Kaavassa 11 taas määritetään se, että suojalaitteen tulee toimia tietyssä ajassa, mikäli kuormitusvirta on 1,45ertainen johtimen kuormitettavuuteen verraten. (Esa Tiainen, 2015)

2.2.1 Ylikuormitussuojaus johdonsuojakatkaisijalla

Standardissa SFS-EN 60898 on määritetty ominaisuudet johdonsuojakatkaisijoille. Standardissa käsitellään kolmea suojalaitetyyppiä, jotka ovat B-, C- ja D- tyyppin johdonsuojakatkaisijat. Ylikuormitussuojauksen ominaisuudet näillä suojalaitteilla ovat samankaltaiset, mutta ne poikkeavat oikosulkusuojausominaisuuksiltaan toisistaan.

Kaikilla näillä johdonsuojakatkaisija tyypeillä terminen toimintarajavirta on 1,45ertainen toiminta virtaan verraten, eli suojalaitteet toimivat nimellisvirtaan verrattuna 1,45 kertaisella virralla vähintään yhden tunnin kuluessa.

Johdonsuojakatkaisijaa ylikuormitussuojana käytettäessä voidaan ylikuormitussuoja valita kuormitettavuuden perusteella. Esimerkiksi 16 A kuormitetulla johtimelle voidaan suoraan valita 16 A C-tyypin johdonsuojakatkaisija.

Johdonsuojakatkaisijoiden nimellisvirrat ovat tyypillisesti 6, 8, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 ja 125 A. Tavallisesti käytettävillä johdonsuojakatkaisijoilla katkaisukyky n 6 kA 400 V jännitteellä. Rakenteellisesti johdonsuojakatkaisija on bimetallireleellä varustettu ylikuormitusrele, sekä

oikosulkusuojaukseen lyöntiankkurilla varustettu pikalaukaisin. (Esa Tiainen, 2015) (ST-kortisto ST 56.76, 2018)

Laukaisukäyrät ja nimellisvirrat		Terminen laukaisu	Laukaisu aika	Magneetti laukaisu	Laukaisu aika
B	≤ 63A	1,13 I _n	>1h	3 I _n	≥0,1s
		1,45 I _n	<1h	5 I _n	<0,1s
C	≤ 63A	1,13 I _n	>1h	5 I _n	≥0,1s
		1,45 I _n	<1h	10 I _n	<0,1s
D	≤ 63A	1,13 I _n	>1h	5 I _n	≥0,1s
		1,45 I _n	<1h	20 I _n	<0,1s

Taulukko 4 Johdonsuojakatkaisijoiden ominaisarvoja (Esa Tiainen, 2015)

Tehohäviöiltään johdonsuojakatkaisija on suurempi, kuin vastaava sulake. Lisäksi katkaisijat ovat fyysisesti pienempiä, joten ne voidaan asentaa pieneen tilaan. Näistä syistä on huomioitava, että johdonsuojakatkaisijoita käytettäessä voi keskuksen lämpötila nousta huomattavasti verrattuna sulakkeita käytettäessä.

Johdonsuojakatkaisijoiden eri laukaisuaika tyyppinä käytetään riippuen kuormituksen laadusta. B-tyypistä johdonsuojakatkaisijaa käytetään resistiivisillä kuormilla. C-tyypistä käytetään kuten B, mutta lisäksi lievästi induktiivisilla ja kapasitiivisilla kuormilla. D- tyyppiä käytetään voimakkaasti induktiivisilla ja kapasitiivisilla kuormilla, joista aiheutuu voimakkaista käynnistysvistasäyksiä. Näiden lisäksi on Z-tyyppinen johdonsuojakatkaisija, jota käytetään, kun oikosulkuvirta on hyvin alhainen. Esimerkiksi pitkällä kaapeleilla.

2.2.2 Ylikuormitussuojaus sulakkeella

Sulakkeilla virta, jolla sulake toimii varmasti tunnin sisällä, on suurempi kuin 1,45 kertaa sulakkeen nimellisvirta. Tästä syystä sulaketta ylikuormitussuojana käytettäessä ei ylikuormitussuojaa voi valita suoraa johtimen kuormitettavuuden mukaan. Sulaketta ylikuormitussuojana käytettäessä käytetään kaavaa 12. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012)

$$k * I_n \leq 1,45 * I_Z \quad (12)$$

k = Sulakkeen ylemmän sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde

I_Z = Johtimen jatkuva kuormitus

I_n = Suojalaitteen nimellisvirta

Gg-sulakkeille on standardissa SFS-EN 269-2-1 on määritelty viroille toimintarajavirrat ja ajat taulukon 5 mukaisesti.

Nimellivirta	Alempi toimintarajavirta	Ylempi toimintarajavirta	Aika
$I \leq 4A$	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1h
$4 A < I_n < 16 A$	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1h
$16 A \leq I_n \leq 63 A$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	1h
$63 A < I_n \leq 160 A$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	2h
$160 A < I_n \leq 400 A$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	3h
$400 A < I_n$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	4h

Taulukko 5 gG-sulakkeiden toimintaominaisuudet

CCE:n julkaisun mukaisesti D- tyyppisille tulppasulakkeille on määritelty toimintarajavirrat ja ajat taulukon 6 mukaisesti.

Nimellivirta	Alempi toimintarajavirta	Ylempi toimintarajavirta	Aika
$I \leq 4A$	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1h
$4 A < I_n \leq 10 A$	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1h
$10 A < I_n \leq 25 A$	$1,4 I_n$	$1,75 I_n$	1h
$25 A < I_n \leq 63 A$	$1,3 I_n$	$1,6 I_n$	1h
$63 A < I_n \leq 100 A$	$1,3 I_n$	$1,6 I_n$	2h
$100 A < I_n \leq 200 A$	$1,3 I_n$	$1,6 I_n$	3h

Taulukko 6 CEE:n mukaisten sulakkeiden toimintaominaisuudet

D1-2012 käsikirjassa rakennusten sähköasennuksista on annettu seuraava esimerkki ylikuormitus-suojan valinnasta sulakkeella:

Johdon korjauskertoimilla tarkistettu kuormitettavuus on 26 A. Ylikuormitussuojaukseen käytetään gG-sulakkeita. Mikä on sulakkeen suurin sallittu nimellivirta?

Ratkaisu: k-arvo on 1,6

$$I_z = 26 A$$

$$I_n = ?$$

$$\text{Edellä esitetystä kaavasta saadaan } I_n \leq (1,45/1,6) * 26 A = 23,5 A$$

Ylikuormitussuoja voidaan toteuttaa 20 gG-sulakkeella.

Useimmiten gG-sulaketta ylikuormitussuojana käytettäessä suurinta sallittua nimellisvirtaa ei tarvitse laskea kaavan 12 avulla, vaan käytetään valintataulukkoa 7, johon pienimmät sallitut johtojen kuormitettavuuden on laskettu. (Esa Tiainen, 2015) (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012)

gG-tyyppisen sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta	Johdon sallittu kuormitus vähintään
A	A
6	8
10	13,5
16	18
20	22
25	28
32	35
35	39
40	44
50	55
63	70
80	88
100	110
125	138
160	177
200	221
250	276
315	348
400	441
500	552
630	695
800	883
1000	1103
1250	1379

Taulukko 7 Johtojen pienimmät kuormitettavuudet käytettäessä gG-sulaketta ylikuormitussuojana (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012)

2.2.3 Ylikuormitussuojauksen pois jättäminen

Tiettyjen ehtojen ja edellytysten toteutuessa on mahdollista jättää ylikuormitussuoja kokonaan pois. Tällaisia tilanteita ovat tapaukset, joissa johto ei ylikuormitu, eikä sitä ole haaroitettu tai se ei sisällä pistorasioita.

Myös jakeluverkoissa ja isoissa teollisuusverkoissa voidaan jättää ylikuormitus, kun jakelupiirit koostuvat maahan asennetuista tai palonkestävästi asennetuista ilmajohdoista. Näissä tapauksissa on huomioitava, että niiden maanpinnalla olevat päät eivät saa aiheuttaa vaaraa.

Tapauksissa, joissa syötetään sähkölaitetta ja virtapiirin odottamaton avautuminen voi aiheuttaa vaaran suositellaan ylikuormitussuojauksen pois jättämistä. Tällaisia tapauksia ovat mm. pyörivien koneiden magnetoimispiirit, nostomagneettinen syöttöpiiri, virtamuuntajan toisiopiiri ja palonsammutuslaitteistoja syöttävät virtapiirit. (Esa Tiainen, 2015) (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012)

2.2.4 Rinnankytkettyjen johtimien ylikuormitussuojaus

Standardissa SFS 6000 kohdassa 523.7 on annettu edellytykset johtimien rinnankytkennästä. Rinnankytkentää ei kuitenkaan suositella käytettäväksi kotitalousasennuksissa, vaan ainoastaan suurilla poikkipinnoilla.

Kun rinnankytkettyjä johtimia suojaa yksittäinen suojalaite, ei johtimia saa haaroittaa, eikä niissä saa olla erotus- tai kytkinlaitteita.

Ylikuormitussuojausta määrittäessä rinnankytketyille johtimille on tarkasteltava kahta erillistä tapusta:

1. *Ylikuormitussuojaus, kun virranjako johtimien välillä on tasaista.*
2. *Ylikuormitussuojaus, kun virranjako johtimien välillä on epätasaista.*

Ensimmäisessä tapauksessa on yhteenlaskettu kuormitettavuus johtimien kuormitusten summa.

Toisessa tapauksessa, jossa virranjako on epätasaista, poikkeavat yksittäisten johtimien virrat toisistaan yli 10 prosenttia. Tällöin jokaisen johtimen kuormitettavuus ja ylikuormitussuojaus käsitellään erikseen. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012) (SFS-Käsikirja 6000, 2012)

Toteuttaessa ylikuormitussuojausta rinnankytketyille johtimille on saatava aikaan riittävä suojaus jokaiselle virtapiirin johtimelle. Jos johtimien poikkipinnat, pituudet ja virrat ovat samat, on määrittely helpompaa. Jokaisen johtimen virta kasvaa tasaisesti jokaisella johtimella ja ylikuormitussuojaus voidaan toteuttaa yhdellä ylikuormitussuojalla.

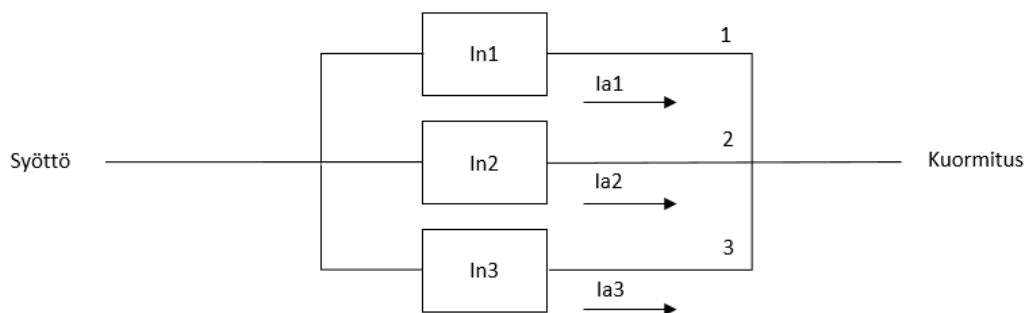
Virranjako rinnankytketyillä johtimilla määräytyy johtimien impedanssin mukaan. Kun kyseessä on suuret poikkipinnat, reaktiivisen komponentin osuus kokonaisimpedanssissa kasvaa ja impedanssiin vaikuttaa mm. kaapelin fyysinen sijainti. Saman pituisilla ja poikkipintaisilla kaapeleilla voi virranjako hyvinkin olla jopa suhteessa 30/70%, jos kaapelit sijaitsevat toisiinsa nähden epäedullisesti. Rinnankytketyille kaapeleille mitoitusvirran määrittämiseen voidaan käyttää kaavaa 13, jossa määritetään mitoitusvirta kolmelle rinnankytketyille johtimelle. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012)

$$I_{a1} = I_a / \left(\frac{Z_1}{Z_1} + \frac{Z_1}{Z_2} + \frac{Z_1}{Z_3} \right) \quad (13)$$

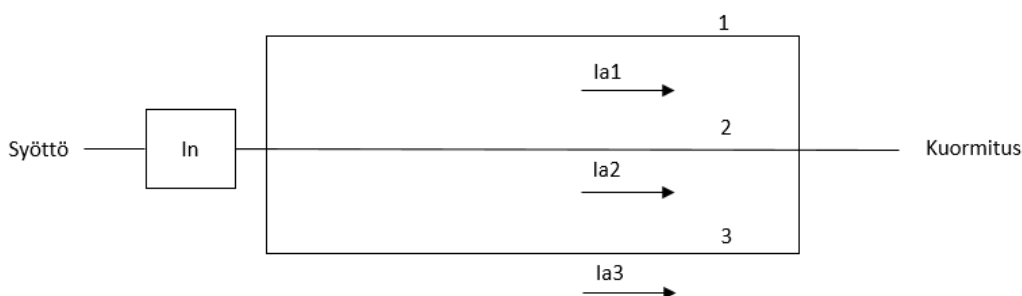
I_1 = Virtapiirin mitoitusvirta

I_{a1} = Johtimen 1 mitoitusvirta

Z_1, Z_2, Z_3 = Johtimien 1 – 3 impedanssit



Kuva 2 Rinnankytkentä johtimilla, joissa jokaisella oma ylikuormitussuoja



Kuva 3 Rinnankytketyt johtimet, jossa yksi ylikuormitussuoja suojaa jokaista johdinta

2.3 Johdon poikkipinta ja kuormitettavuus

Virtapiirissä jokaiselle jännitteiselle johtimelle on määritelty johdolle sallittu kuormitettavuus, johdon suurimman sallitun lämpötilan mukaan. Johtimen jatkuvaa ylintä sallittua lämpötilaa ei saa ylittää, koska yllämpötila voi lyhentää johtimen käyttöikää rasittamalla johtimen eristeitä, tai mahdollisesti jopa aiheuttaa tulipalon. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012)

Kuormitettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat johtimen johdonmateriaali, eristemateriaali, ympäristön lämpötila, asennustapa, sekä muiden jännitteisten virtapiirien läheisyys. Standardissa SFS 6000-5-523 on johtimien kuormitettavuudelle annettu kuormitustaulukoita, joissa on esitetty sallitut kuormitusvirrat eri poikkipinnoille ja asennustavoille.

Kuormitettavuustaulukoissa pohjana on käytetty standardia IEC 60364-5-523 ja kuormitettavuusarvot ovat laskettu vastaamaan Suomessa käytettyjä ilman- ja maan lämpötilojen, sekä lämpöresistivisyyden arvoja.

2.3.1 Johdon jatkuva kuormitettavuus

Suurimmat johdolle sallitut jatkuvan käytön lämpötilat riippuvat johtimen eristemateriaalista. Näille lämpötiloille ja eristemateriaaleille on standardissa SFS 6000 annettu taulukko 52-4. Tämän taulukon avulla ei käytännössä voi määrittellä johtimen kuormitettavuutta, vaan on selvitettävä ja huomioitava kuormitusvirrat. (Esa Tiainen, 2015)

Eristyksen laji	Suurin sallittu lämpötila johtimessa °C
Polyvinyylikloridi (PVC)	70 (johtimessa)
Silloitettu polyeteeni (PEX) ja eteenipropenikumi (EPR)	90 (johtimessa)
Mineraali (PVC:llä päällystetty ja kosketeltavissa)	70 (vaipassa)
Mineraali (paljas, ei kosketeltavissa, eikä kosketuksissa palaviin materiaaleihin)	105 (vaipassa)

Kuva 4 Eristysaineiden suurimmat sallitut käyttölämpötilat (ST-kortisto ST 53.24, 2017).

2.3.2 Asennustavat

Sähköasennukset ovat jaettu neljään asennustapaan, joita ovat asennustapa A uppoasennuksille, asennustapa C pinta-asennuksille, asennustapa D maa-asennuksille ja asennustapa E vapaasti ilmaan tehtäville asennuksille (Esa Tiainen, 2015).

Asennustavassa A asennus on tehty lämpöeristettyyn seinään, joko johdolla tai johtimilla, upotettuna putkessa. Seinä muodostuu ulkopinnasta, eristemateriaalista ja sisäpinnasta, joka voi olla puuta tai muuta vastaava materiaalia (lämmönjohtavuus min. 10 W/m²). Näissä asennuksissa putki on asennettu lähelle seinäpintaa ja kaapeleiden lämmön oletetaan poistuvan vain sisäseinäpinnan kautta johtumalla.

Asennustavassa C asennus on tehty joko puuseinälle siten, että kaapelin ja seinäpinnan väli on vähemmän kuin 0,3 kertaa kaapelin halkaisija. Asennus on voitu myös tehdä kiinnittämällä se kivirakenteiselle seinälle tai sen sisään.

Asennustavassa D kaapeli on asennettu joko suojaputkessa, tai suoraan maahan. Maan lämpöresistivisyys on 1,0 K*m/W ja asennussyvyys 0,7 metriä.

Asennustavassa E kaapeli kulkee vapaana ilmassa siten, että se on tuettu, eikä lämmön haihtumista ole estetty

2.3.3 Korjauskertoimet

Johdon kuormitettavuutta ja poikkipintaa määriteltäessä käytettävissä kuormitustaulukoissa arvot ovat esitetty tietyissä ympäristön lämpötiloissa. Myös maan lämpöresistivisyydellä on vaikutusta johdon kuormitettavuuteen. Näiden lisäksi kuormitettavuuteen vaikuttaa lähistöllä olevat muuta kaapelit, joilla on heikentävä vaikutus kuormitettavuuteen.

Nämä tekijät on mahdollista ottaa huomioon määrittämällä korjauskerroin, jonka avulla voidaan arvioida todellinen kuormitettavuus.

Ilmaan asennettavilla kaapeleilla korjauskerrointa käytetään, jos ympäristön lämpötila poikkeaa 25°C lämpötilasta.

Ympäristön lämpötila °C	Korjauskerroin johtimen eristeen ja sallitun lämpötilan mukaan	
	PVC 70 °C	PEX ja EPR 90 °C
10	1,15	1,11
15	1,10	1,07
20	1,05	1,04
25	1,00	1,00
30	0,94	0,96
35	0,88	0,92
40	0,82	0,88
45	0,75	0,84
50	0,67	0,79
55	0,58	0,73
60	0,47	0,68
65	–	0,62
70	–	0,56
75	–	0,48
80	–	0,39

Taulukko 8 Korjauskertoimet ilmaanasennetuille kaapeleille lämpötilojen mukaan (Sähkötieto ry, 2014)

Vastaavasti maahan asennettavilla kaapeleilla korjauskerroin määritetään, jos ympäröivän maan lämpötila poikkeaa 15°C lämpötilasta.

Maan lämpötila °C	Korjauskerroin johtimen eristeen mukaan	
	PVC	PEX ja EPR
0	1,13	1,10
5	1,09	1,06
10	1,05	1,03
15	1,00	1,00
20	0,95	0,96
25	0,90	0,93
30	0,85	0,89

Taulukko 9 Korjauskertoimet ympäröivän maan lämpötiloille (Sähkötieto ry, 2014)

Maan lämpöresistiivisyydelle on annettu taulukossa arvoja maalajin mukaisesti. Tämän lämpöresistiivisyyden arvon avulla voidaan määrittää korjauskerroin maalajin mukaan.

Lämpöresistiivisyys, K · m/W	0,7	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
Korjauskerroin	1,1	1,0	0,92	0,85	0,75	0,69	0,63

Taulukko 10 Korjauskertoimet maan lämpöresistiivisyyden mukaan (Sähkötieto ry, 2014)

Kun asennuksissa on useita kaapeleita tai virtapiirejä, huomioidaan myös näiden vaikutus kromitet-tavuuteen korjauskertoimen avulla. Taulukossa 11 on esitetty taulukko, jonka avulla korjauskerroin määritellään aluksi määrittelemällä kaapelin sijoitus, eli kuinka kaapeli sijaitsevat toisiinsa nähden. Tämän jälkeen määritetään kaapeleiden tai virtapiiriin lukumäärä ja saadaan taulukon mukainen korjauskerroin. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012)

Kohta	Sijoitus (kaapelit koskettavat toisiaan)	Piirien tai monijohdinkaapeliin lukumäärä												Käytetään kuormitetta- vuustaulukon kanssa
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1	Nipussa ilmassa, pinnalla, upotettuna tai kotelon 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	A.52-2...A.52-7 asennustavat A...F
2	Yhdessä kerroksessa seinällä, lattialla tai rei'ittämättömällä kaapelihyllyllä	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Eikorjauskertoimia useammalle kuin yhdeksälle piirille tai monijohdin- kaapelille	A.52-2...A.52-3 asennustapa C		
3	Yhdessä kerroksessa kiinnitettynä suoraan puukaton alapuolelle	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Yhdessä kerroksessa rei'itetyllä kaapelihyllyllä vaaka- tai pystysuunnassa	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72		A.52-4...A.52-7 asennustavat E ja F		
5	Yhdessä kerroksessa tikkailla, tuilla tai kiinnikkeillä jne.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

HUOM. 1 Nämä kertoimet soveltuvat samantaisille ja samalla tavalla kuormitetuille kaapeliryhmille.

HUOM. 2 Jos lähellä olevien kaapeliin etäisyys toisistaan vaakatasosta ylittää kaksi kertaa niiden kokonaishalkaisijan, korjauskertoimia ei tarvitse soveltaa.

HUOM. 3 Samoja kertoimia sovelletaan:

- kahden tai kolmen yksijohdinkaapelin ryhmiin
- monijohdinkaapeleihin.

HUOM. 4 Jos järjestelmään kuuluu sekä kaksi- että kolmi- ja nelijohdittaisia kaapeleita, kaapeliin kokonaismäärä vastaa piiriin lukumäärää ja vastaavasti sovelletaan kahden kuormitetun johtimen arvoja kaksijohdinkaapeleille ja kolmen kuormitetun johtimen arvoja kolmi- ja nelijohdinkaapeleille.

HUOM. 5 Jos ryhmä koostuu n kappaleesta yksijohdinkaapeleita, sitä voidaan käsitellä n/2 kahden kuormitetun johtimen piirinä tai n/3 kolmen kuormitetun johtimen piirinä.

HUOM. 6 Tässä annetut arvot ovat keskiarvoja erilaisten taulukkojen A.52-2...A.52-7 mukaisten kaapelityyppien ja asennustapojen arvoista. Arvojen yleinen tarkkuus on ±5 %.

HUOM. 7 Joillekin asennuksille ja muille menetelmille, joihin yllä oleva taulukko ei ole tarkoitettu, voi olla tarpeen käyttää erityistapauksia varten laskettuja taulukkoja, ks. esim. taulukot A.52-20...A.52-21.

Taulukko 11 Korjauskertoimet ryhmille, joissa on useita piirejä tai useita kaapeleita. (Sähkötieto ry, 2014)

Myös läpiviennissä on huomioitava vaikutus kuormitettavuuteen. Läpiviennissä kuormitettavuuteen vaikuttaa läpiviennin lämpöeristeen paksuus ja lämpöeristeen materiaali. Myös tämän korjauskertoimen määrittämiseen on annettu taulukko, joka esitetty tämän opinnäytetyön taulukossa 12. Taulukon avulla voidaan määrittää korjauskerroin enintään 0,5 m läpiviennille. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012)

Lämpöeristeen paksuus mm	Korjauskerroin
50	0,89
100	0,81
200	0,68
400	0,55
500	0,50

Taulukko 12 Korjauskertoimet lämpöeristeen läpäiseville kaapeleille ja asennusputkissa oleville johtimille (Sähkötieto ry, 2014)

2.3.4 Nollajohtimen mitoittaminen

Standardissa SFS 6000-523 annetut kuormitusarvot ovat ilmoitettu sellaisille tapauksille, joissa on kaksi tai kolme kuormitettua johdinta. Usein virtapiirissa on kuitenkin neljäs kuormitettu johdin, jos kolmivaihepiirissä myös nollajohtimessa kulkee virtaa. Tällä nollajohtimen virralla on pienentävä vaikutus vaihejohtimien kuormitettavuuteen.

Virtoja nollajohtimeen voivat aiheuttaa esimerkiksi harmoniset yliaaltovirrat kolmivaihepiirissä. Tällöin nollajohtimen virta voi kasvaa jopa suuremmaksi kuin vaihejohtimien virrat, jolla on merkittävä vaikutus vaihejohtimien kuormitettavuuteen. Näissä tapauksissa, joissa nollajohtimen virta on suurempi vaihejohtimen virta, on kuormitettavuus mitoittava nollajohtimen perusteella. Ensisijaisesti yliaallot tulisi pyrkiä suodattamaan, mutta käytännössä tämä ei aina ole mahdollista.

Kun nollajohtimen virta on vaihejohtimen virtaa suurempi ja virtapiirissä esiintyy harmonista 3. yliaaltoa, käytetään kuormitettavuuden arviointiin korjauskerrointa. Korjauskertoimen määrittämiseen yliaaltovirtoja sisältävissä virtapiireissä on annettu taulukko, joka on esitetty tämän opinnäytetyön taulukossa 13. Myös PEN- johtimet, joissa kulkee virta, on otettava huomioon vastaavasti kuin nollajohtimet (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012).

Kolmannen yliaallon osuus vaihevirrasta [%]	Korjaustekijä	Huomioita
0–15	1	Mitoitus tehdään vaihevirran perusteella.
15–33	0,86	Mitoitus tehdään vaihevirran perusteella.
33–45	0,86	Mitoitus tehdään nollajohtimen virran perusteella.
> 45	1	Mitoitus tehdään nollajohtimen virran perusteella.

Taulukko 13 Yliaaltojen vaikutus nollajohtimen mitoittamiseen (Sähkötieto ry, 2014)

2.4 Oikosulkusuojaus

Oikosulku tarkoittaa normaalitilanteessa tapahtuvaa hyvin pieni-impedanssista vikaa eri potentiaalissa olevien virtapiirin jännitteisten osien välillä. Standardissa SFS 6000 on määritelty oikosulkusuojauksen toteutumisen ehdot kohdassa 434. Yleensä oikosulkusuojaus mitoittetaan enintään 5 sekunnin oikosulkuvirran aiheuttaman lämpövaikutuksen perusteella.

Kaksi keskeistä vaatimusta oikosulkusuojaukselle ovat:

1. *Oikosulkusuojan on kyettävä katkaisemaan suurin piirissä esiintyvä oikosulkuvirta.*
2. *Poiskytkennän on tapahduttava ennen kuin suojalaitteen suojaamat piirit vahingoittuvat.*

Standardissa SFS 6000 on kohdassa 434.5.2 annettu myös mitoituskaava, jonka avulla voidaan laskea enintään 5 sekuntia kestävässä oikosulkutilanteissa aika, jonka kuluessa johtimen lämpötila saavuttaa suurimman sallitun rajalämpötilan.

Kun noudatetaan standardin SFS 6000 vaatimuksia, toteutuvat sen asettamat vaatimukset ja oikosulkusuojauksesta saadaan asetettujen ehtojen mukainen. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012) (Esa Tiainen, 2015) (ST-kortisto ST 53.24, 2017)

Kaavassa 14 on esitetty standardin SFS 6000 kohdan 434.5.2 mukainen mitoituskaava oikosulun sallitun kestoajan mitoittamiseen.

$$t = (k * A/I)^2 \quad (14)$$

t = Oikosulun sallittu kesto aika

k = Johdinvakio

I = Oikosulkuvirran suuruus

A = Johtimen poikkipinta

	Johtimen eristys					
	PVC		EPR/PEX	Kumi 60°	Mineraali	
	≤ 300 mm ²	> 300 mm ²			PVC	Paljas
Alkulämpötila °C	70	70	90	60	70	105
Loppulämpötila °C	160	140	250	200	160	250
Johtimen materiaali:						
– Kupari	115	103	143	141	115	135/115 ^a
– Alumiini	76	68	94	93	–	–
– Tinalla juotetut Cu-johtimien liitokset	115	–	–	–	–	–

^a Tätä arvoa käytetään kosketeltavissa oleville paljaille kaapeleille

Taulukko 14 Kertoimen k arvot vaihejohtimelle (ST-kortisto ST 53.24, 2017)

Jos oikosulku kestää kauemmin kuin 5 sekuntia, ei kaavaa 14 voida käyttää, vaan oikosulkusuojauksen toimivuus on tarkistettava suojalaitteen toimintakäyrää ja johtimen lämpenemiskäyrää vertailemalla.

Kun oikosulkusuojaukseen käytetään yhteistä oikosulku- ja ylikuormitussuojaa, ei yleensä tarvitse laskea oikosulun kestoaikaa kaavan 14 mukaisesti. Näissä tapauksissa riittää, että varmistetaan suojalaitteen katkaisukykyyn riittävyys. Kun suojataan virtapiiri suojalaitteella, joka on määritelty kuormituksen perusteella, se riittää myös oikosulkuvirran lämpövaikutusten suojaamiseen.

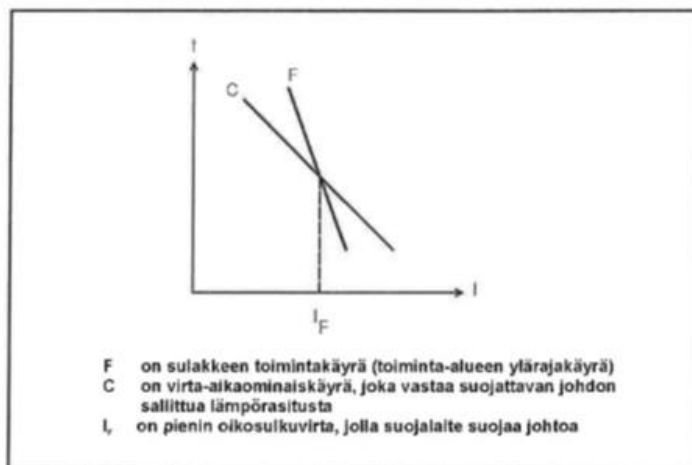
Oikosulkusuojauksen toiminnan varmistamisessa on välttämätöntä selvittää keskuksien pienimmät ja suurimmat oikosulkuvirrat. Tarvittaessa on selvitettävä myös johdon loppupään pienin oikosulkuvirta. Tarkastelussa suojalaitteen toimivuutta vaikuttava tekijä on se, käytetäänkö yhteistä ylikuormitus- ja oikosulkusuojaa, vai onko käytössä ylikuormitussuojasta erillinen oikosulkusuoja (ST-kortisto ST 53.24, 2017,).

2.4.1 Oikosulusta johtimeen kohdistuvan lämpörasituksen tarkistaminen

Kun valitaan oikosulkusuojaa johtimille, on suojalaitteen valinta tehtävä siten, että se suojaaa johdinta liialliselta termiseltä rasitukselta. Vaatimuksen toteutuminen voidaan tarkistaa vertaamalla johdon virta-aikaominaiskäyrää ja suojalaitteen virta-aikaominaiskäyrää. Vaatimukset täyttyvät, kun johdon virta-aikaominaiskäyrä on suojalaitteen virta-aikaominaiskäyrän yläpuolella kaikilla odotettavissa olevien oikosulkuvirtojen arvoilla.

Kun sulaketta käytetään ainoastaan oikosulkusuojana, voi sen nimellisvirta olla johdon kuormitettavuutta suurempi. Kuvassa 5 on esitetty tapaus, jossa sulake suojaaa johtoa oikosulkuvirroilta, joiden suuruus on vähintäänkin I_F . Johto on kuitenkin myös suojattava I_F virtaa pienemmiltä arvoilta, joita

voi esiintyä oikosulkutilanteessa mm. vikaimpedanssista johtuen. Tällaisessa tilanteessa suojaus voidaan toteuttaa ylikuormitussuojan avulla. (Esa Tiainen, 2015)



Kuva 5 Oikosulun aiheuttamien johtimen lämpörasitusten tarkistaminen. (Esa Tiainen, 2015)

Käytännössä, kun sulake toimii vain oikosulkusuoja, voidaan valinta suorittaa liitteessä 1 Johdon suojaus eri tilanteissa, esitetyn taulukon mukaisesti tai valmistajilta saadun ohjeistuksen mukaisesti.

2.4.2 Sulakkeiden ominaisuuksia

Sulakkeissa kirjainmerkinnät tarkoittavat sulakkeen katkaisualuetta ja käyttöluokkaa, joista ensimmäinen kirjain ilmaisee katkaisualueen ja toinen kirjain käyttöluokan.

Katkaisualueita merkitään kirjaimilla g ja a, joista:

- g-sulakkeen katkaisukyky käsittää koko virta-alueen
- a-sulakkeen katkaisukyky käsittää tietyn osa-alueen.

Käyttöluokkaa merkitsevä toinen kirjain määrittelee tarkasti virta-aikaominaisuuden esimerkiksi:

- Gg-sulake on yleiskäyttöön tarkoitettu, jonka katkaisukyky käsittää koko virta-alueen
- Gm-sulake on moottoripiiriin tarkoitettu, jonka katkaisukyky käsittää koko virta-alueen
- Am-sulake on moottoripiiriin tarkoitettu, jonka katkaisukyky käsittää tietyn osa-alueen.

2.4.3 Johdonsuojakatkaisijan ominaisuudet oikosulkusuojauksessa

Johdonsuojakatkaisijaa oikosulkusuojana käytettäessä on tarkasteltavana sen katkaisukyky. Katkaisukyky johdonsuoja-automaateissa on määritelty kahdella tavalla, jotka ovat:

- I_{cn} , joka tarkoittaa johdonsuojakatkaisijan nimelliskatkaisukykyä; arvo on leimattu kojeeseen (O-t-CO)
- I_{cs} , joka tarkoittaa käytönaikaista oikosulun nimelliskatkaisukykyä; arvo on leimattu kojeeseen (O-t-CO-t-CO)

Talotekniikassa normaalisti käytetään katkaisukyvyltään 6 kA:n johdonsuojakatkaisijoita, kun vaativissa kohteissa, sekä teollisuudessa taas suositellaan käytettäväksi katkaisukyvyltään vähintään 10 kA:n johdonsuojakatkaisijoita.

Johdonsuojakatkaisijan katkaisukyvyyn on oltava suurempi, kuin 3-vaiheisen oikosulkuvirran, joka esiintyy asennuspaikassa.

Katkaisukyvyyn ollessa riittämätön verrattuna 3-vaiheeseen oikosulkuvirtaan, on johdonsuojakatkaisijan etupuolella käytettävä erillistä etusulaketta. Etusulakkeen suurin sallittu arvo saadaan johdonsuojakatkaisijan valmistajalta.

Standardissa SFS-EN898 esitetään standardin mukaiset katkaisukyvyt johdonsuojakatkaisijoille, jotka ovat: 3 kA, 6kA, 10 kA, 15 kA, 20 kA ja 25 kA.

On tärkeää huomioida, että johdonsuojakatkaisijan katkaisukyky on oltava suurempi, kuin esiintyvän oikosulkuvirran. Jos näin ei ole, on käytettävä erillistä etusulaketta tai kompaktikatkaisijaa. (Esa Tiainen, 2015)

2.4.4 Oikosulkuvirta ja sen määrittäminen

Oikosulkusuojausta määriteltäessä on selvitettävä asennuspaikassa esiintyvä suurin- ja pienin oikosulkuvirta.

Pienin oikosulkuvirta tarkoittaa oikosulkuvirtaa, joka syntyy oikosulkutilanteessa ja esiintyy johdon kaukaisimmassa kohdassa suojalaitteeseen nähden.

Suurin oikosulkuvirta taas tarkoittaa 3- vaiheista oikosulkuvirtaa, joka syntyy oikosulkutilanteessa ja esiintyy välittömästi suojalaitteen läheisyydessä.

Pienin oikosulkuvirta selvitetään, jotta saadaan selville riittääkö suojalaitteen toimivuus riittävän nopeasti oikosulkutilanteessa. Suurin oikosulkuvirta taas selvitetään, jotta voidaan tarkastaa suojalaitteen katkaisukyky oikosulkutilanteessa. (Esa Tiainen, 2015)

2.4.5 Oikosulkusuojaus rinnankytketyillä johtimilla

Rinnankytketyillä johtimilla on oikosulkusuojauksen toteutumisen kannalta huomioitava rinnankytketyillä osuudella sattuva oikosulku. Oikosulkusuojauksen rinnankytketyillä johtimilla voi toteuttaa yhdellä oikosulkusuojoilla, jos oikosulkusuojaus toteutuu oikosulun sattuessa yhden johtimen vaikeimmassa paikassa. Huomioitava kuitenkin on, että oikosulkuvirta voi oikosulku tapauksissa jakautua eri johtimien välille ja virtaa voi vika tapauksessa tulla rinnankytketyillä johtimilla niiden molemmista päistä. (Esa Tiainen, 2015) (ST 53.24.01, 2017) (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012)

Tapauksissa, joissa yhden suojalaitteen käyttö ei toteuta suojauksen toteutumista riittävän tehokkaasti, käytetään ST-kortistossa annetun ohjeistuksen mukaisesti menettelynä yhtä seuraavista vaihtoehdoista: (ST 53.24.01, 2017)

1. Yhtä oikosulkulaitetta voidaan käyttää, jos johto asennetaan siten, että kaikkien rinnankytkettyjen johtimien oikosulun vaara saadaan mahdollisimman pieneksi, esimerkiksi mekaanisella suojauksella. Johtoa ei saa sijoittaa lähelle palavaa ainetta.
2. Kun rinnankytkettyjä johtimia on kaksi, oikosulkusuoja asennetaan kunkin rinnankytketyn johtimen alkuun.
3. Kun rinnankytkettyjä johtimia on vähintään kolme, oikosulkusuoja tulee asentaa kunkin johtimen alkuun ja loppuun.

2.4.6 Suojauksen toteutuminen liittymisjohdolle

Liittymisjohdolla yhdistetään loppukäyttäjää sähköverkkoyhtiön jakeluverkkoon. Liittymisjohto syöttää suoraan loppukäyttäjän pääkeskusta, eikä sitä ole haaroitettu.

Liittymisjohdon suojauksessa käytetään samoja ehtoja, kuin muidenkin tehoa syöttävien johtojen suojausten mitoittamisessa. Standardissa SFS 600 kohdassa 43 on annettu vaatimukset, joiden mukaisesti liittymisjohdon suojausten mitoittaminen toteutetaan. Yleisesti liittymisjohto jakeluverkosta toteutetaan maakaapelilla. Kuitenkin joissain tapauksissa käytetään ilmajohtoa, jolloin ilmajohdon saa päättää seinään vain muuntamoissa ja rakennuksissa, joissa maakaapelin käyttö olisi mahdollista.

Liittymisjohdon suojaukselle on standardissa SFS 6000 annettu seuraavat vaihtoehdot, joiden mukaisesti suojaus voidaan toteuttaa:

1. *Kun liittymisjohto on varustettu johdon alkupäähän sijoitetulla ylivirtasuojalla siten, että oikosulku kytketään pois alle 5 sekunnissa, noudatetaan normaaleja SFS 6000-4-43 mukaisia vaatimuksia.*
2. *Kun liittymisjohdon alkupäässä ei ole ylivirtasuojaa, jolla oikosulku kytketään pois alle 5 sekunnissa, liittymisjohto asennetaan koko matkaltaan palonkestävästi, esim. maahan asennettuna kaapelina, kivirakenteen sisään tai palamattomalle alustalle asennettuun SFS-EN 61386 mukaisen lujuusluokan 4 metalliputkeen. Kaapelin lähellä ei saa olla muita kaapeleita tai mitään palavaa materiaalia. Liittymiskaapeli ylikuormitussuojataan loppupäästään ja vikasuojaus toteutetaan taulukon 801.1 ja taulukon 801.2 sarakkeen 4 mukaisesti.*
3. *Mikäli ei voida noudattaa kohdan 1 tai 2 vaatimuksia, pitää liittymisjohdon asennuksessa ja suojauksessa noudattaa seuraavia kokemuseräisiä vaatimuksia:*
 - a. *Liittymiskaapelin poikkipinta on vähintään 10 mm² kuparia tai 16 mm² alumiinia ja johdon loppupäässä on liittymisjohtoa ylikuormitukselta suojaavat suojalaitteet, esim. pääsulakkeet.*
 - b. *Liittymiskaapelin pituus rakennuksen sisäpuolella ja ulkoseinällä rajoitetaan mahdollisimman lyhyeksi.*
 - c. *Liittymisjohdon läpivienti rakennukseen tehdään vähintään SFSEN 61386 mukaisella lujuusluokan 4 asennusputkella, ellei seinän tai perusmuurin rakenne sinänsä täytä paloturvallisuudelle ja mekaaniselle lujuudelle asetettuja vaatimuksia (esim. tiili tai betoni). Liittymiskaapelin läpivienti sijoitetaan siten, että se on tarkastettavissa kiinteitä rakenteita purkamatta. Läpiviennin saa seinäpinnalla kuitenkin peittää jakokeskuksella. Liittymiskaapeli suojataan mekaaniselta rasitukselta esim. suojaamalla se vähintään lujuusluokan 4 putkella tai vastaavalla tavalla. tai sijoittamalla kaapeli lukittavaan jakokeskushuoneeseen tai -komeroon.*
 - d. *Liittymiskaapelin asennus rakennuksessa tehdään siten, ettei siitä aiheudu palovaa-
raa tai oikosulkuvaaraa. Sopiva asennustapa on asennus betoniin tai vastaavan kivi-
rakenteen sisään tai asentaminen vastaavan palamattoman materiaalin pinnalle si-
ten, että lähellä ei ole muita kaapeleita tai muuta palavaa ainetta. Liittymiskaapeli
asennetaan siten, ettei se missään kohdassa kosketa muita kaapeleita. Jos asennus-
pinta ei ole palamaton, kaapelin asennusalusta on suojattava palamattomalla mate-
riaalilla, kuten. mineraalilevyllä.*
 - e. *Suunnittelijan ja rakentajan harkinnan mukaan voidaan taulukon 801.1 mukaan
määräytyneenä liittymisjohdon suurimpana mahdollisena oikosulkusuojasulakkeena
käyttää johdon alkupäässä olevaa taulukossa 801.2 sarakkeessa 3 määriteltyä sula-
ketta.*

Jos tavoilla 2 tai 3 suojatussa liittymisjohdossa tapahtuu oikosulku, on liittymisjohdon kunto (vaurioituminen) tarkastettava silmämääräisesti sekä maakaapelin osalta mittaamalla eristysresistanssi (ks. SFS 6000-6) ennen kuin se otetaan uudelleen käyttöön. Liittymisjohto on vaihdettava, mikäli sen havaitaan vaurioituneen. (Esa Tiainen, 2015,88-90)

Ylivirtasuojaja	Oikosulkuvirta
Sulake $I_N \leq 63$	$A 3,5 \times I_N$
Sulake $I_N > 63$	$A 4,5 \times I_N$

Taulukko 15 Pienin oikosulkuvirta, jonka mukaan jakeluverkon vikasuojaukseen käytetty ylivirtasuojaja voidaan mitoittaa (Sähköinfo Oy Severi,2013,3)

Kaapelin poikkipinta mm^2		gG-tyyppisen sulakkeen suurin sallittu mitoitusvirta, kun 5s poiskytkentäaika ei toteudu A	gG-tyyppisen sulakkeen suurin sallittu mitoitusvirta, kun 5s poiskytkentäaika toteutuu A
kupari	alumiini		
1	2	3	4
10	16	100	125
16	25	125	160
25	35	160	200
35	50	200	250
50	70	250	315
70	95	315	400
95	120	400	500

Taulukko 16 Liittymisjohdon oikosulkusuojana toimivan standardin SFS-EN 60269 mukaisen sulakkeen suurin sallittu mitoitusvirta jakeluverkon sellaisissa osissa, joissa suojaava sulake on määritelty taulukon 801A mukaan tai osassa 4.43 esitetyn 5s suojalaitteen toiminta ajan mukaan (SFS-Käsikirja 6000, 2012)

2.5 Vikasuojaus

Vikasuojausmenetelmänä yleisesti käytetään automaattisesti toimivaa syötön poiskytkentää. Automaattisella poiskytkennällä toteutettu suojaus perustuu syötön riittävän nopeaan poiskytkentään vian aikana, ennen kuin viasta johtuva kosketusjännite aiheuttaa vaaraa henkilölle tai kotieläimelle. Automaattisessa syötön poiskytkennässä on oleellista valita oikeanlainen suojalaite ja mitoittaa vikavirtapiiri siten, että suojajohtimet kestävät vahingoittumina oikosulkuvirran vaikutukset suojalaitteen toiminta hetkeen asti.

Vikavirtapiiri muodostuu johtavasta piiristä, suojajohtimista ja vian alaisesta vaihejohtimesta.

Sähkönjakelujärjestelmän suojalaitteiden ja piirien ominaisuuksien on toteutettava siten, että syötön poiskytkentä tapahtuu määritetyn ajan sisässä, missä tahansa osassa piiriä tapahtuvassa oikosulku tilanteessa.

Vikasuojausta suunniteltaessa on varmistettava suojauksen toimivuus standardin SFS 6000 luvun 131 mukaisesti.

2.5.1 Suojajohdin ja sen mitoittaminen

TN-järjestelmässä kaikki jännitteelle alttiit osat ja muut johtavat osat on yhdistettävä jakelujärjestelmän maadoituspisteeseen, eli potentiaalintauspisteeseen. Osien yhdistämisellä toteutetaan toimiva potentiaalintaus sähköiskuilta suojaamista varten.

Suojajohtimen poikkipinta voidaan määrittää laskemalla se kaavan 15 mukaan tai valitsemalla sopiva poikkipinta taulukon 17 mukaan.

Maadoitusjohtimissa poikkipinnan määrittäminen tehdään kuten suojajohtimissa, mutta vaatimuksena on, että maadoitusjohtimen poikkipinnan on oltava vähintään 6 mm² kuparia tai 50 mm² terästä. Maahan upotettavissa maadoitusjohtimissa poikkipinnan on oltava vähintään 16 mm² kuparia tai 50 mm² terästä. (SFS-Käsikirja 6000, 2012)

$$A = \sqrt{(I^2)t/k} \quad (15)$$

t = Suojalaitteen toiminta-aika

k = Johtimen materiaalista riippuva kerroin

I = Suojalaitteen kautta kulkevan vikavirran tehollisarvo

A = Suojajohtimen poikkipinta

Taulukossa 17 annettuja arvoja voidaan käyttää vain suojajohtimen ollessa äärijohtimien kanssa samaa materiaalia.

Äärijohtimen poikkipinta A mm ²	Vastaava suojajohtimen poikkipinta mm ² , kun suojajohdin samaa materiaalia kuin äärijohtin
$A \leq 16$	A
$16 \leq A \leq 35$	16
$A > 35$	A/2

Taulukko 17 Suojajohtimen ja äärijohtimen suhteet

2.5.2 Syötön nopean poiskytkennän mitoitus

Vikasuojauksessa poiskytkennän on tapahduttava enintään 32 A ryhmäjohtoilla alle 0,4 sekunnissa ja tätä suuremmilla ryhmäjohtoilla enintään 5,0 sekunnin aikana. Suojauksen toteutuminen varmennetaan käyttöönototarkastuksessa mittaamalla piirin oikosulkuvirta ja vertailemalla saatua arvoa suojalaitteen edellyttämään virtaan. Vaihtoehtoisesti vikasuojauksen toteutuminen voidaan varmentaa laskemalla. Suojauksen toteutuminen tapahtuu normaalisi ylivirtasuojilla, mutta oikosulkuvirran ollessa riittämätön suojalaitteen toimintaan, voidaan suojaukseen käyttää vikavirtasuojaa.

On suositeltavaa toteuttaa suunnitteluvaiheessa oikosulkuvirran laskenta ja määrittää suojalaitteiden riittävyys. Tällöin käyttöönotto vaiheessa varmennetaan suunnitelmien toteutuminen asennuskohdessa.

Suunnitteluvaiheessa toteutettavan syötön nopean poiskytkennän toimivuuden selvittäminen tarkoittaa pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran määrittämistä. Oikosulkuvirtojen laskentaan on standardissa IEC 60909 esitetty tarkkoja laskentamalleja, mutta käytännössä oikosulkuvirtaa laskiessa voidaan käyttää yksinkertaistettuja laskentamalleja. Kaavassa 16 on esitetty laskukaava yksivaiheisen oikosulkuvirran laskentaan. Tässä kaavassa virhe voi korkeintaan nousta 10 % suuruiseksi turvallisempaan suuntaan, eli laskettu oikosulkuvirta on pienempi kuin todellinen oikosulkuvirta.

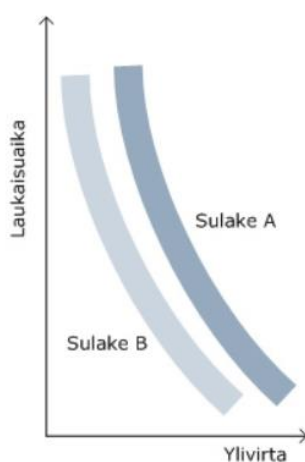
Oikosulkuvirtojen määrittämistä varten on myös jakeluverkkoyhtiöltä selvittävä pienin yksittäinen oikosulkuvirta liittymän luona.

2.6 Suojalaitteiden selektiivisyys

Suojalaitteiden selektiivisyys käsitteenä tarkoittaa suojalaitteen toimintaa ainoastaan sille tarkoitettulla varsinaisella suojausalueella vikatilanteessa. Usein vika tapahtuu sähkölaitteessa ja on ns. laite-tason vika. Tällöin vikavirta kulkee sarjaankytkettyjen suojausten lävitse. Esimerkiksi pistorasiaa syöttävää ryhmäjohtoa suojataan 16 A johdonsuojakatkaisijan, 25 A pääsulakkeen ja pääkytkimen kautta. Tällöin vikatilanteessa selektiivisyys tulee olla aseteltuna siten, että ainoastaan pistorasiaryhmää suojaava 16 A johdonsuojakatkaisija toimii. (Esa Tiainen, 2015)

2.6.1 Aikaselektiivisyys

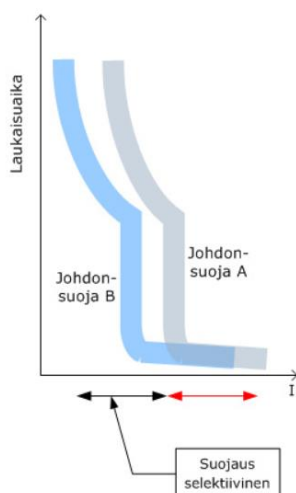
Aikaselektiivisyudessa porrastetaan suojalaitteiden toiminta-aikoja sopivassa suhteessa toisiinsa nähdessä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että jakeluverkon loppupäässä suojalaitteella toiminta-aika on lyhyempi kuin verkon alkupäässä toimivilla suojalaitteilla. (Esa Tiainen, 2015)



Kuva 6 Suojalaitteiden toiminta-aikakäyrät eivät leikkaa toisiaan (Pirkko Harsia, 2009)

2.6.2 Virtaselektiivisyys

Virtaselektiivisyyden toiminta perustuu vikapaikasta riippuen vikavirran suuruuden vaihteluun. Vikavirta on suurempi mitä lähempänä ollaan syöttöä ja kaukana syötöstä vikavirta on pienempi. Tätä ominaisuutta käytetään hyödyksi valitsemalla aina edeltävä suojalaite tarpeeksi herkäksi, jolloin selektiivisyys toteutuu.



Kuva 7 Toimintakäyrät virtaselektiivisyudessa (Pirkko Harsia, 2009)

2.6.3 Selektiivisyyden toteaminen

Selektiivisyyden toteutuminen voidaan todeta suojalaitteiden ominaiskäyriä vertailemalla. Selektiivisyys on saavutettu tilanteessa, jossa ensimmäinen ominaiskäyrä on jälkimmäisen ominaiskäyrän alapuolella. Lisäksi käyrät eivät saa leikata toisiaan millään odotettavissa olevan ylivirran arvolla. Vertailussa käytetään ensimmäisen suojalaitteen alinta toimintakäyrää sekä jälkimmäisen ylintä toimintakäyrää. Selektiivisyyden toteutumiselta ei vaadita täydellisyyttä, sillä sen toteuttaminen voisi aiheuttaa kohtuuttoman ylimitoituksen ja kustannukset.

2.7 Jännitteen alenema

Standartissa SFS 6000 on esitetty suosituksia jännitteen alenemasta kuluttajan sähköverkossa. Pienjänniteverkosta syötetyille sähkölaitteille jännitteen alenema saisi olla enintään 5 prosenttia, kun taas valaistuskuormalle suositus on enintään 3 prosenttia. Yksittäisestä teholahteesta syötetyillä sähkölaitteilla jännitteen alenemat voivat olla näitä suosituksia suuremmat. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012)

Jännitteenaleneman laskemiseen voidaan käyttää seuraavia kaavoja 17-19, jotka ovat tasajännitteelle, yksivaiheiselle vaihtojännitteelle ja kolmivaiheiselle vaihtojännitteelle.

Tasajännitteelle:

$$\Delta U = I * 2 * r * l \quad (17)$$

Yksivaiheiselle vaihtojännitteelle:

$$\Delta U = I * 2 * l * (r \cos\varphi \pm x \sin\varphi) \quad (18)$$

Kolmivaiheiselle vaihtojännitteelle:

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (r \cos\varphi \pm x \sin\varphi) \quad (19)$$

$\Delta U =$ jännitteenalenema voltteina (V)

$I =$ kuormitusvirta (A)

$l =$ johdon pituus (m)

$r =$ ominaisresistanssi (Ω/km)

$x =$ ominaisreaktanssi (Ω/km)

$\varphi =$ jännitteen ja virran välinen vaihekulma

Kuorman ollessa induktiivinen käytetään laskennassa plusmerkkiä, kun taas kapasitiivisella kuormalla käytetään miinusmerkkiä. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012)

Yleensä tarpeellista on laskea suhteellinen jännitteenalenema, joka saadaan kaavasta 20.

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100\% \quad (20)$$

Δu = suhteellinen jännitteenalenema

ΔU = jännitteenalenema voltteina (V)

U_n = nimellisjännite (V)

2.8 Ylijännitesuojauksen tarve

Suomessa ukkospäivien määrä on vähäinen verrattuna useimpiin muihin Euroopan maihin ja tästä syystä Suomi on ilmoittanut CENELEC:lle kansallisen erityisolosuhteen, koskien matalampaa ylijännitesuojauksen vaatimuksen velvoitetta. Esimerkiksi Suomessa vallitsevissa olosuhteissa maakaapeloidussa kaupunkiympäristössä ei ylijännitesuojauksia tarvitse toteuttaa. Vaatimus ei koske myöskään alueita, kuten esimerkiksi Lappi, jossa salamaniskutiheys on erittäin pieni. (Sähköinfo Oy, 2017) Ylijännitesuojauksen tarve tulee kartoittaa SFS 6000 asettamien määräysten mukaisesti. Jollei riskin arvioinnilla ole toisin osoitettu, tulee ylijännitesuojaus toteuttaa taajama- ja maaseutu ympäristössä, jos ylijännitteen aiheuttamat seurauksilla on mahdollisuus vahingoittaa:

- (a) ihmishenkiä esimerkiksi aiheuttamalla haittaa turvajärjestelmille, tai aiheuttamalla haittaa terveydenhuoltolaitoksen toiminnalle.
- (b) kulttuuriperintöä tai julkisia palveluja
- (c) teollisuutta ja kaupallisia toimintoja
- (d) rakennuksia, joissa voi olla suuria ihmismääriä.

Tavallisissa asunnoissa ja vapaa-ajan asunnoissa ylijännitesuojauksen tarve arvioidaan riskiarvioinnin avulla. Tässäkin tapauksessa, vaikka riskiarviointi osoittaisi, että ylijännitesuojausta ei vaadita, voi olla turva- ja tietoliikennejärjestelmien suojaaminen ylijännitteeltä tarpeen. (Sähköinfo Oy, 2017) Riskiarvioinnissa lasketaan todettu riskitaso CRL, jolla määritellään se, vaaditaanko suojausta transienttiylijännitettä vastaan. CRL-arvon laskemiseen käytetään kaavaa 21.

$$CRL = \frac{F_{env}}{(L_p * N_g)} \quad (21)$$

CRL = Todettu riskitaso

F_{env} = Ympäristökerroin

N_g = Salamaniskutiheys

L_p = Pituus

CRL-arvon ollessa yhtä suuri tai suurempi kuin 1000 ylijännitesuojauksia tulee käyttää. Arvon ollessa alle 1000 ei ylijännitesuojauksia tarvitse käyttää.

Kerroin F_{env} on ympäristökerroin, jonka laskemiseen voidaan käyttää kaavaa 22. (Tapani Nurmi, SESKO ry, 2017)

Maaseutu ja taajamaympäristö:

(22)

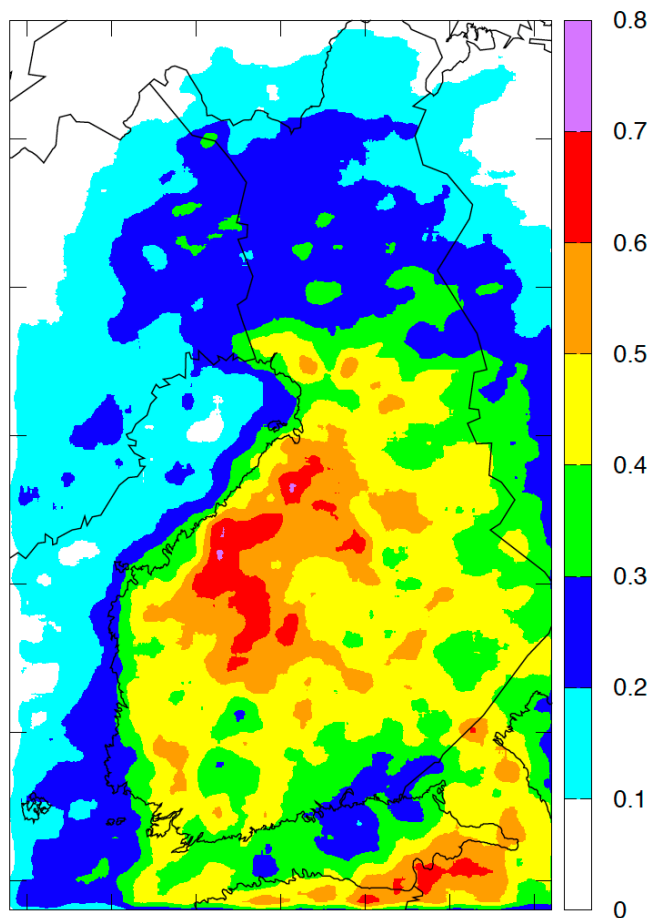
$$F_{env} = 85 * F$$

Kaupunkiympäristö:

$$F_{env} = 850 * F$$

Yksittäisillä asunnoilla, vapaa-ajan asunnoilla ja niihin liittyvillä tiloilla voidaan F:n arvona käyttää 3. Muissa asennuksissa F:n arvona käytetään 1.

Ng on liitettävän sähköjärjestelmän sijainnille ominainen salamaniskutiheys, joka määritellään salamaniskuja km² kohti vuodessa. (Sähköinfo Oy, 2017).



Kuva 8 Keskimääräinen vuotuinen maasalamatiheys 1998-2016 (Ilmatieteenlaitos, 2016)

Riskitasoa arvioidessa tulee salamatiheden ja ympäristökertoimen lisäksi tietää pituus L_p , joka lasketaan seuraavan kaavan 23 mukaisesti:

$$L_p = 2 * L_{pal} + L_{pcl} + 0,4 * L_{pah} + 0,2 * L_{pch} \quad (23)$$

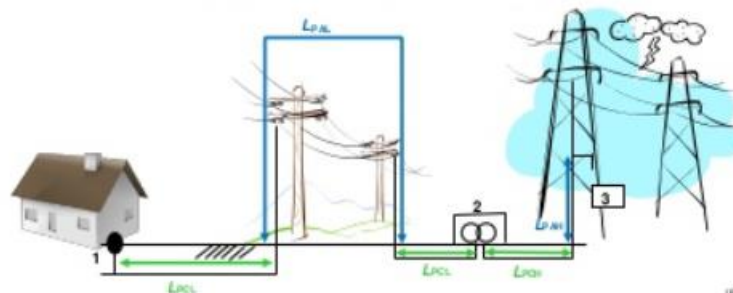
L_{pal} = pienjänniteilmajohdon pituus (km)

L_{pcl} = pienjännitemaakaapelin pituus (km)

L_{pah} = suurjänniteilmajohdon pituus (km)

L_{pch} = suurjännitemaakaapelin pituus (km)

Kokonaispituus L_p rajoitetaan yhden kilometrin etäisyyteen tai jakeluverkon lähimpien ylijännitesuojien etäisyyteen asennuksen sisäänmenosta, riippuen kumpi näistä on pienempi. Tilanteessa, jossa jakeluverkon etäisyydet ovat joko kokonaan tai osittain tuntemattomia pienjänniteilmajohdon pituudeksi valitaan etäisyys, joka on jäljellä yhden kilometrin kokonaispituuden täyttymisestä. (Sähköinfo Oy, 2017)



$$\bullet L_p = 2 L_{PAL} + L_{PCL} + 0,4 L_{PAH} + 0,2 L_{PCH} \text{ (max 1 km)}$$

Kuva 9 Esitys asennuksesta, jossa näytetään käytettävät pituudet (Tapani Nurmi, SESKO ry, 2017)

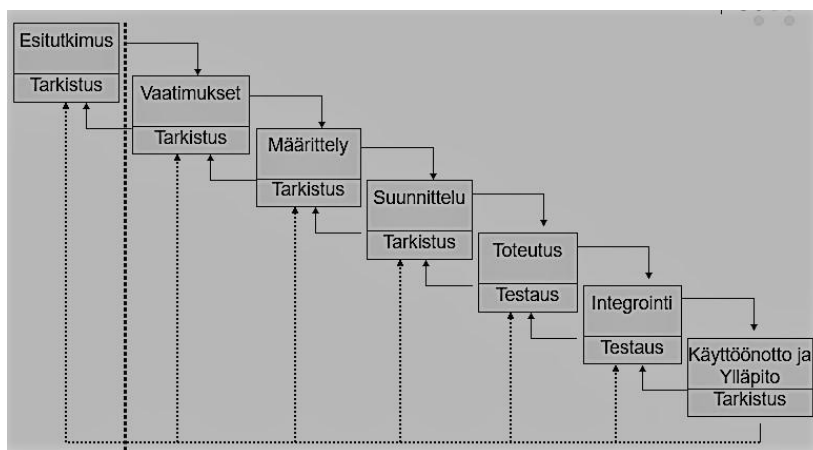
Ylijännitesuojauksen sijoittaminen tehdään mahdollisimman lähelle asennuksen liittymiskohtaa. Suojauksena sähköverkosta tulevia salamajännitteitä, sekä kytkentäjännitteitä vastaan käytetään tyyppin 2 ylijännitesuojaa. Tyyppin 1 ylijännitesuojia, sekä tyyppin 1 ja tyyppin 2 yhdistelmäsuojia käytetään, jos rakenne on varustettu ulkoisella salamansuojajärjestelmällä ja suojaus suorilta salamaniskuilta on määritetty muuten.

Jos tyyppin 1 ylijännitesuoja ei toteuta suojausta vaatimusten mukaisesti, on sen yhteyteen lisäksi asennettava tyyppin 2 ja 3 ylijännitesuojat. Näin varmistutaan vaaditun ylijännitesuojaustason täyttymisestä. Lähellä laitteita, jotka ovat herkkiä ylijännitteiden vaikutuksille voidaan käyttää lisäsuojauksena tyyppin 2 tai 3 lisäylijännitesuojia. (Sähköinfo Oy, 2017)

3 OHJELMISTOTUOTANTO

3.1 Vaihejakomalli

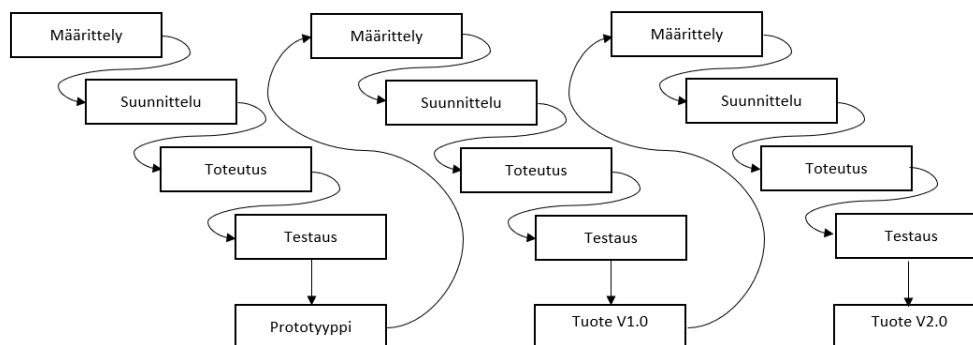
Vaihejakomalli tarkoittaa ohjelmiston kehitystyössä tai koko sen elinkaaressa käytettyä tapaa, jolla se jaetaan vaiheisiin. Yleisin käytössä oleva vaihejakomalli on vesiputousmalli (kuva 10). Muita vaihejakomalleja ovat esimerkiksi spiraalimalli ja prototyypimalli. Prototyypilähestymistavalla voidaan käsittää lähes mitä vain työskentelymallia, jossa jotain tuotteen osaa testataan ennen kuin tuotetta on varsinaisesti rakennettu. (Ilkka Haikala J. M., 2004) (Ilkka Haikala T. M., 2011)



Kuva 10 Vesiputousmalli (Ilkka Haikala J. M., 2004)

Vaihejakomallin kaikki vaiheet sisältävät toimenpiteitä ja menetelmiä laadunvarmistamiseksi mm. tarkastuksia ja testauksia. Näillä laadunvarmistustoimenpiteillä voidaan välttää virheitä jo ohjelmistotuotannon varhaisissa vaiheissa. Yleensä jokaisen vaiheen päätteeksi pidetään katselmus, jossa projektin tilanne todennetaan ja tarkastellaan vaiheen tavoitteiden täyttymistä. (Ilkka Haikala J. M., 2004)

Tämän opinnäytetyön toteutuksessa käytettiin ns. protoilumallia (kuva 11).



Kuva 11 Esimerkki protoilumallista

3.1.1 Esiselvitys ja vaatimukset

Proessin esitutkintavaiheessa asetetaan yleisiä järjestelmätason vaatimuksia eli ns. asiakasvaatimuksia. Nämä vaatimukset määrittelevät asiakkaan tarpeet ottamatta kantaa järjestelmään, joka täyttäisi tarpeet. Esitutkimuksessa käsitellään kysymyksiä miksi ohjelmisto kannattaa tehdä ja miksi ei kannata tehdä. Tässä vaiheessa tärkeää on ymmärtää ja selvittää asiakkaan todelliset tarpeet ja vaatimukset, jotta päädyttäisiin hyvään järjestelmään. (Ilkka Haikala J. M., 2004)

3.1.2 Määrittely

Määrittelyvaiheessa analysoidaan esiselvitysvaiheessa esilletulleita järjestelmätason vaatimuksia. Näistä johtamalla saadaan ohjelmistovaatimukset, joiden avulla toteutettava ohjelmisto tai järjestelmä määritellään. Ohjelmistovaatimusten perusteelta voidaan toteuttaa toiminnalliset määrittelyt, joissa kuvataan ohjelmiston toiminnot, ei toiminnalliset vaatimukset kuten suoritusnopeus ja vasteaika sekä rajoitukset kuten muisti ja ohjelmistokieli. Myös ohjelmistolla toteutettavat toiminnot, käyttöliittymä ja kommunikointi määritellään ohjelmistotoimintoja määrittäessä. (Ilkka Haikala J. M., 2004)

3.1.3 Suunnittelu

Suunnitteluvaiheessa suunnitellaan määrittelyssä kuvattujen toimintojen toteutus. Tämä vaihe jaetaan yleensä useampaa tasoon ja järjestelmä jaetaan useaan toisista riippumattomiin moduuleihin. Tämä vaihe on arkkitehtuurisuunnittelua ja sen synnyttämää dokumentaatiota kutsutaan tekniseksi määrittelyksi.

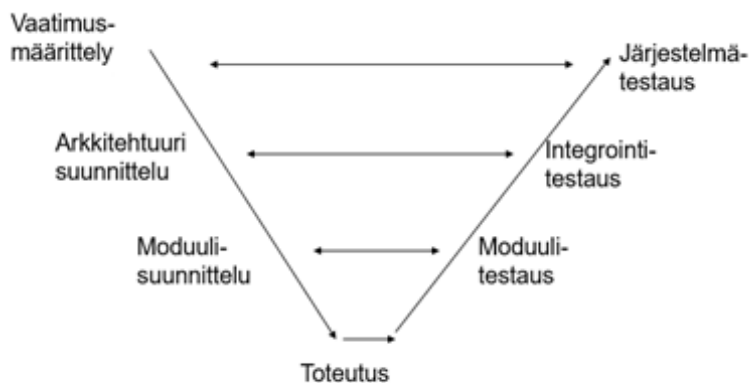
Kun arkkitehtuurivaihe on toteutunut, seuraa moduulisuunnitteluvaihe, jonka tuloksena jokaiselle moduulille on suunniteltu sisäinen rakenne. Moduulilla yleisesti tarkoitetaan ohjelman sisältämää erillistä ja itsenäistä loogista kokonaisuutta.

3.1.4 Toteutus

Toteutusvaiheeksi kutsutaan ohjelman kirjoittamista sen ensimmäiseen virheettömään versioon asti. Toteutus sisältää ns. ohjelmointivaiheen, jonka toteutustapa riippuu ohjelmointikielestä ja ohjelmointivälineestä.

3.1.5 Testaus

Testauksessa haetaan ohjelman virheitä, eli poikkeamia spesifikaatiosta ja se toteutetaan yleisesti monella tasolla ns. V-mallin mukaisesti. V-mallissa testaus on jaettu kolmeen osaan, joita ovat moduulitestaus, integrointitestaus ja järjestelmätestaus. Järjestelmätestauksen tarkoitus on etsiä vikoja ja virheitä koko järjestelmästä ja sen toiminnasta. Integrointitestauksella haetaan vikoja moduulien välisessä toiminnassa. Moduulitestauksella vikoja etsitään moduulien sisäisistä toiminnoista. Usein varsinkin tuotekehityksessä suurimmat kustannukset aiheutuvat juuri testauksista ja siihen liittyvien vikojen korjaamisesta. (Ilkka Haikala J. M., 2004)



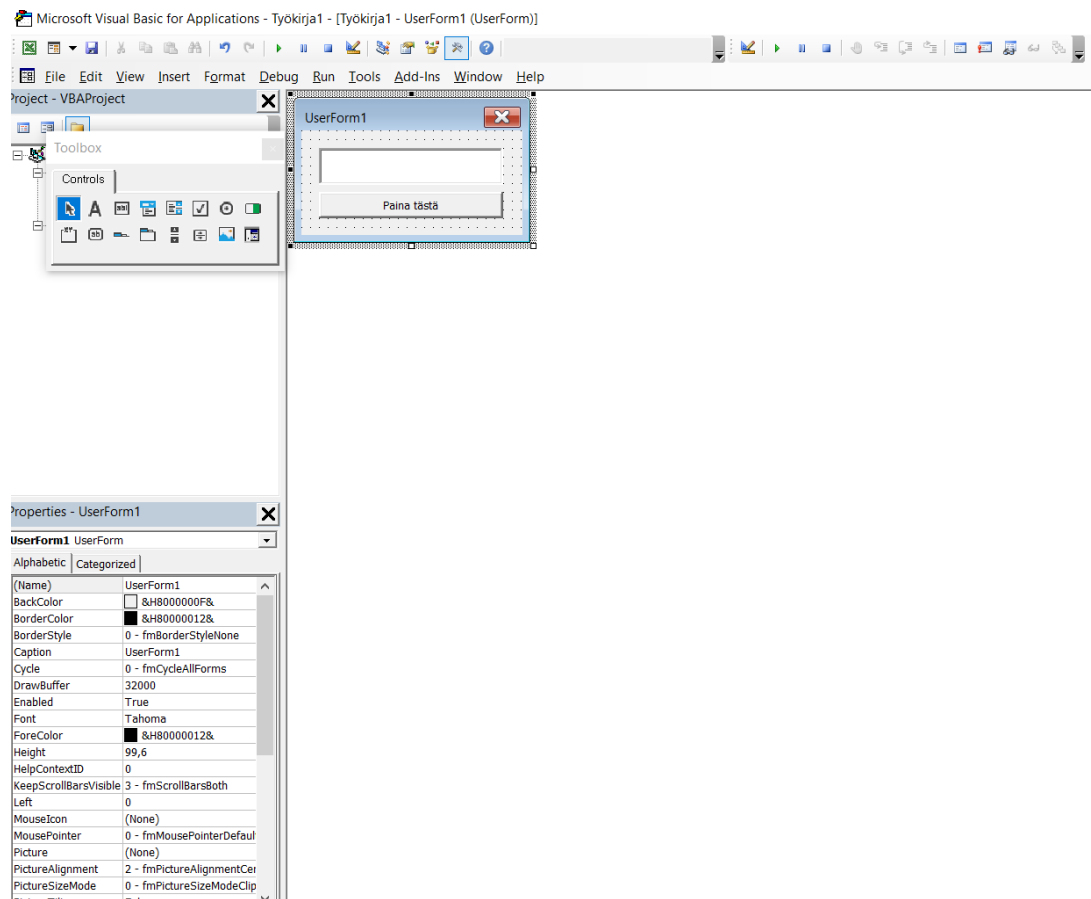
Kuva 12 Testauksen V-malli (Ilkka Haikala J. M., 2004)

3.1.6 Käyttöönotto ja ylläpito

Ylläpito tarkoittaa ohjelmiston muutoksia, korjauksia ja asiakkaan ongelmien ratkomista ohjelman ollessa asiakkaalla jo käytössä. Ylläpitoa voidaan ajatella korjaavana ylläpitona, täydentävänä ylläpitona ja adaptiivisena ylläpitona. Korjaavassa ylläpidossa korjataan ongelmia ja virheitä ohjelmasta, kun taas adaptiivisessa ylläpidossa tehdään muutoksia ohjelmaan. Täydentävä ylläpito tarkoittaa toiminnallisuuden ja ominaisuuksien parantelua ja lisäämistä ohjelmaan. Usein ohjelmistotuotannossa ei ole varsinaista ylläpitovaihetta, vaan ylläpidot toteutuvat tuottamalla ohjelmistosta seuraava versio. (Ilkka Haikala J. M., 2004)

4 VBA (VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS) LYHYESTI

Visual Basic for Applications on Microsoftin ohjelmissa käytetty ohjelmointikieli, joka toimii isäntäohjelman sisällä. VBA on ns. makrokieli, jolla voidaan täydentää ja ohjata varsinaisen isäntäohjelman toimintoja. (Microsoft, 2018)

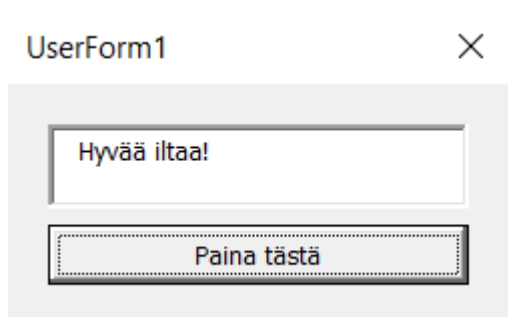


Kuva 13 Ohjelmointi ympäristö

Ohjelmointi tapahtuu Visual Basic for Applications- näkymässä. Esimerkiksi yksinkertainen ohjelma, jossa tekstikenttään kirjoitetaan teksti nappia painamalla, tapahtuu lisäämällä projektille ohjain (UserForm1). Ohjaimelle lisätään tekstikenttä (TextBox1) ja painonappi (CommandButton1). Painonapille annetaan tapahtuma, joka tässä tapauksessa on painonapin painallus (Click).

```
Private Sub CommandButton1_Click()
    'Napin painallus lisää tekstin tekstikenttään
    TextBox1.Text = "Hyvää iltaa!"
End Sub
```

Kuva 14 Click toiminto CommandButtonilla



Kuva 15 Userform1 toiminnassa

Painonapin tapahtumalle annetaan toiminto, joka tässä tapauksessa on "Hyvää iltaa!" tekstin lisääminen tekstikenttään.

Hyvä ohjelmointitapa olisi lisätä ohjelmalle riittävästi kommentteja, nimetä ohjelman osat ja muuttajat yms. järkevästi, käyttää sisennyksiä, käyttää vakioita ja käyttää rivivälejä. Kuten kuvan 15 esimerkissä ohjelman toiminnolle on annettu kommentti, jossa kerrotaan ohjelman toiminnon suorittama tapahtuma. (Tampereen yliopisto, 2014)

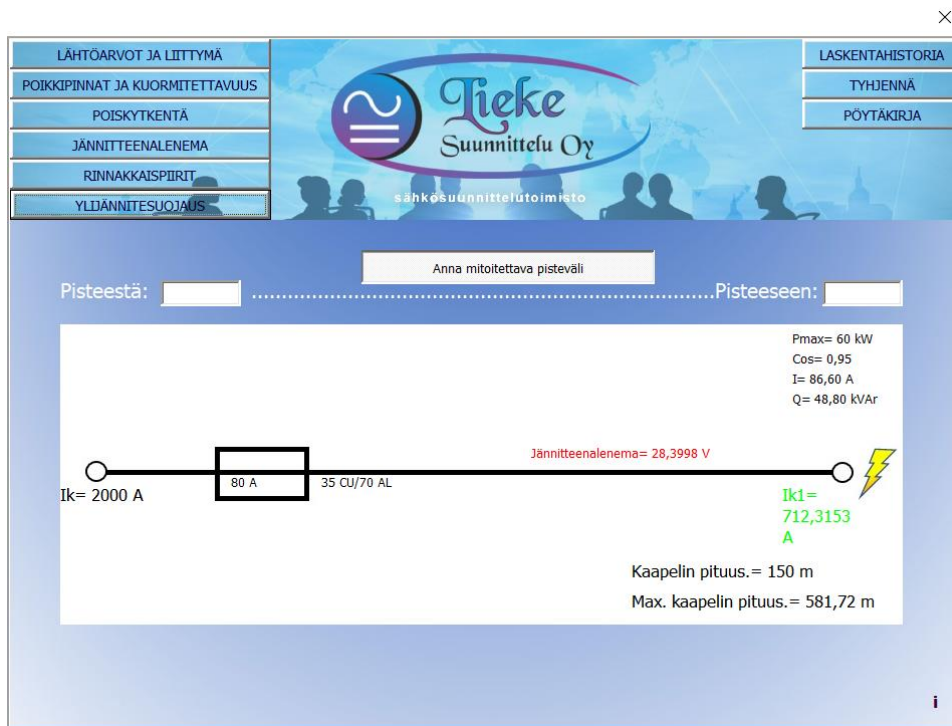
5 PIENJÄNNITESÄHKÖASENNUSTEN MITOITUSTYÖKALU

Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa toimeksiantajalle työkalu sähköasennusten mitoitusten laskemiseen ja oikeellisuuden todentamista varten. Toteutus tehtiin ns. prototyypimallilla, jonka eteneminen tapahtui esiselvitys- ja määrittelyvaiheesta suunnitteluun ja toteutukseen sekä testaukseen ja ensimmäiseen prototyyppiin. Ensimmäisen prototyypin valmistumisen jälkeen mitoitustyökalua testattiin toimeksiantajan kanssa ja tarvittavat muutokset sekä ilmenneet virheet kirjattiin ylös. Prototyypin pohjalta määriteltiin toimeksiantajan tarpeita, jotka toteutettiin ensimmäiseen käyttöönottoon menevään versioon. Ensimmäistä versiota testattiin toimeksiantajan edustajan kanssa, jolloin ohjelmassa ilmeni vielä muutamia yksittäisiä virheitä korjattavaksi ennen käyttöönottoa.

5.1 Määrittely ja Esiselvitys

Projektin esiselvitysvaiheessa kävimme toimeksiantajan kanssa läpi heidän tarpeitaan ja vaatimuksiin toteutettavasta mitoitustyökalusta. Toimeksiantajalla oli käytössä Excel- taulukkolaskelmaohjelmalla toteutettu yksinkertainen taulukko, jolla voitiin laskea jännitteenalenema ja oikosulkusuojauksen toteutuminen. Toimeksiantajan vaatimuksia toteutettavalle mitoitustyökalulla oli pienjänniteasennusten johdon/sähköasennuksen suojausten toteutumisen määrittely, kaapelin poikkipinnan määrittäminen, jännitteenaleneman laskeminen ja ylijännitesuojauksen tarpeen riskianalyysin toteutus.

Määrittelyssä ohjelmistokieleksi valittiin Microsoft Excelin sisältämä VBA- ohjelmointikieli sen yksinkertaisuuden, toiminta-alustan saatavuuden ja muokattavuuden vuoksi.



Kuva 17 Päänäkymä ja laskentoja

Ohjelmaan lisättiin myös toiminto, jolla laskennoista voidaan tallentaa pöytäkirja uutena Excel-taulukkona. Lisäksi ohjelmaan tuli myös historia kaikista suoritetuista laskennoista sekä toiminto, jolla tiedot näkymistä voidaan tyhjentää.

Ohjelmiston toteutettiin VBA- ohjelmointikielellä (kuva 14), jossa ylijännitesuojauksen riskiarvioinnin arvo CRL selvitetiin moduulin LASKE_CRL() avulla. Moduulissa ohjelma kirjoittaa aluksi käyttöliittymään syötetyt lähtötiedot Excel-laskentataulukkuun. Käyttöliittymän valintaruutujen valinnat käsitellään If-lauseiden avulla. Lopuksi CRL-arvo tuodaan taulukosta moduuliin muuttujalle CRL. Erillinen moduuli palauttaa lasketut arvot ohjelman käyttöliittymään ja pöytäkirjaan.

```

Sub LASKE_CRL()
On Error GoTo Virhekasittely
'Siirretään tiedot käyttöliittymästä taulukkuun
ActiveSheet.Range("c184") = UserForm11.ComboBox1.Text
ActiveSheet.Range("c188") = UserForm11.TextBox1.Text
ActiveSheet.Range("c189") = UserForm11.TextBox2.Text
ActiveSheet.Range("c190") = UserForm11.TextBox3.Text
ActiveSheet.Range("c191") = UserForm11.TextBox4.Text
'Käsitellään valintoja
If UserForm11.CheckBox1.Value = True Then
    ActiveSheet.Range("d186") = "850"
ElseIf UserForm11.CheckBox2.Value = True Then
    ActiveSheet.Range("d186") = "85"
End If
If UserForm11.CheckBox3.Value = True Then
    ActiveSheet.Range("c186") = "3"
ElseIf UserForm11.CheckBox4.Value = True Then
    ActiveSheet.Range("c186") = "1"
End If
'Tuodaan tieto taulukosta
CRL = ActiveSheet.Range("C183")
Virhekasittely:
Select Case Err.Number
Case 13 ' Jako nolllalla
    MsgBox "Puutteelliset tiedot!", vbCritical
Case 11 ' epäkelvollinen arvo
    MsgBox "Vain numeroita, kiitos!", vbCritical
    ' Yritetään uudestaan
    Resume
End Select
End Sub

```

Kuva 18 Ylijännitesuojauksen ohjelmamoduulin koodi

Käyttöliittymässä moduulit eli ns. aliohjelmat on linkitetty näkymien painonappeihin. Esimerkiksi ylijännitesuojauksen tarpeen riskiarvioinnissa käyttöliittymään on lisätty painonappi, joka suorittaa moduulit LASKE_CRL ja Kirjoita_CRL, sekä lopuksi palauttaa muuttujalle "tallennus" arvon tallennus + rivinvaihto + tekstiruudun teksti.



Kuva 19 Ylijännitesuojauksen tarpeen käyttöliittymä

```
Private Sub CommandButton2_Click()
    LASKE_CRL
    Kirjoita_CRL
    tallennus = tallennus & Chr$(13) & Chr$(10) & UserForm11.TextBox6.Text
End Sub
```

Kuva 20 Laske CRL painonapin toiminnot

5.3 Testaus ja Prototyyppi

Ohjelman testausta tapahtui koko ohjelmointiprosessin ajan aina, kun jokin moduuli oli saatu valmiiksi. Moduulien välistä toimintaa testattiin, kun jokin käyttöliittymän näkymistä oli valmis ja kaikkien sisältämät funktiot, aliohjelmat ja moduulit oli saatu valmiiksi. Järjestelmätestausta suoritettiin, kun ohjelma oli prototyyppivaiheessa ja oletuksena että ohjelma oli rakenteeltaan ja toiminnoiltaan riittävä toimeksiantajan edustajan testikäyttöön. Tässä vaiheessa ohjelma oli hyvin yksinkertainen, eikä visualisointiin oltu juuri panostettu. Näkymät sisälsivät vain tarvittavat ominaisuudet, kuten valintaruudut ja painikkeet. Prototyyppivaiheessa ohjelmasta puuttui vielä ylijännitesuojauksen tarpeen määrittäminen, eikä ohjelmassa ollut vielä toimintoa, jolla tuloksista saisi pöytäkirjan.

Prototyypin testauksessa ilmenneitä korjauksia ja lisäyksiä olivat:

- toiminto, jolla laskennoista saadaan pöytäkirja
- päänäkymään mitoitettavan pistevälin nimeämismahdollisuus
- taulukkotietojen lisääminen

- värit oikosulkuvirran arvolle (punainen, kun Ik1 on liian pieni ja vihreä, kun Ik1 on ok)
- ylijännitesuojauksen tarpeen arviointi.

5.4 Ensimmäinen käyttöönotettava versio V1.0

Versio 1.0 toteutettiin prototyypin testauksessa ilmenneiden korjaus- ja lisäystarpeiden perusteelta. Testauksessa ilmenneet toiminnot lisättiin ohjelmaan ja havaitut virheet korjattiin. Lisäksi ohjelman käyttöliittymän visualisointia tehostettiin lisäämällä värejä ja kuvia käyttöliittymän näkyymiin. Mitoitustyökalun taulukoihin lisättiin kaapelitietoja ja muuntajien tietoja, joita ohjelma käyttää "tietokantana" laskennoissa.

Johdo	Rv a/km	R0 a/km	Xv a/km	Xv0 a/km	X0 a/km	Johdo	Rv a/km	R0 a/km	Xv a/km	Xv0 a/km	X0 a/km
AMKA 1x16+25	2,064	1,491	0,030	0,030	0,030	AMKA 3x35+50	0,114	0,225	0,069	0,069	0,069
AMKA 1x25+35	1,237	1,065	0,090	0,090	0,090	Muuntaja	Pm [n]	Xm [n]	Pmo [n]	Xmo [n]	Iv-Dikos- virta [A]
AMKA 3x16+25	2,064	1,491	0,108	0,108	0,108	200	0,011	0,03	0,012	0,031	7102,8
AMKA 3x25+35	1,237	1,065	0,106	0,106	0,106						0,0324
AMKA 3x35+50	0,338	0,778	0,104	0,104	0,104						
AMKA 3x50+70	0,853	0,533	0,101	0,050	0,071						
AMKA 3x70+90	0,633	0,533	0,101	0,101	0,101						
AMKA 3x120+95	0,479	0,392	0,037	0,037	0,037						
AMKA 1x16+33	0,273	0,392	0,032	0,032	0,032						
AMCMK 3x16+10 Cu	2,064	2,060	0,082	0,082	0,082						
AMCMK 3x25+10 Cu	1,238	2,060	0,082	0,082	0,082						
AMCMK 3x25+16 Cu	1,238	1,240	0,082	0,082	0,082						
AMCMK 3x35+10 Cu	0,339	2,060	0,082	0,082	0,082						
AMCMK 3x35+16 Cu	0,339	1,240	0,082	0,082	0,082						
AMCMK 3x50+16 Cu	0,694	1,240	0,078	0,078	0,078						
AMCMK 3x70+21 Cu	0,480	0,936	0,075	0,075	0,075						
AMCMK 3x95+23 Cu	0,348	0,691	0,075	0,075	0,075						
AMCMK 3x120+41 Cu	0,276	0,478	0,072	0,072	0,072						
AMCMK 3x150+41 Cu	0,226	0,478	0,072	0,072	0,072						
AMCMK 3x185+57 C	0,181	0,345	0,072	0,072	0,072						
AMCMK 3x240+72 C	0,140	0,275	0,072	0,072	0,072						
AMCMK 3x300+88 C	0,114	0,225	0,069	0,069	0,069						
AURA 3x50+29 Cu	0,694	0,691	0,078	0,078	0,078						
AURA 3x95+57 Cu	0,348	0,345	0,075	0,075	0,075						
AURA 3x150+95 Cu	0,226	0,225	0,072	0,072	0,072						
APAKM 3x35+35	0,941	0,941	0,072	0,072	0,072						
APAKM 3x70+70	0,479	0,479	0,066	0,066	0,066						
APAKM 3x120+120	0,278	0,278	0,062	0,062	0,062						
APAKM 3x185+185	0,183	0,183	0,060	0,060	0,060						
AXCMK 3x16+10	2,064	2,060	0,078	0,078	0,078						
AXCMK 3x25+10	1,238	2,060	0,078	0,078	0,078						
AXCMK 3x35+10	0,339	2,060	0,075	0,075	0,075						
AXCMK 3x70+21	0,480	0,936	0,072	0,072	0,072						
AXCMK 3x120+41	0,276	0,478	0,069	0,069	0,069						
AXCMK 3x185+57	0,181	0,345	0,069	0,069	0,069						
AXCMK 3x300+88	0,114	0,225	0,069	0,069	0,069						
AXMK 4x16s	2,064	2,064	0,031	0,031	0,031						

Teho kVA	Pm [n]	Xm [n]	Pmo [n]	Xmo [n]	Iv-Dikos- virta [A]	Zm [n]
15	0,34	0,2	0,014	0,013	854	0,28320
30	0,18	0,14	0,07	0,0033	1421	0,18186
50	0,083	0,097	0,0087	0,098	2,028	0,11342
100	0,031	0,056	0,033	0,057	3,559	0,08462
200	0,011	0,03	0,012	0,031	7,103	0,03238
315	0,0085	0,021	0,007	0,022	10,290	0,02235
500	0,0037	0,014	0,0041	0,014	15,845	0,01452
800	0,0018	0,0092	0,0021	0,0096	24,148	0,00952
1000	0,0015	0,0079	0,0018	0,0083	28,079	0,00819
1250	0,0011	0,0076	0,0014	0,0081	29,266	0,00786
1600	0,0008	0,006	0,0011	0,0064	37,103	0,00620
2000	0,0006	0,0048	0,0008	0,0052	46,202	0,00498

Johdon pituus km	Uv c
0,1	230,94
0,95	

zv1	Ik1	max L
0,1532298		4850,2703

Yksivaiheisen oikosulkuvirran laskenta jakeluverkossa
 Yksivaiheinen oikosulkuvirta lasketaan kaavasta (11)

$$I_{ik} = \frac{U_0}{\sqrt{[2R_{\Sigma} + R_{\Sigma} + 3L(R_1 + R_2)]^2 + [2X_{\Sigma} + X_{\Sigma} + L(2X_1 + X_2 + 3X_3)]^2}}$$

Kuva 21 Kaapeli- ja muuntajatietoja

Tätä versiota 1.0 testattiin jälleen toimeksiantajan edustajan kanssa ja ohjelmasta löytyi vielä muutamia virheitä, joita korjattiin ennen varsinaista käyttöönottoa.

5.5 Käyttöohje ja opastus

Ohjelmalle toteutetaan käyttöohje ja esimerkkilaskuja eri tilanteista. Lisäksi toimeksiantajalle annetaan käytönopastusta ohjelman käytöstä sen luovutuksen yhteydessä.

5.5.1 Käyttöönotto

Pienjännitteisten sähköasennusten mitoitusyökalusta versiosta 1.0 tehtiin käyttöohje, joka kattaa ohjeet mitoitus toimintojen muiden ominaisuuksien käyttöä varten. Käyttöohjeet ovat tämän opin näytetyön liitteessä.

Toimeksiantajalle annettiin käytönopastus mitoitusyökalun käyttöönotto toimenpiteistä ja työkalun käytöstä. Lisäksi mitoitusyökalua testattiin esimerkkilaskelmilla ja mitoituksilla.

Työkalu ja käyttöohjeet luovutettiin toimeksiantajalle muistitikulla ja käyttöohje myös tulosteena.

5.5.2 Ohjelman ja käsin laskun vertailua

Esimerkki 1: Pienin oikosulkuvirta Ik liittymässä PK:lta on 180 A. PK:lta syötetään ryhmäkeskusta RK:ta. PK: ja RK:n välinen etäisyys on 35 metriä ja kaapelina käytetään MMJ 5x6S. Piiriä suojaava sulake on 25A gG sulake tulppasulake. Lasketaan oikosulkuvirta Ik1 keskuksessa RK, sekä vastaava impedanssi ennen pääkeskusta.

Lasketaan aluksi poiskytkentäehtojen toteutuminen ja suurin sallittu johdonpituus käsin.

PK:

$$I_k = 180A$$

$$Z_V = (0,95 \times 400 V) / \sqrt{3} \times 180A = 1,22 \Omega$$

RK:

$$Z_{V1} = Z_V + 2 \times 3,66 \Omega / km \times 0,035 km = 1,48 \Omega$$

$$I_{k1} = (0,95 \times 400 V) / \sqrt{3} \times 1,48 \Omega = 148 A$$

RK:ta syöttävä nousujohto on 5x6 mm², joka on suojattu 25 A gG sulakkeella. Syöttävän johdon pituus on 35m ja laukaisuaika 5s.

Taulukosta katsotaan pienimmäksi oikosulkuvirraksi 110A, joka on vähemmän kuin 148 A. Poiskytkentäehto täyttyy.

Lasketaan suurin sallittu johdonpituus:

$$I_{max} = ((0,95 \times 400 V) / \sqrt{3} \times 110A) - 1,22 \Omega = 105m, joten 35 m on OK.$$

Seuraavaksi määritellään poiskytkentäehtojen toteutuminen ja suurin sallittu johdonpituus mitoitusohjelmalla.

1. Syötetään tunnetut lähtötiedot niille varatuille tekstikentille ohjelmaan (kuva 18).
2. Suoritetaan laskenta painikkeesta (kuva 18).
3. Ohjelma laskee arvot ja näyttää tulokset niille varatulla tekstikentällä (kuva 18).
4. Tulokset kirjautuvat myös päänäkymää (kuva 19).

Ohjelmaa käytettäessä laskenta tapahtui huomattavasti nopeammin käsin laskuun verrattuna. Lisäksi ohjelmaa käyttäessä ei tarvinnut etsiä tietoja taulukoista, vaan ohjelma hakee tiedot sen sisältämistä taulukoista.

Syötön nopean poiskytkennän ehtojen toteutuminen

Nollaa Laske

Pienin oikosulkuvirta (littymässä) Ik..... 180

TAI

Virtapiirin kokonaisimpedanssi Z..... 1,2189

Kerroin C..... 0,95

Pääjännite U..... 400

Ikin ja kaapelin impedanssin perusteella Muuntajan ja kaapelin perusteella

Johdin PE mm² 6 ja johdinmateriaali Cu Al

Johdin L mm² 6 ja johdinmateriaali Cu Al

Johtimen pituus m 35 0,4s

Suojaava sulake/VVSK (A) 25 gG B C D K

Zv Ω..... 1,4762

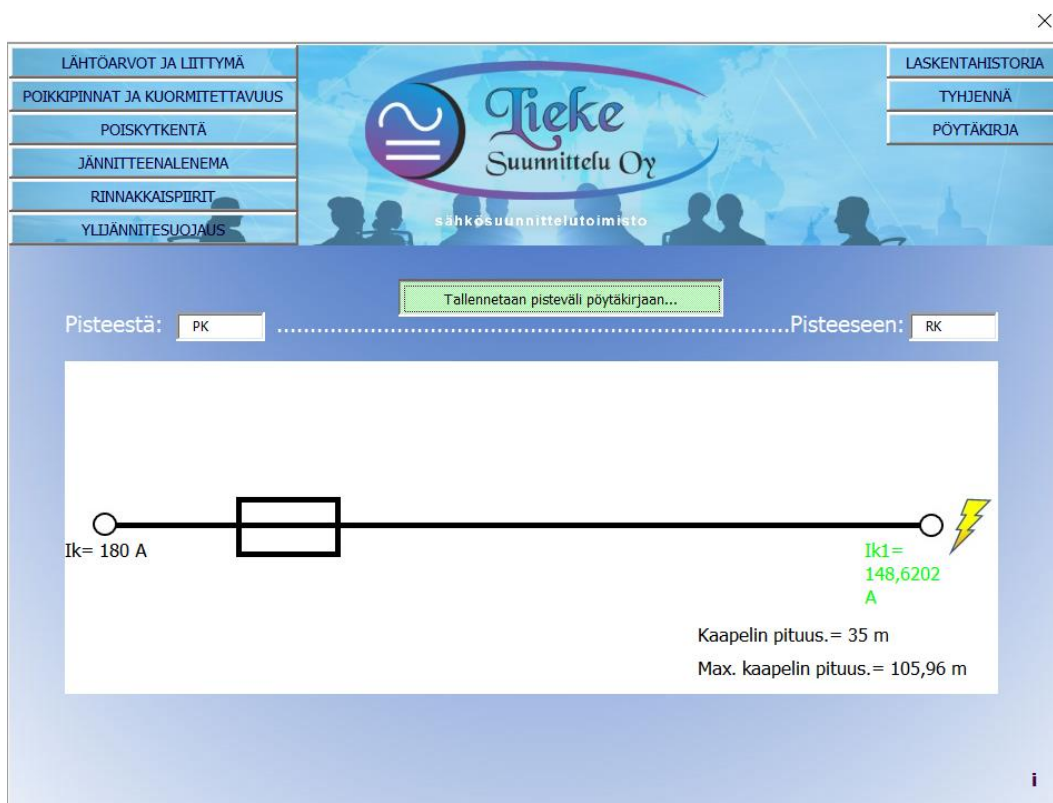
Ik1 A..... 148,6202

Vaadittu oikosulkuvirta Ik (A)..... 110

Johtimen max. pituus (m)..... 105,960680

Liittymän yksivaiheinen oikosulkuvirta Ik on 180 A.
Vastaava impedanssi ennen suojalaitetta on 1,2189 Ohm.
Laskettu yksivaiheinen oikosulkuvirta pisteessä on 148,6202 A
Vaadittu yksivaiheinen oikosulkuvirta pisteessä on 110 A

Kuva 22 Poiskytkentäehtojen toteutuminen



Kuva 23 Poiskytkentäehdot päänäkymässä

6 MITOITUSOHJELMIEN VERTAILUA

6.1 Febdok

Febdok on pienjännitesähköasennusten dokumentointiin ja mitoittamiseen tarkoitettu ohjelma. Febdokin avulla voidaan Suomessa tarkistaa asennusten standardin mukaisuus SFS6000 mukaisesti.

Se sisältää laajat kirjastot eri komponenteista ja ohjelmistoa voidaan käyttää sekä vanhojen että uusien asennusten tarkistamiseen.

Vuonna 2017 ohjelmiston hankintahinta oli 1115 €+alv ja Sähköinfon jäsenille 765 €+alv. Hankinta hinnan lisäksi käyttäjä maksaa kuukausihintaista ylläpitomaksua, joka on 41,76 €+alv ja Sähköinfon jäsenille 28,8 €+alv.

FebDok tuottaa pääkaaviot ja ryhmäkaaviot koko laitteistolle tai sen osalle ilman rajoitteita virtapiirien määrälle tai kuormitukselle. Ohjelmiston avulla voidaan tarkistaa selektiivisyys ylikuormitus- ja oikosulkutilanteissa. Ohjelmisto tuottaa mm. seuraavat dokumentit mitoittavasta laitteistosta: pääjohtokaaviot ja ryhmäjohtokaaviot, laskennan tulokset ja suojalaitteiden ja kaapeleiden selektiivisyysanalyysit, kansisivun, päätiedot, poikkeamakaaviot, UPS-kyselyn, generaattori- kyselyn ja vaatimustenmukaisuusvakuutuksen. (Sähköinfo, 2017)

6.2 CADS Electric

Cads Electic on suunnittelujärjestelmä, joka mahdollistaa kaikki sähkö-, data- ja antennijärjestelmien suunnittelutyöt 2D ja 3D- muodossa. Ohjelmistolla voidaan suunnitella myös järjestelmä-, keskus- ja piirikaaviot. (CADS, 2018)

Ohjelmistolla saadaan mm. suhteellinen jännitteenalenema kaapelivälille, jos projektiin on luotu keskus, josta kaapeli lähtee, sekä sähköpiste johon kaapeli päättyy. Lisäksi kaapelille tulee olla määritettyä kaapelityyppi, asennustapa ja pituus. Ohjelmisto on tarkoitettu pääasiassa sähkösuunnitteluun, eikä sähköasennusten mitoitus- tarkasteluun.

6.3 Ols-consult

Ols-consult Oy tekee Excel- pohjaisia laskentasovelluksia sähkötekniisten mitoitus- tarpeisiin.

Mitoitusohjelmalla voidaan suorittaa sähköverkon mitoitus- nopeasti. Ohjelma sisältää mm. maksimi- ja minimoikosulkuvirrat verkon eri osissa, ryhmäjohton maksimi pituuden, jännitteen aleneman annetuilla kuormitusvirroilla, johdon sallitun kuormitettavuuden ja sulakkeiden selektiivisyyden. Laskentasovellukset eivät sisällä erillistä näkymää tai käyttöliittymää, vaan lähtötietojen ja arvojen syöttäminen tapahtuu Excel- taulukkoon, joka sisältää lomakkeen ohjausobjekteja.

Mitoitusohjelman hinta on 500 €, joka sisältää ALV: n. (Ols-consult Oy, 2014)

7 OPINNÄYTETYÖN MERKITYS

Toimeksiantajan vaatimusten mukaisen mitoitustyökalun avulla mahdollistetaan sähkösuunnittelijan nopea sähkökaapelin ja suojauksen mitoittaminen sekä mitoitusten oikeellisuuden tarkistaminen. Yksinkertaisella ohjelmoinnilla toteutetulla mitoitustyökalulla saatiin toimeksiantajan käyttöön heidän tarpeitaan vastaava toimintatapa, joka ei vaadi suunnittelijalta mitoitusten määrittämistä käsin laskemalla.

Tämän opinnäytetyön toteuttaminen kehitti ja syvensi omaa tuntemustani sähkötekniikasta ja -suunnittelusta sekä yksinkertaisten alakohtaisten toimisto-ohjelmien tuottamisesta. Vertailemalla markkinoilta löytyviä mitoitusohjelmistoja saatiin myös kuva vaihtoehdoista ja ohjelmistojen kattavuudesta siinä määrin mitä se oli mahdollista ilman ohjelmistojen varsinaista hankintaa.

Lisäksi ohjelmointityön ongelmat ja haasteet antoivat kuvaa ohjelmoinnista toimialana, sekä kehitti omaa tuntemustani ohjelmoinnista sekä Microsoftin ohjelmissa käytetyn VBA- ohjelmointikielen tuntemuksesta.

8 LÄHDELUETTELO

- CADS. (2018). *CADS*. Noudettu osoitteesta <http://www.cads.fi/ohjelmistot/cads-electric>
- Esa Tiainen, S. O. (2015). *Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus*. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
- Ilkka Haikala, J. M. (2004). *Ohjelmistotuotanto*. Talentum Media Oy.
- Ilkka Haikala, T. M. (2011). *Ohjelmistotuotannon käytännöt*. Hämeenlinna: Talentum Media Oy.
- Ilmatieteenlaitos. (2016). <https://ilmatieteenlaitos.fi>. Noudettu osoitteesta <https://ilmatieteenlaitos.fi>.
- Microsoft. (2018). *ffice VBA Reference*. Noudettu osoitteesta Microsoft: <https://docs.microsoft.com/en-us/office/vba/api/overview/>
- Ols-consult Oy. (2014). *Ols-consult Oy*. Noudettu osoitteesta Ols-consult Oy: <http://www.ols-consult.fi/tuotteet/mitoitus.html>
- Pirkko Harsia. (2009). *Ensto: suojiin selektiivisyys*. Noudettu osoitteesta Ensto: <http://www2.amk.fi>
- SFS-Käsikirja 6000. (2012).
- ST 53.24.01. (2017). ST 53.24.01 Rinnankytketyt johtimet ja niiden suojaus. Sähkötieto ry.
- ST-kortisto ST 13.31. (2015). ST13.31 Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. Sähkötieto ry.
- ST-kortisto ST 53.24. (2017). ST 53.24 Ohjeita kiinteistöjen enintään 1000 V johtojen mitoituksesta ja suojauksesta. Sähkötieto ry.
- ST-kortisto ST 56.76, S. (2018). ST 56.76 Suojaus sähkölaitteiston aiheuttaman lämmön vaikutuksilta. Sähkötieto Ry.
- Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. (2012). *D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista*. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
- Sähköinfo. (2017). *Sähköinfo*. Noudettu osoitteesta Sähköinfo: <http://kauppa.sahkoinfo.fi/product/group/63>
- Sähköinfo Oy. (2017). SFS 6000 uudistuu 2017. *Ylijännitesuojausvaatimus laajenee*. Espoo: Sähköinfo Oy.
- Sähköinfo Oy Severi. (ei pvm). Liittymisjohdon asentaminen. *Liittymisjohdon asentaminen*. Sähköinfo Oy.
- Sähkötieto ry. (2014). *ST-käsikirja 30 sähkötekniisiä taulukoita*. Espoo: Sähkötieto ry.
- Tampereen yliopisto. (2014). *Hyvä ohjelmointitapa*. Noudettu osoitteesta <http://www.sis.uta.fi>
- Tapani Nurmi, SESKO ry. (5. 10 2017). SFS 6000 Uudistus 2017. *SFS 6000 Uudistus 2017*. Suomen Standartisointiliitto ry.

LIITE 1 JOHDON SUOJAUS ERI TILANTEISSA

4.3 Johdon suojaus eri tilanteissa

Taulukko 4.3.1. Johdon oikosulkusuojana toimivan sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta. Jatkosten ja päätteiden oikosulkukestoisuus on tarkistettava erikseen (jatkuu) 19/.

1	2	3
Johdon poikkipinta mm ²	Sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A	
	gG-sulake	aM-sulake
Kuparijohdin, PVC-eristys (esim. MMJ, MK, yms.) ¹⁾		
0,75	10	–
1,0	16	–
1,5	25	10
2,5	32	16
4	40	25
6	63	40
10	80	63
16	125	100
25	200	160
35	250	200
50	315	315
70	400	400
95	500	500
120	630	630
150	800	800
185	1000	1000
240	1000	1250
300	1250	1250
Kuparijohdin, PVC-eristys, konsentrisen kuparijohdin (esim. MCMK)		
n × 1,5 + 1,5	25	10
n × 2,5 + 2,5	32	16
n × 4 + 4	40	25
n × 6 + 6	63	40
n × 10 + 10	80	63
n × 16 + 16	125	100
n × 25 + 16	160	125
n × 35 + 16	160	125
n × 50 + 25	250	200
n × 70 + 35	315	250
n × 95 + 50	400	315
n × 120 + 70	500	500
n × 150 + 70	500	500
n × 185 + 95	630	630
n × 240 + 120	800	800

¹⁾ Sulakkeen valinnan määrää johdon poikkipinnaltaan pienin johdin.

Taulukko 4.3.1. Johdon oikosulkusuojana toimivan sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta. Jatkosten ja päätteiden oikosulkukestoisuus on tarkistettava erikseen (jatkoa) 19).

1 Johdon poikkipinta mm ²	2 Sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A	
	gG-sulake	aM-sulake
Alumiinijohtimet, PVC-eristys (esim. AMMK) ¹		
16	100	63
25	125	100
35	200	125
50	250	200
70	315	250
95	400	315
120	500	400
150	630	500
185	630	630
240	800	800
300	1000	1000
400	1000	1250
500	1250	1250
630	1250	1250
800	1250	1250
Alumiinijohtimet, PEX-eristys (esim. AXMK) ¹		
16	125	80
25	160	125
35	250	200
50	315	250
70	400	315
95	500	500
120	630	630
150	630	630
185	800	800
240	1000	1000
300	1250	1250
400	1250	1250
500	1250	1250
630	1250	1250
800	1250	1250

¹⁾ Sulakkeen valinnan määrää johdon poikkipinnaltaan pienin johdin.

Taulukko 4.3.1. Johdon oikosulkusuoja toimivan sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta. Jatkosten ja päätteiden oikosulkukestoisuus on tarkistettava erikseen (jatkoa) 19).


1	2	3
Johdon poikkipinta mm ²	Sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A gG-sulake	aM-sulake
Alumiinijohtimet, PEX-eristys (esim. AMCMK)		
3 × 16 Al + 10 Cu	100	63
3 × 25 Al + 10 Cu	125	80
3 × 35 Al + 10 Cu	125	80
3 × 50 Al + 15 Cu	160	125
3 × 70 Al + 21 Cu	250	160
3 × 95 Al + 29 Cu	250	200
3 × 120 Al + 41 Cu	400	315
3 × 150 Al + 41 Cu	400	315
3 × 185 Al + 57 Cu	500	400
3 × 240 Al + 72 Cu	630	500
3 × 70 Al + 35 Al + 21 Cu	200	125
3 × 120 Al + 70 Al + 41 Cu	315	250
3 × 185 Al + 95 Al + 57 Cu	400	315
Alumiinijohtimiset, PEX-eristys plus konsentrinen kuparijohdin (esim. AXCMK)		
3 × 16 Al + 10 Cu	125	80
3 × 35 Al + 10 Cu	160	125
3 × 70 Al + 21 Cu	315	250
3 × 120 Al + 41 Cu	500	400
3 × 185 Al + 57 Cu	630	500
3 × 300 Al + 88 Cu	800	800

LIITE 2 KÄYTTÖOHJE


PIENJÄNNITESÄHKÖASENNUSTEN MITOITUSTYÖKALU KÄYTTÖOHJE

1 ALOITUS JA ENNEN KÄYTTÖÄ TEHTÄVÄT TOIMENPITEET

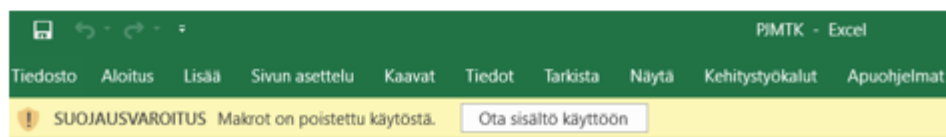
1. Avataan tiedostokansio V1.0

 V1.0	26.10.2018 0.25	Tiedostokansio
--	-----------------	----------------

2. Avataan Excel-tiedosto PJMTK

 PJMTK	29.10.2018 22.45	Microsoft Excel -la...	792 kt
---	------------------	------------------------	--------

3. Otetaan makrot käyttöön Excelissä



2 ALOITUSNÄKYMÄ

Aloituskäytävästä päästään suorittamaan halutut mitoituslaittoiminnot vasemman reunan painikkeilla:

1. Lähtöarvot
2. Poikkipinta ja kuormitettavuus
3. Poiskytkentä
4. Jännitteenalennema
5. Rinnakkaispiirit
6. Ylijännitesuojaus

Näkymän vasemmassa reunassa on toiminnot:

7. Laskentahistoria
8. Pöytäkirja

Mitoitettava pistevälille annetaan pisteiden nimet niille varatuille tekstiruuduille.

- Aluksi painetaan pisteväli painiketta
- kun painike on punainen, syötetään tiedot
- painetaan painike jälleen vihreäksi

Näkymän keskellä on ns. työnäkymä, jossa nimetyt pistevälilaskentatulokset näkyvät.

3 MITOITUSTOIMINNOT

3.1 Lähtöarvot

Mitoitukseen vaikuttavat lähtöarvot X

Tyhjennä
Laske

Lähtöarvoihin annetaan huipputeho P_{max} / kW.
 Jos huipputeho ei ole tiedossa, voidaan sen määrittämiseen käyttää ST-korttia 13.31 "Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen". Jos käytät tasauskerronta, anna se kohtaan C, muuten tasauskerron on 1.

$P_{max} =$ kW $C =$

Kuormituksen loistehon tarvetta kuvataan tehokertoimella $\cos\phi$. Voit määrittää loistehon arvon syöttämällä $\cos\phi$ arvon, tai määrittää $\cos\phi$ arvon syöttämällä tunnetun loistehon arvon Q.

$Q =$ kvar $\cos\phi =$

P_{max} ja oletettu kuormitusvirta I.

P_{max}	<input type="text"/>	kW
I	<input type="text"/>	A
Ylivirtasuojaja	<input type="text"/>	A

- Lähtöarvoissa syötetään tunnettu P_{max} sille varattuun tekstikenttään.
- Jos tasauskertoimen c arvo on jokin muu kuin 1, niin muutetaan arvoa
- Syötetään tunnettu loisteho Q tai tunnettu $\cos\phi$:n arvo.

- Painetaan Laske-painikkeesta, jolloin ohjelma laskee virran I ja mitoittaa vaaditun ylivirtasuojan suuruuden.

3.2 Poikkipinnat ja kuormitettavuus

Kun valittuna on johdon poikkipinnan määrittäminen, niin näkymään syötetään oletettu kuormitusvirta sille varatulle tekstikentälle.

Johdon poikkipinta ja mitoitus

Valitse

Määritetään johdon poikkipinta, kun tiedetään oletettu suuri sähkökuormitusvirta.
 Määritetään valittava sähkö, kun tiedetään johdon poikkipinta.

Määritetään johdon poikkipinta ja johdon materiaali, jos sähkö määritetään.

Oletettu kuormitusvirta

LASKENNAN TULOKSET:

Kytke pois **OK**

Kun valittuna on sulakkeen määrittäminen johdon poikkipinnan perusteella, niin syötetään johdon poikkipinta sille varatulle tekstikentälle, sekä valitaan johdin materiaali Al/Cu.

Johdon poikkipinta ja mitoitus

Valitse

Määritetään johdon poikkipinta, kun tiedetään oletettu suuri sähkökuormitusvirta.
 Määritetään valittava sähkö, kun tiedetään johdon poikkipinta.

Määritetään johdon poikkipinta ja johdinten materiaali, jos sähkö määritetään.

Johdon poikkipinta

Johdinten materiaali Alumiini (Al) Kupari (Cu)

LASKENNAN TULOKSET:

Kytke pois **OK**

Seuraavaksi valitaan "Jatka" ja siirrytään valikkoon, jossa määritetään korjauskertoimeen vaikuttavat tekijät mm. asennustapa, eristemateriaali, lämpötilat, läpiviennit, johdinten määrä ja sijainti, sekä yliaaltojen osuus.

Painamalla "Jatka" siirrytään takaisin johdon poikkipinnan ja sulakkeen määritys valikkoon, jossa tekstikentässä näkyvät tulokset valinnoille.

3.3 Poiskytkentä

Syötön nopean poiskytkennän ehtojen toteutuminen

Nollaa Laske

Pienin oikosulkuvirta (liittymässä) Ik..... 2200
 TAL
 Virtapiirin kokonaimpedanssi Z..... 0,0997
 Kerron c..... 0,95
 Pääjännite U..... 400

Tiedot

Ik ja kaapelin impedanssin perusteella Muuntajan ja kaapelin perusteella
 Johtin PE mm² 2,5 ja johdinmateriaali Cu
 Johtin L mm² 2,5 ja johdinmateriaali Cu Al
 Johtimen pituus m 20
 Suojavaiva sulake/VVSK (A) 16 gG B C D K

Tulokset

Zr D..... 0,4508
 Ikt A..... 486,675
 Vaadittu oikosulkuvirta I_k (A)..... 110
 Johtimen max. pituus (m)..... 108,025006

Liittymän yksivaiheinen oikosulkuvirta Ik on 2200 A.
 Vastaava impedanssi ennen suojalaitetta on 0,0997 Ohm.
 Laskettu yksivaiheinen oikosulkuvirta pisteessä on 486,675 A
 Vaadittu yksivaiheinen oikosulkuvirta pisteessä on 0 A

Automaattisen poiskytkennän ehtojen toteutumisen määrittämiseksi on aluksi tiedettävä oikosulkuvirta mitoitetettavan virtapiiriin liittymässä = I_k . Seuraavaksi annetaan tiedot kaapelille ja suojaukselle (jos laskenta suoritetaan kaapelin impedanssin perusteella).

Painamalla "Laske" saadaan laskennan tulokset tekstikenttään, sekä päänäkymään.

Jos laskenta halutaan suorittaa muuntajan ja kaapelin perusteella, valitaan esivalinta "Muuntajan ja kaapelin perusteella".

Ik ja kaapelin impedanssin perusteella Muuntajan ja kaapelin perusteella

Muuntajan teho Sn
 Kaapelityyppi
 Johtimen pituus m 20
 Suojavaiva sulake/VVSK (A) 16 gG B C D K

3.4 Jännitteenalenema

Jännitteenaleneman määrittämiseksi on tietoihin annettava johdon pituus kilometreinä, johtimen virta I , sekä pääjännite V .

Painamalla "Laske" saadaan teksikentälle jännitteenalenema Volteina, sekä suhteellinen jännitteenalenema prosentteina.

Jännitteenalenema ×

Tiedot

Ominaisresistanssi r (Ohm/m).....	<input type="text" value="0"/>
Ominais reaktanssi x (Ohm/m).....	<input type="text" value="0"/>
Johdon pituus (Km).....	<input type="text" value="1"/>
Johtimen pölkkipinta (mm ²).....	<input type="text" value="16"/>
cos ϕ	<input type="text" value="0,95"/>
I (A).....	<input type="text" value="16"/> <input type="button" value="Laske 2"/>
U_n (V).....	<input type="text" value="400"/>

1-Vaiheinen Cu Induktivinen kuorma
 3-Vaiheinen Al Kapasitiivinen kuorma

Tulokset

Laskenta1: Jännitteenalenema on 34,9805 V = 8,7451 %

3.5 Rinnakkaispiirit

Mitoitustyökalulla voidaan myös määrittää mitoitusvirrat johtimille, jos tiedetään piirin mitoitusvirta, sekä johtimien impedanssit.

Virtapiirin mitoitusvirrat näkyvät päänäkymän ns. "työnäytöllä".

The screenshot shows a software window titled "Rinnanpiirit" with a close button (X) in the top right corner. Below the title bar are two buttons: "Nollaa" and "Laske". The main content area has a light blue background and contains the text "Rinnankytkettyjen piirien ja johtimien ylikuormitussuojaus." Below this is a white rectangular area with a blue border containing the following input fields:

- "Virtapiirin mitoitusvirta....." followed by a text input field.
- "Johtimien määrä....." followed by three radio buttons labeled "1", "2", and "3". The "2" radio button is selected and highlighted with a red box.
- "Johtimien impedanssit....." followed by three rows of labels and input fields:
 - "Johdin 1" with an input field containing "0".
 - "Johdin 2" with an input field containing "0".
 - "Johdin 3" with an input field containing "0".
- "Johdinten mitoitusvirrat:" followed by three rows of labels and input fields:
 - "Johdin 1" with an empty input field.
 - "Johdin 2" with an empty input field.
 - "Johdin 3" with an empty input field.

3.6 Ylijännitesuojaus

Ylijännitesuojauksen tarpeen riskikartoitus tehdään määrittämällä ympäristö, salamatiheys ja riskitaso.

Ylijännitesuojaus

Laske CRL

Ympäristö

- Kaupunkiympäristö
- Maaseutu ja taajama ympäristö
- Yksittäinen asunto, vapaa-ajan asunto, tai niihin liittyvä tila
- Muu asunto

Salamatiheys

Riskitaso

Pienjänniteilmajohdon pituus km.....

Pienjännitemaakaapelin pituus km.....

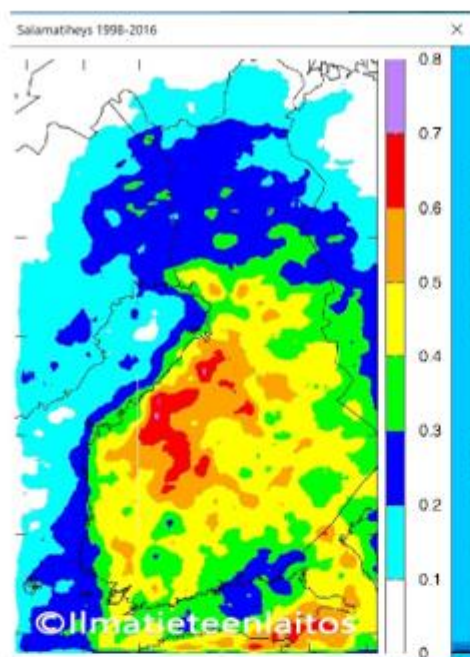
Suurjänniteilmajohdon pituus km.....

Suurjännitemaakaapelin pituus km.....

Pituus yhteensä km..... (Max 1 km)

Jos jakeluverkon pituudet ovat osittain tai kokonaan tukettamattomia, ilmajohdon pituus tulee valita yhtä suureksi kuin jäljellä oleva etäisyys, jolla 1km kokonaispituus saavutetaan.

Salamatiheys voidaan määrittää kartalta, jossa keskimääräinen salamatiheys vuosina 1998-2016 on esitetty väreittäin. Kartan oikeassa reunassa on vierityspalkki, josta salamatiheys voidaan valita 0 ja 0,8 väliltä.



Riskitason määrittämiseen annetaan tunnetut jakeluverkon osien pituudet 1 km saakka. Jos pituudet eivät ole tiedossa annetaan ilmajohdon pituus yhtä suureksi kuin jäljellä oleva etäisyys, jolla 1 km kokonaispituus saavutetaan.

Laskenta 1: CRL= 4112,9032-->Ylijännitesuojausta ei tarvita.

Valitsemalla "Laske CRL" saadaan CRL-arvo tekstikenttään.

- CRL > 1000 suojausta ei tarvita
- CRL < 1000 suojaus tarvitaan

4 MUUT TOIMINNOT


4.1 Laskentahistoria

Laskentahistoriassa näkyy suoritettujen laskentojen tulokset.

Laskentahistoria
<p>Laskenta 1 Korjauskerros=1 Asennustapa=A Sulake=50 A Suurin sallittu kuormitus=50 A</p> <p>Littymän yksivaiheinen oikosulkuvirta Ik on 2200 A. Vastaava impedanssi ennen suojalaitetta on 0,0997 Ohm. Laskettu yksivaiheinen oikosulkuvirta piteessä on 486,675 A Vaadittu yksivaiheinen oikosulkuvirta piteessä on 0 A Laskenta1: Jännitealenema on 34,9805 V = 8,7451 % Laskenta 1: CRL= 4112,9032-->Ylijännitesuojausta ei tarvita.</p>

4.2 Pöytäkirja

Pöytäkirja valinta avaa pöytäkirjan laskennoista uudessa Excel-tiedostossa

		Kohde:	Työnumero:	Luokka:	Päiväys:			
		Kohteen nimi	xxxx	nimi	Kaupunki/jvm			
		Osoite						
		Postinumero/kuunta						
Sähkötekniset laskennat								
Piteet	Johdotus	Kaapelipituus (m)	Max kaapelipit. (m)	Teho (kW)	Ylivirtausaja (A)	Oikosulkuvirta (A)	Jännitealenema (%)	Selektiivisyys
A-B		20,00	108,01	0,00	50,00	486,68	8,75	