

Tuukka Rautakoski

KAAPELEIDEN MITOITUSTYÖKALU

KAAPELEIDEN MITOITUSTYÖKALU

Tuukka Rautakoski
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkötekniikka

Tekijä: Tuukka Rautakoski
Opinnäytetyön nimi: Kaapeleiden mitoitustyökalu
Työn ohjaaja: Ensio Sieppi
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021
Sivumäärä: 29 + 3

Opinnäytetyön aiheena on kaapelin poikkipinta-alan mitoitus. Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa Insinööritoimisto Silvea Oy:lle Microsoft Excel -pohjainen pienjännitekaapeleiden mitoitustyökalu. Mitoitustyökalulla voidaan mitoitaa kaapelin poikkipinta-ala sulakkeen tai johdonsuojakatkaisijan nimellisvirran ja korjauskertoimien perusteella. Tavoitteena oli, että Excel-työkirjaan lisättäisiin myös jännitteenalenema- ja oikosulkulaskurit, jos ylimääräistä aikaa jää. Oikosulkuvirtalaskuri tehtiin, mutta jännitteenalenemalaskuri jätettiin työkalusta pois.

Työn taustana oli tilaajan tarve saada mitoitustyökalu sähkösuunnittelun tueksi. Kaapeleiden käsin mitoittaminen on hidasta ja mitoituserheet ovat mahdollisia, joten mitoitustyökalun käytöllä saadaan mitoituksesta nopeampaa ja luotettavampaa. Mitoituksen teoria perustuu D1-käsikirjaan ja SFS 6000-5-52:2017 -standardin kuormitettavuus- ja korjauskerroin-arvoihin.

Mitoitustyökalu toteutettiin Microsoft Excel -ohjelmalla. Työkaluun syötetään kaapeliasennuksen perustiedot, esimerkiksi eristys, ylivirtasuojan nimellisvirta ja asennusolosuhteet, joiden perusteella työkalu laskee asennukselle riittävän kaapelin minimipoikkipinta-alan. Työkalu rajattiin ainoastaan poikkipinta-alan määritykseen, eikä se sisällä esimerkiksi kaapelityypin määritystä. Työkaluun tehtiin lisäksi oikosulkuvirran laskentatyökalu, joka laskee likimääräisen oikosulkuvirran arvon tietylle kaapelikoolle, kun tiedetään syöttävän keskuksen oikosulkuvirta ja kaapelin pituus. Molempiin työkaluihin toteutettiin raportointimahdollisuus, jotta mitoituserusteet mitoitettulle kaapelille voidaan tarkistaa tarvittaessa myöhemmin.

Mitoitustyökalu on salassapidettävä ja se on tarkoitettu vain tilaajan käyttöön.

Asiasanat: sähkösuunnittelu, mitoitus, oikosulkuvirta, kuormitettavuus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Electrical and Automation Engineering, Electrical Engineering

Author: Tuukka Rautakoski
Title of thesis: Cable Sizing Tool
Supervisor: Ensio Sieppi
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021
Number of pages: 29 + 3

The topic of this thesis is the sizing of the cable cross-sectional area. The aim of the work was to design and implement a Microsoft Excel-based low-voltage cable sizing tool for Insinööritoimisto Silvea Oy. The sizing tool can be used to size the cable cross-section based on the rated current of the fuse or circuit breaker and correction factors. The goal was to add voltage drop and short circuit calculation tools to the Excel workbook if extra time remained.

The background of the work was the customer's need to have a sizing tool to support electrical design. Manual sizing of cables is slow and sizing errors are possible, so using a sizing tool makes sizing faster and more reliable. The sizing theory is based on the D1 manual and the load and correction factor values are based on the SFS 6000-5-52 standard.

The sizing tool was implemented with Microsoft Excel. The tool calculates the minimum cable cross-section area for the installation based on the basic cable installation information, such as insulation, the rated current of the overcurrent protection device and the installation conditions. The tool was limited to the determination of the cross-sectional area only and does not include, for example, the determination of the cable type. The tool was further provided with a short-circuit current calculation tool that calculates an approximate minimum short-circuit current value for a particular cable size when the short-circuit current of the supplying switchboard and cable length are known. A reporting capability was implemented for both tools so that the sizing criteria for a sized cable could be reviewed later if necessary.

Keywords: electric design, sizing, short-circuit current, current carrying capacity

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KAAPELEIDEN YLIVIRTASUOJAUS	7
2.1	Ylivirtasuojauksen vaatimukset	7
2.2	Oikosulkusuojaus	7
2.3	Ylikuormitussuojaus	8
3	KAAPELEIDEN MITOITUS.....	12
3.1	Kuormitettavuus	12
3.2	Oikosulkuvirta.....	16
4	MITOITUSTYÖKALUN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS	20
4.1	Suunnittelu	20
4.2	Mitoitustyökalun toteutus Microsoft Excelillä	20
4.3	Työkalun kehittäminen	21
4.4	Mitoitus kuormitettavuuden mukaan.....	21
4.5	Oikosulkuvirran laskentatyökalu	22
4.6	Raporttipohjat.....	23
4.7	Excel-työkalun testaus ja suojaus	23
5	MITOITUSTYÖKALUN KÄYTTÖ	25
5.1	Kaapelin mitoitus kuormitettavuuden perusteella	25
5.2	Oikosulkuvirran laskenta	26
5.3	Käyttöohje	27
6	YHTEENVETO	28
	LÄHTEET.....	29
	LIITTEET	30

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Insinööritoimisto Silvea Oy, joka on vuonna 2019 perustettu sähkösuunnittelutoimisto. Yrityksen palveluihin kuuluu teollisuus-, sähköverkko- ja rakennussähkösuunnittelu, ja palveluita tuotetaan sekä julkiselle sektorille että yritys- ja yksityisasiakkaille. Insinööritoimisto Silvea Oy toimii koko Suomessa ja työllistää tällä hetkellä yhteensä kuusi henkilöä. (1.)

Sähkösuunnittelussa kaapeleiden ja johtojen käsin mitoittaminen on hidasta ja työlästä etenkin suuremmissa suunnittelukohteissa. Käsin mitoittamisen vaarana on myös inhimilliset virheet, joiden takia kaapelin poikkipinta-ala voidaan mitoittaa liian pieneksi tai suureksi. Alimitoitus aiheuttaa sen, että kaapeli lämpenee liikaa ja aiheuttaa paloturvallisuusriskin. Ylimitoituksen seurauksena kustannukset kasvavat, koska poikkipinta-alaltaan suurempi kaapeli on kalliimpi kuin pienempi.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä Insinööritoimisto Silvea Oy:n sähkösuunnittelijoiden käyttöön Excel-pohjainen pienjänniteverkon kaapeleiden mitoitus työkalu, jolla voi mitoittaa suunniteltavien kohteiden kaikille sähkökaapeleiden johtimille oikeat poikkipinta-alat. Tavoitteena on, että työkalu laskee johtimen minimipoikkipinta-alan suojalaitteen nimellisvirran perusteella SFS 6000 -standardin mukaiset korjauskertoimet huomioiden. Mitoitus työkaluun voi lisäksi sisältyä oikosulkuvirran ja jännitteenaleneman laskentatyökalut, jos ne saa järkevästi toteutettua. Oikosulkuvirtalaskuri sisältyy työkaluun, mutta jännitteenalenemalaskuri jää työn ulkopuolelle. Työkalussa tulee olla mahdollisuus muodostaa mitoitetuista kaapeleista tulostettava raportti, johon koostetaan mitoitusperusteet, joiden perusteella poikkipinta-alat on laskettu. Raportista voi myöhemmin tarkistaa, onko kaapelin mitoitus tehty oikein.

2 KAAPELEIDEN YLIVIRTASUOJAUS

2.1 Ylivirtasuojauksen vaatimukset

Ylivirtasuojaus jaetaan kahteen osaan: ylikuormitus- ja oikosulkusuojaukseen. Ylivirtasuojauksen yleisvaatimuksena on, että "on käytettävä suojalaitteita poiskytkemään piirin johtimissa esiintyvä ylivirta ennen kuin ylivirran aiheuttamat termiset tai mekaaniset ilmiöt voivat aiheuttaa vaaraa vahingoittamalla eristystä, jatkoksia, liittimiä tai johtimia ympäröiviä materiaaleja" (2, s. 6).

Yleensä pienjänniteverkossa ylikuormitussuojaus toteutetaan yhdellä laitteella, joka täyttää sekä ylikuormitus- että oikosulkusuojalaitteille asetetut vaatimukset. Tällaisia ylivirtasuojalaitteita käytettäessä suojalaite on valittava siten, että se suojaa johtoa ylikuormitustilanteessa ja suojalaitteen katkaisukyvyyn on oltava riittävä katkaisemaan myös prospektiivinen oikosulkuvirta. Laitteita, joita voidaan käyttää sekä ylikuormitus- että oikosulkusuojana, ovat ylikuormituslaukaisijalla varustetut katkaisijat, katkaisijat yhdessä varokkeiden kanssa ja gG-tyyppisillä sulakkeilla varustetut varokkeet. (2, s. 7; 3, s. 135.)

2.2 Oikosulkusuojaus

Oikosululla tarkoitetaan tilannetta, jossa eri potentiaalissa olevien jännitteellisten osien välille syntyy erittäin pieni-impedanssinen vika. Oikosulku aiheuttaa johtimiin suuren ylivirran, joka aiheuttaa johtoihin ja liitoksiin lämpenemistä ja mekaanista rasitusta, joten ne on suojattava oikosulkusuojalla. (4, s. 164) Yleensä oikosulkusuojaus toteutuu, kun suojalaite täyttää ylikuormitussuojaukselle asetetut vaatimukset ja oikosulkuvirran katkaisukyky on riittävä (3, s. 150).

Oikosulkusuojan on oltava aina kaapelin alkupäässä (4, s. 164). Pelkästään oikosulkusuojaukseen käytettävä laite voi olla esimerkiksi aM-sulake, jota käytetään sähkömoottoreiden oikosulkusuojauksessa. Tulppasulakkeiden katkaisukyky on yleensä 20 kA, kun taas johdonsuojakatkaisijoiden standardiarvot ovat 1500 A, 3000 A, 6000 A ja 10 000 A. Suojalaitteen katkaisukykyä määriteltäessä käytetään prospektiivista oikosulkuvirtaa. (3, s. 135.) Prospektiivinen oikosulkuvirta on piirin

johtimissa kulkeva virta, kun johtimet on oikosuljettu mitättömän pienen impedanssin omaavan johtimen kautta (3, s. 142). SFS 6000-4-43 -standardissa on esitetty vaatimukset, jotka oikosulkusuojan on täytettävä:

Suojalaitteen mitoituskatkaisukyky ei saa olla pienempi kuin suojalaitteen asennuspaikalla esiintyvä prospektiivinen oikosulkuvirta, paitsi seuraavassa tapauksessa.

Pienempi katkaisukyky sallitaan, jos suojalaitteen syöttöpuolella on riittävän katkaisukyvyyn omaava toinen suojalaite. Tällaisessa tapauksessa molempien suojalaitteiden ominaisuudet on sovittava yhteen siten, ettei suojalaitteiden läpi kulkeva energia ylitä arvoa, jonka kuormituspuolen suojalaite ja suojattavat johtimet vahingoittumattomana kestävät. – –

Missä tahansa virtapiirin kohdassa esiintyvät oikosulkuvirrat on katkaistava viimeistään ajassa, joka ei ylitä aikaa, jossa johtimet saavuttavat suurimman sallitun rajalämpötilan. (2, s. 12.)

2.3 Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojien tehtävä on katkaista sähkönsyöttö tilanteessa, jossa johtimissa kulkeva virta on suurempi kuin mitoitusvirta. Ylikuormitusvirta ei ole vian aiheuttamaa, vaan se johtuu liian suuritehoisesta kuormasta. Ylikuormitusvirta aiheuttaa lämpötilan nousua, joka rasittaa komponentteja, liitoksia, eristystä ja johtimien ympäristöä. (5, s. 4.) SFS 6000-4-43 -standardi asettaa kaksi vaatimusta ylikuormitukselta suojaavalle suojalaitteelle. Ne näkyvät kaavoissa 1 ja 2.

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (\text{KAAVA 1})$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_Z \quad (\text{KAAVA 2})$$

jossa

- I_B on piirin suunniteltu virta
- I_Z on johtimen jatkuva kuormitettavuus (ks. SFS 6000-5-52 luku 523)
- I_n on suojalaitteen mitoitusvirta
- I_2 on virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa (2, s. 8.)

Ylikuormitussuoja sijoitetaan yleensä kaapelin alkupäähän, mutta joissain tapauksissa sen voi sijoittaa myös kuormituspuolelle tai jättää kokonaan pois (4, s. 144–164). Kun suojalaitteena käytetään B-, C- tai D-tyyppin johdonsuojakatkaisijaa ylikuormitussuojana, voidaan katkaisijan nimellistä virtaa valita suoraan johdon kuormitettavuuden mukaan, koska niiden terminen toimintarajavirta on 1,45 kertaa nimellisvirran suuruinen. Terminen toimintarajavirta tarkoittaa virtaa, jolla johdonsuojakatkaisija toimii ylikuormitustilanteessa varmasti tunnin kuluessa. Esimerkiksi kun johdon kuormitettavuus on 10 A, voidaan ylikuormitussuojana käyttää 10 A:n johdonsuojakatkaisijaa. Tämän tyyppisten suojalaitteiden rakennevaatimuksissa kaavan 2 vaatimukset on otettu huomioon. (3, s. 136; 6, s. 75; 7.)

Sulakkeita ylikuormitussuojana käytettäessä on otettava huomioon, että sulakkeen sulamisrajavirran suuruus on noin 1,6–2,1 kertaa suurempi kuin sulakkeen nimellistä virtaa (6, s. 75). Sulakkeiden sulamisrajavirrat näkyvät taulukossa 1. Sulamisrajavirta tarkoittaa virtaa, jolla sulake toimii varmasti tunnin kuluessa (3, s. 137). Koska sulakkeen sulamisrajavirta ei ole johdonsuojakatkaisijoiden tapaan 1,45-kertainen nimellisvirtaan verrattuna, johtimen kuormitettavuuden tulee sulakkeita käytettäessä noudattaa kaavaa 3.

$$k \times I_n \leq 1,45 \times I_Z \quad (\text{KAAVA 3})$$

missä:

- k on sulakkeen ylemmän sulamisrajavirran suhde sulakkeen nimellisvirtaan
- I_n on suojalaitteen mitoitusvirta
- I_Z on johtimen jatkuva kuormitettavuus (3, s. 136–137.)

Kertoimen k arvo määräytyy sulakkeen nimellisvirran perusteella taulukon 1 mukaan. k -arvot on esitetty taulukossa 1 muodossa $k \times I_n$, kertoimena taulukon kolmanteen sarakkeeseen, esimerkiksi ylemmän sulamisrajavirran 2,1 I_n -arvo taulukossa tarkoittaa, että k -arvo on 2,1. Taulukossa 1 sulamisrajavirrasta käytetään nimitystä toimintarajavirta.

TAULUKKO 1. Sulakkeiden toimintarajavirrat ja -ajat (7, s. 93)

Ylikuormitussuojien toimintavirrat ja ajat, joilla virrat on määritelty			
gG-sulake (IEC 269-2-1 mukaan)			
Nimellisvirta	Alempi toimintaraja	Ylempi toimintaraja	Aika
$I_n \leq 4 \text{ A}$	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1 h
$4 \text{ A} < I_n < 16 \text{ A}$	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1 h
$16 \text{ A} \leq I_n \leq 63 \text{ A}$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	1 h
$63 \text{ A} < I_n \leq 160 \text{ A}$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	2 h
$160 \text{ A} < I_n \leq 400 \text{ A}$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	3 h
$400 \text{ A} < I_n$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	4 h
D-tyyppin tulppasulake (CEE 16 mukaan)			
Nimellisvirta	Alempi toimintaraja	Ylempi toimintaraja	Aika
$I_n \leq 4 \text{ A}$	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1 h
$4 \text{ A} < I_n \leq 10 \text{ A}$	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1 h
$10 \text{ A} < I_n \leq 25 \text{ A}$	$1,4 I_n$	$1,75 I_n$	1 h
$25 \text{ A} < I_n \leq 63 \text{ A}$	$1,3 I_n$	$1,6 I_n$	1 h
$63 \text{ A} < I_n \leq 100 \text{ A}$	$1,3 I_n$	$1,6 I_n$	2 h
$100 \text{ A} < I_n \leq 200 \text{ A}$	$1,3 I_n$	$1,6 I_n$	3 h

Helpompi tapa on käyttää mitoituksessa hyödyksi taulukkoa 2, johon on koottu pienimmät kuormitettavuudet, jotka vaaditaan käytettäessä gG-sulaketta ylikuormitussuojana. Tällöin johtimien minimikuormitettavuuksia ei tarvitse erikseen laskea. (6, s. 75–76.)

TAULUKKO 2. Johtimien minimikuormitettavuudet käytettäessä gG-sulakkeita ylikuormitussuojana (6, s. 76)

gG tyyppisen sulakkeen nimellisvirta A	Johtimen kuormitettavuuden minimiarvo 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

3 KAAPELEIDEN MITOITUS

3.1 Kuormitettavuus

Kaapelin poikkipinta-alan mitoitus tehdään ensisijaisesti kuormitettavuuden perusteella. Johtimien kuormitettavuus määritellään kaapelin tai johdon suurimman sallitun lämpötilan mukaan. Kun johtimia kuormitetaan yli kuormitettavuusarvon, suurin sallittu lämpötila ylittyy ja kaapelin eristeen käyttöikä lyhenee. Pahimmillaan liian suuri lämpötila voi aiheuttaa tulipalon. (3, s. 224.) Kaapelien kuormitettavuusarvot on ilmoitettu SFS 6000-5-52 -standardissa yksittäisille kaapeleille referenssi-asennusolosuhteissa. Ympäristön lämpötila näissä olosuhteissa on 30 °C ilmassa oleville kaapeleille ja 20 °C maakaapeleille. Maan lämpöresistiivisyyden referenssiarvoksi on valittu 2,5 K·m/W. (6, s. 31–32.)

Kuormitettavuuden mukaan tehtävä kaapelin poikkipinta-alan mitoitus aloitetaan valitsemalla ylivirtasuojan nimellisvirta, jonka on oltava yhtä suuri tai suurempi kuin kaapelin kuormitusvirta. Jos käytetään ylivirtasuojana sulaketta, täytyy sulaketta vastaava johtimen pienin kuormitettavuus etsiä taulukosta 2 tai laskea kaavalla 3. Johdonsuojakatkaisijaa käytettäessä tätä vaihetta ei tarvitse tehdä, vaan silloin kuormitettavuuden minimiarvo voi olla yhtä suuri kuin johdonsuojakatkaisijan nimellisvirta. (3, s. 136; 4, s. 158.)

Seuraavaksi määritetään asennusolosuhteita vastaavat korjauskertoimet, jotka on koottu SFS 6000-5-52 -standardiin. Korjauskertoimia käytetään, kun kaapelin asennusolosuhteet poikkeavat referenssiolosuhteista. Kaapelin asennusolosuhteet voivat vaihdella hyvin paljon ja ne vaikuttavat kaapelin kuormitettavuuteen. Kuormitettavuuteen vaikuttavia asioita ovat esimerkiksi ympäristön lämpötila ja usean kaapelin asennus vierekkäin tai nippuun. Korjauskertoimia käytetään aina, kun asennusolosuhteet poikkeavat SFS 6000-5-52 -standardin mukaisista referenssiolosuhteista. Tarvittavat korjauskertoimet kerrotaan keskenään, jonka jälkeen kuormitettavuus jaetaan korjauskertoimien tulolla. Saatu tulos on asennusolosuhteita vastaava kuormitettavuus, joka kaapelin on kestävä vähintään, jotta suojaus toimisi. (3, s. 232–234.)

Esimerkkilasku: PVC-eristeinen kaapeli suunnitellaan asennettavaksi kahden muun samanlaisen kaapelin kanssa vierekkäin tikashyllylle, ja asennusolosuhteissa ilman lämpötila voi olla +40 °C. Kaapelin ylikuormitus- ja oikosulkusuojana käytetään 3×32 A:n gG-sulakkeita.

32 A:n gG-sulakkeilla johtimen kuormitettavuuden minimiarvo on 35 A (taulukko 2). Hyllyasennuksesta johtuva korjauskerroin nähdään SFS 6000-5-52 -standardin taulukosta B.52.20, jonka mukaan korjauskerroin on tässä tapauksessa 0,82 (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Useamman kaapelin asennuksesta samalle tikashyllylle johtuvat korjauskertoimet (6, s. 57)

Taulukon A.52.3 mukainen asennustapa			Hyllyjen tai tikkaiden lukumäärä	Hyllyllä tai tikkaalla olevien kaapelien lukumäärä					
				1	2	3	4	6	9
Tikas, tuet, kiinnikkeet yms. (HUOM. 3)	32		1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
	33		2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,76	0,73
	34		3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,73	0,70
			6	1,00	0,84	0,77	0,73	0,68	0,64

Ympäristön lämpötilasta johtuvat korjauskertoimet on esitetty saman standardin taulukossa B.52.14, josta valitaan korjauskertoimeksi 0,87 (taulukko 4). Nyt kaapelilta vaadittava kuormitettavuus näissä asennusolosuhteissa voidaan laskea seuraavasti.

$$35 \text{ A} \div (0,82 \times 0,87) = 49,06 \text{ A}$$

32 A:n gG-sulakkeiden tällä asennustavalla vaatima johtimien minimikuormitettavuus on siis 49,06 A, jotta ylikuormitussuojaus toimii oikealla tavalla.

TAULUKKO 4. Ilman lämpötilasta johtuvat korjauskertoimet (6, s. 50)

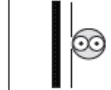
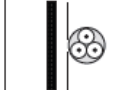
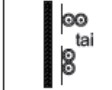


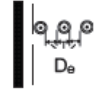
Ympäristön lämpötila ^a °C	Eristys			
	PVC	PEX ja EPR	Mineraali ^a	
			PVC:llä päällystetty tai paljas ja kosketeltavissa 70 °C	Paljas, ei kosketeltavissa 105 °C
10	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,06	1,04	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00	1,00
35	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,87	0,91	0,85	0,92
45	0,79	0,87	0,78	0,88
50	0,71	0,82	0,67	0,84
55	0,61	0,76	0,57	0,80
60	0,50	0,71	0,45	0,75
65	-	0,65	-	0,70
70	-	0,58	-	0,65
75	-	0,50	-	0,60
80	-	0,41	-	0,54
85	-	-	-	0,47
90	-	-	-	0,40
95	-	-	-	0,32

^a Korkeammilla ympäristön lämpötiloilla sovelletaan valmistajan antamia arvoja.

Erisuuruisille poikkipinta-aloille on määritetty SFS 6000-5-52 -standardissa tietyt maksimikuormitettavuudet, joiden mukaan kaapelin poikkipinta-ala mitoitetaan. Kuormitettavuusarvot on ilmoitettu kullekin referenssiasennustavalle erikseen. Referenssiasennustavoista poikkeavia asennustapoja voidaan myös soveltaa tietyin ehdoin näihin taulukoihin. (6, s. 25–37.) Referenssiasennustavat selitetään liitteessä 1. Korjauskertoimilla jaettua kuormitettavuusarvoa verrataan taulukon arvoihin ja valitaan poikkipinta-ala niin, että poikkipinta-alalle määritetty maksimikuormitettavuus on suurempi tai yhtä suuri kuin korjauskertoimilla korjattu kuormitettavuus. (3, s. 234.)

Esimerkki: Edellisessä laskuesimerkissä määritetty kuormitettavuus on 49,06 A ja kyseessä on asennustapa E. Mitoitettavalla kaapelilla on kolme kuormitettua johdinta, joten verrataan kuormitettavuusarvoa taulukon B.52.12 sarakkeen 3 arvoihin (taulukko 5). Johtimen poikkipinta-alaksi on valittava vähintään 6 mm², koska 6 mm²:n johtimia voidaan kuormittaa E-asennustavalla 54 A. Pienempää, 4 mm²:n johdinta, voi asennustavalla E kuormittaa vain 42 A.

TAULUKKO 5. Kuormitettavuus ampeereina asennustavoilla E, F ja G (6, s. 48)

Johtimien nimellis- poikkipinta	Taulukon B.52.1 mukaiset asennustavat						
	Monijohdinkaapelit		Yksijohdinkaapelit				
	Kaksi kuor- mitettua johdinta	Kolme kuor- mitettua johdinta	Kaksi kuor- mitettua johdinta- koskettavat toisiaan	Kolme kuormi- tettua johdinta kolmiossa	Kolme kuormitettua johdinta, tasossa	Erillään	
						Kosket- tavat toisiaan	Vaaka- tasossa
							
mm ²	Tapa E	Tapa E	Tapa F	Tapa F	Tapa F	Tapa G	Tapa G
1	2	3	4	5	6	7	8
1,5	26	23	-	-	-	-	-
2,5	36	32	-	-	-	-	-
4	49	42	-	-	-	-	-
6	63	54	-	-	-	-	-
10	86	75	-	-	-	-	-
16	115	100	-	-	-	-	-
25	149	127	161	135	141	182	161
35	185	158	200	169	176	226	201
50	225	192	242	207	216	275	246
70	289	246	310	268	279	353	318
95	352	298	377	328	342	430	389
120	410	346	437	383	400	500	454
150	473	399	504	444	464	577	527
185	542	456	575	510	533	661	605
240	641	538	679	607	634	781	719
300	741	621	783	703	736	902	833
400	-	-	940	823	868	1085	1008
500	-	-	1083	946	998	1253	1169
630	-	-	1 254	1 088	1 151	1 454	1 362

HUOM. 1 Johtimien oletetaan olevan pyöreitä poikkipintaan 16 mm² saakka. Suuremmilla poikkipinnoilla arvot viittaavat muun muotoisiin johtimiin ja niitä voi turvallisesti käyttää pyöreisiin johtimiin.

HUOM. 2 D_e on kaapelin ulkohalkaisija.

Edellisessä esimerkissä tarkasteltiin kaapelin mitoitusta vain yhdessä asennusolosuhteessa, mutta yleensä erilaisia asennusolosuhteita yhdelle kaapelille on enemmän. Kun asennusolosuhteita yhdelle kaapeliasennukselle on useita, jokaiselle olosuhteelle on määritettävä poikkipinta-ala erikseen. Lopulliseksi poikkipinta-alaksi valitaan suurin määritetty poikkipinta-ala, jotta johdon suojaus toimii varmasti koko asennuksen matkalta.

3.2 Oikosulkuvirta

Vikasuojauksen on toimittava pienjänniteasennuksissa joko 0,4 sekunnin tai 5 sekunnin kuluessa vian alkamisesta. Viiden sekunnin poiskytkentäaika on sallittu pääjohdoille, yli 32 A:n ylivirtasuojilla suojuetuille kiinteitä laitteita syöttäville ryhmille ja yli 63 A:n ylivirtasuojilla suojuetuille pistorasiaryhmille. Muissa pienjänniteasennuksissa vikasuojauksen on toimittava 0,4 sekunnin kuluessa.

Vaihe- ja suojaohjtimen välisen oikosulkuvirran on oltava riittävän suuri, jotta automaattinen poiskytkentä toteutuu. Oikosulkuvirran arvon voi joko laskea tai mitata, mutta mitattujen oikosulkuvirta-arvojen tulee olla 25 % suurempia kuin laskettujen, koska johtimien mittaustilaa on oikosulun aikaista lämpötilaa alhaisempi. Jos oikosulkuvirta lasketaan suunnitteluvaiheessa, sitä ei tarvitse mitata. Vaadittavat lasketut minimoikosulkuvirrat johdonsuojakatkaisijoilla on esitetty taulukossa 6. (3, s. 91–94.)

TAULUKKO 6. Poiskytkennän takia vaadittavat minimoikosulkuvirrat erityyppisillä johdonsuojakatkaisijoilla 0,4 sekunnin ja 5 sekunnin poiskytkentäaajoilla (3, s. 91-94)

Nimellisvirta, A	B-tyyppi, A	C-tyyppi, A	D-tyyppi, A	K-tyyppi, A
6	30	60	120	72
10	50	100	200	120
13	65	130	260	156
16	80	160	320	192
20	100	200	400	240
25	125	250	500	300
32	160	320	640	384
50	250	500	1000	600
63	315	630	1260	756
80	400	800	1600	960
125	625	1250	2500	1500

Taulukossa 6 esitettyjä oikosulkuvirran taulukkoarvoja voi soveltaa gG-, gL- ja D-tyyppin sulakkeisiin, vaikka toimintavirrat ovatkin D-tyyppin sulakkeilla hieman poikkeavat. Sulakkeilla vaadittavat lasketut oikosulkuvirran arvot on esitetty taulukossa 7. (3, s. 93–94.)

TAULUKKO 7. Poiskytkennän takia vaadittavat minimioikosulkuvirrat sulakkeilla 0,4 sekunnin ja 5 sekunnin poiskytkentäajoilla (3, s. 94)

Nimellisvirta, A	gG-, gL- tai D-sulake (0,4 s), A	gG-, gL- tai D-sulake (5 s), A
2	16	9
4	32	18
6	46,5	28
10	82	46,5
16	110	65
20	145	85
25	180	110
32	270	150
35		165
40	315	190
50	470	250
63	550	320
80		425
100		580
125		715
160		950
200		1250
250		1650
315		2200
400		2840
500		3800
630		5100

Oikosulkuvirran laskennassa riittää yleensä, että yhdessä virtapiirissä tarkastellaan oikosulkuvirran suuruutta suojalaitteesta katsottuna kauimmaisessa pisteessä. Yleensä riittää, että lasketaan yksivaiheinen oikosulkuvirta, koska kiinteistöjen sähköverkoissa pienimmät oikosulkuvirrat syntyvät yhden vaiheen ja suoja-, nolla- tai PEN-johtimen välillä (8). Yksivaiheisen oikosulkuvirran laskennassa käytetään yksinkertaistettua kaavaa 4, jossa virhe on yleensä korkeintaan 10 %. Kaavassa tämä virhe on otettu huomioon ja tulokseksi saadaan todellista oikosulkuvirtaa pienempi arvo, jota on turvallista käyttää. (3, s. 94–95.)

$$I_k = (c \times U) \div (\sqrt{3} \times Z) \quad (\text{KAAVA 4})$$

jossa

I_k on pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta

c on kerroin 0,95, joka ottaa huomioon jännitteenaleneman liittimissä, johdoissa, sulakkeissa, kytkimissä jne.

U on pääjännite

Z on virtapiirin kokonaisimpedanssi, joka muodostuu

- jakelumuuntajaa edeltävän verkon impedanssista
- muuntajan impedanssista
- muuntajan jälkeisten johtimien impedanssista (3, s. 95.)

Oikosulkuvirran laskennassa käytettävät kaapeleiden likimääräiset impedanssit kilometriä kohti on esitetty taulukossa 8. Impedanssit kaapeleille lasketaan sekä vaihe- että suojajohtimelle, koska minimioikosulkuvirta tapahtuu vaihe- ja suojajohtimen välillä (3, s. 95–103). Minimioikosulkuvirtaa laskettaessa kertoimen c arvo on 0,95, mutta yksivaiheisen oikosulkuvirran maksimiarvoa laskettaessa c :n arvo on 1 (8).

Esimerkkilasku. Ryhmäkeskuksen oikosulkuvirta on 250 A, ja ryhmäjohtona käytetään 25 metriä pitkää MMJ 3x2,5S -kuparikaapelia. Suojalaitteena kaapelilla on 16 A C-tyyppin johdonsuojakatkaisija.

impedanssi ryhmäkeskuksella (kaava 4):

$$I_k = (c \times U) \div (\sqrt{3} \times Z_{RK})$$

$$Z_{RK} = (c \times U) \div (\sqrt{3} \times I_k)$$

$$Z_{RK} = (0,95 \times 400 \text{ V}) \div (\sqrt{3} \times 250 \text{ A}) = 0,8776 \ \Omega$$

johtimista johtuva impedanssin lisäys:

$$Z_{RJ} = 8,770 \ \Omega/\text{km} \times 0,025 \text{ km} + 8,770 \ \Omega \times 0,025 \ \Omega/\text{km} = 0,4385 \ \Omega$$

impedanssi yhteensä:

$$Z = Z_{RK} + Z_{RJ} = 0,8776 \ \Omega + 0,4385 \ \Omega = 1,3161 \ \Omega$$

oikosulkuvirran arvo kaapelin päässä:

$$I_k = (c \times U) \div (\sqrt{3} \times Z)$$

$$I_k = (0,95 \times 400 \text{ V}) \div (\sqrt{3} \times 1,3161 \Omega) = 166,7 \text{ A}$$

Tulokseksi saadaan, että minimoikosulkuvirta kaapelin päässä on 166,7 A. Tätä arvoa voidaan verrata taulukkoon 6, johon on esitetty johdonsuojakatkaisijoiden vaatimat minimoikosulkuvirrat johdonsuojakatkaisijan nimellisvirran mukaan. Esimerkissä käytettiin 16 A:n C-tyyppin johdonsuojakatkaisijaa, joka vaatii oikosulkuvirtaa vähintään 160 A. Syötön automaattinen poiskytkentä toimii riittävän nopeasti jo tällä arvolla, joten 166,7 A:n oikosulkuvirta riittää.

TAULUKKO 8. Kaapeleiden likimääräisiä impedansseja (Ω/km) johdinlämpötilassa 80 °C (3, s. 96)

Johtimien poikkipinta A/mm ²	Kupari			Alumiini		
	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z
4 x 1,5	14,620	0,115	14,620			
4 x 2,5	8,770	0,110	8,770			
4 x 4	5,480	0,107	5,480			
4 x 6	3,660	0,100	3,660			
4 x 10	2,244	0,094	2,246			
4 x 16	1,415	0,090	1,418	2,324	0,090	2,326
4 x 25	0,898	0,086	0,902	1,4889	0,086	1,492
4 x 35	0,652	0,083	0,657	1,086	0,083	1,089
4 x 50	0,482	0,083	0,489	0,796	0,083	0,800
4 x 70	0,336	0,082	0,346	0,551	0,082	0,577
4 x 95	0,244	0,082	0,257	0,398	0,082	0,406
4 x 120	0,195	0,080	0,211	0,316	0,080	0,326
4 x 150	0,155	0,080	0,174	0,258	0,080	0,270
4 x 185	0,125	0,080	0,148	0,207	0,080	0,222
4 x 240	0,095	0,079	0,124	0,162	0,079	0,180
4 x 300	0,078	0,079	0,111	0,133	0,079	0,155

4 MITOITUSTYÖKALUN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

4.1 Suunnittelu

Mitoitustyökalun suunnittelun pohjana oli opinnäytetyön toimeksiantajan tarpeet mitoitustyökalulle. Työn tarkoituksena oli, että Microsoft Excel-pohjaisella työkalulla voisi mitoittaa pienjänniteverkon kaapelin johtimien poikkipinta-alat korjauskertoimet huomioiden. Alun perin tavoitteena oli tehdä mitoitustyökalun käyttöliittymä Visual Basic -ohjelmointikielellä, jossa Excel toimisi taustalla. Lopulta mitoitus suoraan Excel-taulukossa oli kuitenkin riittävän toimiva toimeksiantajan tarpeisiin. Toimeksiantajan päätavoitteena oli käsin mitoittamisen korvaaminen mitoitustyökalulla, koska kaapeleiden käsin mitoittaminen on hidasta ja virheen mahdollisuus suuri. Sähkösuunnittelun kannalta tärkeintä oli työkalun luotettavuus ja helppokäyttöisyys, jotta sen käytöllä voisi säästää aikaa kaapeleiden käsin mitoitukseen verrattuna.

4.2 Mitoitustyökalun toteutus Microsoft Excelillä

Mitoitustyökalu toteutettiin alusta loppuun Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla. Excel-työkalun tekeminen aloitettiin kopioimalla SFS 6000-5-52 -standardin kuormitettavuus- ja korjauskerrointaulukot Excel-työkirjaan erillisiin taulukoihin. Tarkoituksena oli, että mitoitustyökalu etsii laskentaan tarvittavat arvot näistä taulukoista. Myöhemmin näiden tietojen oikeellisuus on helppo tarkistaa, koska taulukot löytyvät lähes sellaisenaan työkirjasta.

Toteutuksessa käytettiin paljon hyödyksi Excelin alavetovalikko- ja monivalintatyökaluja, jotta työkalun käyttäjän ei tarvitse täyttää tietoja itse ja työkalun käyttö olisi helppoa ja nopeaa. Tällä pyrittiin myös estämään virheellisten tietojen syöttäminen työkaluun, jotta korjauskertoimet olisivat varmasti SFS 6000-5-52 -standardin mukaiset. Kaikki alavetovalikoiden ja monivalintakohtien vaihtoehdot perustuvat standardiarvoihin, jotka sisältyvät Excel-työkirjaan.

Excelin ehtolauseilla työkalu pystyttiin toteuttamaan niin, että kullekin asennustavalle ja kaapelieristykselle pystyy täyttämään vain sille tarvittavat tiedot. Esimerkiksi kaapelia ympäröivän maan läm-

pöresistiivisyyden arvon voi valita alasvetovalikosta vain, jos kyseessä on maa-asennus. Alasvetovalikot ja monivalintakentät on myös värikoodattu sen mukaan, täytyykö kohta täyttää mitoituksessa vai jätetäänkö se tyhjäksi (kuva 1).

	Asennusolosuhde 1	Asennusolosuhde 2	Asennusolosuhde 3
Asennustapa	6 A2	D1	E
Eristys	7 PVC	PVC	PVC
Ympäristön ilman/maan lämpötila	8	25 °C	30 °C
Lämpötilakerroin	1,00	0,95	1,00

KUVA 1. Esimerkki mitoitus työkalun värikoodauksista

4.3 Työkalun kehittäminen

Mitoitus työkalun suunnittelu aloitettiin kehittämällä työkalua ainoastaan kaapelin poikkipinta-alan määritykseen suojalaitteen nimellisvirran, asennustavan ja korjauskertoimien perusteella. Myöhemmin samaan Excel-taulukkoon lisättiin työkalu myös oikosulkuvirran laskentaan kaapelin poikkipinta-alan perusteella. Lopuksi työkaluun lisättiin vielä mahdollisuus muodostaa mitoitetuista kaapeleista tulostettava raportti. Alun perin työkaluun oli tarkoitus lisätä myös jännitteenaleneman laskenta, mutta se jätettiin tämän työn ulkopuolelle.

Mitoitus työkalun suunnittelun pohjana käytettiin pääosin SFS 6000 -standardia, josta on kerätty taulukkoarvot kuormitettavuuksista ja korjauskertoimista eri asennustavoilla. D1-2017 -käsikirjaa käytettiin apuna oikosulkuvirran laskentatyökalun taulukkoarvojen kopioimiseen. Taulukkoarvojen täytyy olla ehdottomasti luotettavia, joten mitoituksessa käytetään kuormitettavuus- ja korjauskerrointaulukkoissa lähteinä ainoastaan edellä mainittujen kirjojen taulukkoarvoja.

4.4 Mitoitus kuormitettavuuden mukaan

Mitoitus työkalun pääasiallinen tehtävä on kaapelin mitoittaminen suojalaitteen nimellisvirran perusteella, joten suunnittelussa keskityttiin aluksi kokonaan siihen. Työkalu rajattiin niin, että se ei sisällä suojalaitteen nimellisvirran, kaapelin tyypin tai eristyksen määritystä, vaan käyttäjän on määritettävä ne itse. Mitoittaminen rajattiin pelkästään yhden kaapelin poikkipinta-alan määritykseen kerrallaan.

Suunnittelussa pääpaino oli pohtia, miten käyttöliittymän saisi mahdollisimman yksinkertaiseksi ja helpoksi käyttää. Työkalun toiminta suunniteltiin niin, että sen käyttö noudattaisi tapaa, jolla kaapelin mitoitus tehdään, kun suojalaite ja sen nimellisvirta tiedetään: aluksi määritetään kaapelin kuormitettujen johtimien määrä, jonka jälkeen valitaan, onko kyseessä yksi- vai monijohdinkaapeli. Seuraavaksi valitaan eristysmateriaali ja lopuksi asennusolosuhteet. Tarkoituksena oli, että käyttäjän ei itse tarvitsisi etsiä korjauskertoimia SFS 6000 -standardista, vaan riittää, että käyttäjä tietää asennusolosuhteet, joiden perusteella mitoitus tehdään. Työkalu määrittää korjauskertoimet asennusolosuhteiden perusteella ja laskee kaapelin kuormitettavuuden huomioimalla kaapelin korjauskertoimet ja asennustavan.

Yhden kaapelin mahdollisia asennusolosuhteita voi olla useampi, joten työkaluun tehtiin mahdollisuus määrittää kolme erilaista asennusolosuhdetta. Työkalu valitsee näistä kolmesta asennusolosuhteesta hankalimman, jonka mukaan kaapelin poikkipinta-ala määräytyy. Poikkipinta-alan määrittäminen tehdään sekä kupari- että alumiinikaapelille. Lopullisen mitoitus työkalun ulkoasu on liitteessä 2. Liite on ainoastaan toimeksiantajan sisäiseen käyttöön.

4.5 Oikosulkuvirran laskentatyökalu

Oikosulkuvirran laskentatyökalun suunnittelu aloitettiin perehtymällä ensin laskennan perusteisiin. Laskentaan tarvittavia tietoja ovat oikosulkuvirta kaapelia syöttävällä keskuksella, kaapelin pituus sekä vaihe- ja suojajohtimien poikkipinta-alat ja materiaalit. Laskentatyökalu suunniteltiin niin, että oikosulkuvirran laskenta olisi kokonaan irrallinen kuormitettavuuden perusteella tehtävästä mitoituksesta, koska työkalusta haluttiin mahdollisimman joustava käyttää.

Laskentatyökaluun lisättiin edellä mainittujen alkutietojen lisäksi alavetovalikko myös suojalaitteen nimellisvirran valintaan, koska suojalaitteille on määritelty D1-2017 -käsikirjassa tietyt oikosulkuvirran arvot, joiden pitää täytyä. Tämän takia Excel-työkirjaan liitettiin D1-2017 -käsikirjasta taulukko, johon on koottu eri suojalaitteiden vaatimat oikosulkuvirran minimiarvot 0,4 sekunnin ja 5 sekunnin poiskytkentäajalle, jotta oikosulkuvirtalaskennan tulosta voisi verrata niihin. Työkalu tekee tämän vertailun automaattisesti, kun edellä mainitut laskentaan tarvittavat tiedot on syötetty ja ilmoittaa, jos oikosulkuvirran arvo on liian pieni.

4.6 Raporttipohjat

Mitoitustyökalun käytön kannalta tulosten raportointi on välttämätöntä, joten Excel-työkirjaan lisättiin tulostettavat raporttipohjat sekä mitoitustyökalulle että oikosulkuvirran laskentatyökalulle. Suurin hyöty mitoitus tulosten raportoinnista on se, että kaikki mitoitusperusteet ja korjauskertoimet voidaan tarkistaa raportista, jos siihen on tarvetta myöhemmin, eikä mitoitusta välttämättä tarvitse tehdä uudelleen. Yhteen raporttiin voi lisätä 200 mitoitus tulosta, joten yhden kohteen tai keskuksen kaapelit mahtuvat samaan raporttiin.

Raportoinnin toteutukseen käytettiin Excelin makroja, jotta raportointi olisi käyttäjälle mahdollisimman helppoa. Makroja käyttämällä raportointi tapahtuu Excelissä pelkästään painiketta klikkaamalla, jolloin tietoja ei tarvitse itse syöttää raporttiin. Kuormitettavuuden mukaan tehtävän mitoitus tulosten raporttiin kerätään kaapelin nimi, mitoitusolosuhteet ja niihin perustuvat korjauskertoimet. Oikosulkuvirran laskentaraaporttiin tulevat tiedot ovat kaapelin nimi, suojalaitteen nimellisvirta, oikosulkuvirta syöttävällä keskuksella, kaapelin pituus, poikkipinta-ala, impedanssit, laskettu oikosulkuvirta ja suojalaitteen vaatimat oikosulkuvirrat.

4.7 Excel-työkalun testaus ja suojaus

Mitoitustyökalun tiettyjä ominaisuuksia testattiin jo aikaisessa vaiheessa, mutta loppuvaiheessa mitoitus työkalun ja raportoinnin kokonaisuuden toimintaa alettiin testaamaan. Testausta tehtiin aluksi kuvitteellisille asennuksille, jonka jälkeen testaustuloksia verrattiin käsin laskettuihin arvoihin. Testiasennuksia tehtiin kaikilla mahdollisilla SFS 6000 -standardin mukaisilla asennustavoilla ja korjauskertoimilla, jotta voitiin varmistaa jokaisen kaavan toiminta. Tässä vaiheessa laskentatyökalussa esiintyi vielä jonkin verran virheitä, mutta ne saatiin korjattua aika nopeasti.

Mitoitustyökalun sisältävä Excel-taulukko sisältää paljon pitkiä kaavoja, taulukoita ja ehtolauseita. Taulukon tahaton muokkaaminen oli estettävä, koska muokkauksen jäljittäminen työkirjasta on haastavaa. Excel-taulukot suojattiin salasanalla, jotta muokkaaminen estettäisiin. Toinen syy suojaukseen oli varmistaa, että ulkopuolinen ei pääse kopioimaan työkirjan kaavoja, jos työkalu päättyy väärin käsiin.

Testausvaiheessa mitoitustyökalu lähetettiin vielä toimeksiantajalle testattavaksi, ja työkalua testattiin oikeisiin suunnittelukohteisiin. Työkalua testattiin esimerkiksi teollisuuslaitoksen sähkösuunnittelussa. Tässä vaiheessa toiminnassa ei havaittu suurempia puutteita ja mitoitustyökalu otettiin toimeksiantajan käyttöön sähkösuunnittelussa. Mitoitustyökalu on tarkoitettu vain Insinööritoimisto Silvean käyttöön, joten se on salassapidettävä asiakirja.

5 MITOITUSTYÖKALUN KÄYTTÖ

5.1 Kaapelin mitoitus kuormitettavuuden perusteella

Kaapeleiden mitoitustyökalulla kaapelin poikkipinta-alan mitoitus tehdään vain yhdelle kaapelille kerrallaan. Mitoituksessa työkalu ilmoittaa joka kohdassa värikoodilla, onko kyseinen kohta täytettävä vai voiko sen jättää tyhjäksi. Vihreä väri kertoo, että kohta on täytettävä ja punainen kertoo, että kohta jätetään tyhjäksi. Jotkin kohdat ovat valinnaisia: mitoitustyökalun käyttäjä voi täyttää sellaisen tarvittaessa. Nämä kohdat on merkitty keltaisella värillä. Jos jokin työkaluun täytetty kohta aiheuttaa korjauskertoimen kuormitettavuudelle, kerroin ilmoitetaan sen tiedon kohdalla kuvan 2 mukaisesti.

Ympäröivän ilman/maan lämpötila	8	25 °C	▼
Lämpötilakerroin		1,06	

KUVA 2. Ympäröivän ilman tai maan lämpötilan arvo ja korjauskerroin mitoitustyökalussa

Mitoitus aloitetaan syöttämällä mitoittavalle kaapelille nimi, joka tulee raporttipohjaan. Tämän jälkeen kaapelille määritetään suojalaitteen tyyppi ja nimellisvirta. Mahdollisia suojalaitetyyppejä ovat B-, C-, D- ja K-tyyppin johdonsuojakatkaisijat sekä gG-sulake. Seuraavaksi valitaan kaapelille kuormitettujen johtimien määrä ja määritetään, onko kaapeli yksi- vai monijohdinkaapeli.

Kun kaapelin perustiedot on määritetty, valitaan kaapelin asennustavat. Työkalussa on valittavana SFS 600-5-52 -standardin mukaiset referenssiasennustavat A1, A2, B1, B2, C, D1, D2, E, F ja G. Referenssiasennustavat on selitetty Excel-työkirjassa, jotta niitä ei tarvitse opetella ulkoa. Asennustapoja voi valita korkeintaan kolme, jos kaapelin asennustapa muuttuu asennusreitillä. Esimerkiksi yksi kaapeli voi olla asennettu tietyllä matkalla seinän pintaan ja sen jälkeen upotettuna seinään. Seuraavana määritetään kaapelin eristys, joka voi olla esimerkiksi PVC. Tietyille asennustavoille on tarpeellista määrittää lisäksi ympäröivän ilman tai maan lämpötila (kuva 2). Maa-asennuksille on määritettävä maan lämpöresistiivisyyden arvo, joka riippuu maalajista taulukon 9 mukaisesti. Seuraavaksi käyttäjän on määritettävä, kulkeeko mitoittava kaapeli lämpöeristeen läpi ja kuinka pitkän matkan. Kaapeli saa kulkea lämpöeristeessä korkeintaan 500 mm:n pituisen matkan (6, s. 16).

TAULUKKO 9. Maan lämpöresistiivisyyden arvoja (3, s. 233)

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

Koska kaapeli saattaa kulkea asennusreitillä muiden kaapeleiden kanssa ryhmässä, siitä johtuvat korjauskertoimet on otettava huomioon. Kaapeli voi olla asennettu esimerkiksi usean kaapelin kanssa samalle kaapelihyllylle niin, että ne ovat rinnakkain. Ryhmäasennukset on jaettu mitoitus-työkalussa kolmeen osa-alueeseen: hyllyasennuksiin, maa-asennuksiin ja muihin ryhmäasennuksiin. Hyllyasennuksissa valittavat asiat ovat hyllytyyppi, hyllyjen lukumäärä, kaapeleiden välinen etäisyys sekä kaapeleiden määrä samalla hyllyllä. Maa-asennuksissa valitaan vain kaapelin määrä ja etäisyydet ryhmässä. Loput mahdolliset ryhmäasennustavat sisältyvät viimeiseen osa-alueeseen, jossa korjauskertoimen määrittämiseen on valittava ryhmäasennuksen tyyppi ja kaapeleiden määrä ryhmässä. (6, s. 52–59.)

Kun kaikki edellä mainitut kohdat on täytetty, mitoitus työkalu ilmoittaa välituloksina lopullisen korjauskertoimen, kuormitettavuuden minimiarvon sekä minimipoikkipinta-alan kupari- ja alumiinijohtimille jokaiselle asennustavalle. Näistä työkalu valitsee sekä kupari- että alumiinikaapelille haastavimman asennusolosuhteen mukaisen kaapelin poikkipinta-alan, joka on mitoituksen lopullinen tulos. Tässä vaiheessa kaapelin tiedot voi halutessaan lisätä raporttiin, joka on samassa Excel-tilukossa.

5.2 Oikosulkuvirran laskenta

Oikosulkuvirta kaapelin loppupäässä lasketaan erillisellä laskentatyökalulla, joka on samassa Excel-tilukossa kuin mitoitus työkalu. Oikosulkuvirran laskenta alkaa samaan tapaan kuin kaapelin mitoitus: nimetään kaapeli ja valitaan suojalaitteen nimellisvirta. Tämän jälkeen syötetään laskuriin kaapelia syöttävän keskuksen oikosulkuvirta ja kaapelin pituus. Viimeiset täytettävät kohdat ovat kaapelin vaihe- ja suojajohtimien poikkipinta-alat.

Näiden tietojen perusteella laskentatyökalu ilmoittaa impedanssit ja oikosulkuvirran kaapelin päässä ja vertaa oikosulkuvirtaa valitun suojalaitteen vaatimaan oikosulkuvirtaan. Vertailu tehdään sekä 0,4 sekunnin että 5 sekunnin poiskytkentäajan vaatimiin oikosulkuvirtoihin. Lopuksi kaapelin tiedot voi lisätä raporttiin.

5.3 Käyttöohje

Kaapelin mitoitustyökalun ja oikosulkuvirran laskentatyökalun valmistuttua niille laadittiin käyttöohjeet. Vaikka työkalu onkin tarkoitettu ammattilaisten käyttöön, ohjeet tehtiin ajatuksella, että kaapelin mitoituksen tai oikosulkuvirran laskennan voisi tehdä, vaikka ei tuntisi niihin liittyvää teoriaa. Käyttöohjeissa opetetaan tarkasti työkalujen käyttö vaiheittain, lisäksi käyttöohjeisiin on lisätty havainnollistavia kuvia. Tavoitteena oli, että työkalujen käyttöön ei tarvitse erillistä perehdytystä, vaan sitä voisi käyttää pelkästään käyttöohjeita lukemalla.

Excel-työkaluun lisättiin lisäksi muistiinpanoja ohjeistamaan tiettyjen kohtien täyttämistä oikealla tavalla, jotta käyttöohjetta ei tarvitse avata jokaista kohtaa täytettäessä. Excelin alavetovalikoissa on käytetty joissain kohtaa lyhenteitä, joten esimerkiksi näitä on tarpeen avata. Lisäksi eri maalajien lämpöresistiivisyysarvoja on ilmoitettu, jotta niitä ei tarvitse erikseen opetella ulkoa, tai etsiä joko standardista tai käyttöohjeesta.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä Insinööritoimisto Silvean käyttöön pienjännitekaapeleiden mitoitukseen käytettävä työkalu, jolla voisi korvata kaapeleiden käsin mitoittamisen suunnittelussa. Tarkoituksena oli, että työkaluun voisi lisätä myös oikosulkuvirta- ja jännitteenalenemalaskurit, jos niiden tekemiseen jää aikaa. Oikosulkuvirtalaskuri tehtiin, mutta jännitteenalenemalaskuri päätettiin jättää työkalusta pois.

Mitoitustyökalu toteutettiin Microsoft Excelillä, ja sillä voidaan mitoittaa kaapelin poikkipinta-ala asennustavat, korjauskertoimet ja suojalaitteen nimellisvirta huomioiden. Työkalua ei ole suunniteltu esimerkiksi kaapelityyppien tai suojauksen selektiivisyyden määrittämiseen. Työkalu toimii tilaajan toivomalla tavalla, joten opinnäytetyö on onnistunut tavoitteiden mukaisesti. Testausvaiheessa havaittuja puutteita on korjattu onnistuneesti, ja mitoitus tulokset ovat luotettavia. Työkalun käyttö on riittävän helppoa ja nopeaa.

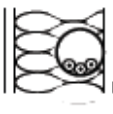
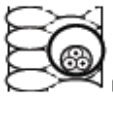






Työkalun suurin ongelma on, että mahdollisten virheellisten laskentakaavojen jäljittäminen ja korjaaminen Excel-työkirjasta on haastavaa. Kaavoja on työkirjassa todella paljon ja niiden ymmärtäminen on vaikeaa, jos Excel ei ole ennestään tuttu. Taulukot on yritetty nimetä työkalussa mahdollisimman selkeästi, mutta niitäkin työkirjassa on todella paljon. SFS 6000 -taulukoiden lisäksi Excel-työkirjaan oli pakko tehdä laskentaa helpottavia aputaulukkoita, jotta kaavarivit eivät paisu liian pitkiksi.

Mitoitustyökalussa ei nykyisessä muodossaan ole suuria kehityskohteita, koska se toimii toimeksiantajan antamien tavoitteiden mukaisesti. Työkalun käyttö rajoittuu tällä hetkellä ainoastaan poikkipinta-alan mitoitukseen, joten siihen voisi myöhemmin mahdollisesti lisätä esimerkiksi kaapelityypin määrittämisen. Jännitteenalenema-laskurin voisi mahdollisesti liittää Excel-työkirjaan myöhemmin, mutta sen toteuttaminen veisi sen verran aikaa, että se jätettiin tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Työkalun käytettävyydessä ei ole tähän mennessä ilmennyt vaikeuksia, joten erillisen käyttöliittymän ohjelmointi Visual Basic -ohjelmointikielillä ei ole juuri nyt ajankohtaista, vaikka sillä voisi saada työkalun ulkoasun ja käytettävyyden hieman paremmaksi.

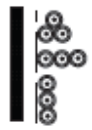

LÄHTEET

1. Insinööritoimisto Silvea Oy 2020. Hakupäivä 7.12.2020. <https://www.silvea.fi/>
2. SFS 6000-4-43:2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-43: Suojausmenetelmät. Ylivirtasuojaus. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
3. D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähköinfo Oy.
4. Sähköasennukset 1. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
5. ST 53.14 Ohjeet perinteisten sulakkeiden valinnasta ja käytöstä, alle 1000 V:n sähköjärjestelmät. Sähköinfo Oy.
6. SFS 6000-5-52:2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
7. ST-käsikirja 30 Sähkötekniisiä taulukoita 2014. Sähkötieto ry.
8. Ensto. Oikosulkuvirran laskenta. Hakupäivä 20.1.2021.
<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1204792797383/1210598828380/1211200962452/1211200997922.html>.

Taulukko B.52.1 Referenssiasennustavat, joita käytetään taulukoitujen kuormitettavuuksien perustana

Referenssiasennustapa		Taulukko ja sarake							Lämpötilan korjauskerroin	Ryhmästä johtuva korjauskerroin
		Yksittäisen piirin kuormitettavuus					2 ja 3			
		Termoplastinen eristys (PVC)		Silloitettu eristys (PEX,EPR)		Mineraalieristys				
		2	3	2	3					
1		2	3	4	5	6	7	8	9	
	Huone Eristetyt johtimet lämpöeristettyyn seinään upotetussa putkessa	A1	B.52.2 Sarake. 2	B.52.4 Sarake. 2	B.52.3 Sarake. 2	B.52.5 Sarake. 2	-	B.52.14	B.52.17	
	Huone Monijohdin-kaapeli eristettyyn seinään upotetussa putkessa	A2	B.52.2 Sarake. 3	B.52.4 Sarake. 3	B.52.3 Sarake. 3	B.52.5 Sarake. 3	-	B.52.14	B.52.17 paitsi D (Taulukko B.52.19 on voimassa)	
	Eristetyt johtimet (yksijohdin-kaapelit) puuseinän pinnalla	B1	B.52.2 Sarake. 4	B.52.4 Sarake. 4	B.52.3 Sarake. 4	B.52.5 Sarake. 4	-	B.52.14	B.52.17	
	Monijohdin-kaapelit puuseinän pinnalla	B2	B.52.2 Sarake. 5	B.52.4 Sarake. 5	B.52.3 Sarake. 5	B.52.5 Sarake. 5	-	B.52.14	B.52.17	
	Yksi- tai monijohdin-kaapelit puuseinän pinnalla	C	B.52.2 Sarake. 6	B.52.4 Sarake. 6	B.52.3 Sarake. 6	B.52.5 Sarake. 6	70 °C vaipassa B.52.6 105 °C vaipassa B.52.7	B.52.14	B.52.17	
	Monijohdin-kaapelit putkessa maassa	D	B.52.2 Sarake. 7	B.52.4 Sarake. 7	B.52.3 Sarake. 7	B.52.5 Sarake. 7	-	B.52.15	B.52.19	
	Vaipalliset yksijohdin- tai monijohdin-kaapelit suoraan maassa	D2	Sarake 8		Sarake 8		Sarake 8	Sarake 8	Sarake 8	
	Monijohdin-kaapeli vapaasti ilmassa	E	Kupari B.52.10 Alumiini B.52.11		Kupari B.52.12 Alumiini B.52.13		70 °C Vaippa B.52.8 105 °C Vaippa B.52.9	B.52.14	B.52.20	
Etäisyys seinään vähintään 0,3 kertaa kaapelin halkaisija										

Taulukko B.52.1 (jatkuu)

Referenssiasennustapa		Taulukko ja sarake							Lämpötilan korjauskerroin	Ryhmästä johtuva korjauskerroin
		Yksittäisen piirin kuormitettavuus					2 ja 3			
		Termoplastinen eristys (PVC)		Silloitettu eristys (PEX,EPR)		Mineraalieristys				
		2	3	2	3					
1		2	Johtimien lukumäärä		7		8	9		
			3	4	5	6				
	Yksijohdin-kaapelit koskettavat toisiaan vapaasti ilmassa	F	Kupari B.52.10 Alumiini B.52.11	Kupari B.52.12 Alumiini B.52.13	70 °C Vaippa B.52.8 105 °C Vaippa B.52.9	B.52.14		B.52.21		
Etäisyys seinään vähintään kaapelin halkaisija r										
	Yksijohdin-kaapelit vapaasti ilmassa	G	Kupari B.52.10 Alumiini B.52.11	Kupari B.52.12 Alumiini B.52.13	70 °C Vaippa B.52.8 105 °C Vaippa B.52.9	B.52.14		-		
Etäisyys vähintään kaapelin halkaisija										

(LIITE POISTETTU JULKISESTA VERSIOSTA)