

KAAPELIN MITOITUSTYÖKALU

Alkku Sami

Opinnäytetyö

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2023

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Sami Alkku	Vuosi	2023
Ohjaaja(t)	Ins. (YAMK) Kari Kenttä		
Toimeksiantaja	Oy Kalottkonsult Ab		
Työn nimi	Kaapelin mitoitus työkalu		
Sivumäärä	38		

Opinnäytetyön aiheena oli kaapelin mitoitus työkalun tekeminen Kalottkonsultille. Tavoitteena oli luoda mitoitus työkalu, jonka avulla yrityksen sähkösuunnittelijat voisivat mitoittaa kaapeleita etukojeen nimellisvirran perusteella. Tämän lisäksi työkalulla pystyttäisiin tarkistamaan syötön nopea poiskytkentä oikosulkuvirtalaskelmien perusteella ja tarkistamaan jännitteenalenema. Työhön sisältyi aiheen teoreettinen käsittely ja itse työkalun tekeminen.

Aihe työhön syntyi tilaajan ja opinnäytetyön tekijän yhteisestä ideasta. Työkalun avulla kaapelin mitoitus nopeutuisi ja mitoitusvirheiden mahdollisuus pienenesi. Työssä käsiteltävä teoria perustuu D1 2017-käsikirjaan, SFS-käsikirja 600-1:een sekä alan kirjallisuuteen.

Työn tuloksena syntyi kolme eri mitoitus työkalua. Työkalujen toteutuksessa käytettiin Microsoft Excel -ohjelmaa. Poikkipinta-alan mitoitus työkalu laskee tarvittavan minimipoikkipinta-alan asennukselle pienjännitteellä. Oikosulkuvirran laskenta työkalun avulla on mahdollista varmistaa syötön nopean poiskytkennän ehtojen toteutuminen ja jännitteenalenemalaskurilla jännitteenalenema kaapelin päässä. Kaikki työkalut saatiin toimimaan. Työkaluja tullaan käyttämään jatkossa sähkösuunnittelun tukena.

Itse työkalut ovat salassa pidettäviä ja ne on tarkoitettu vain yrityksen käyttöön.

Avainsanat

sähkösuunnittelu, kuormitettavuus, oikosulkuvirta, jännitteenalenema, mitoitus

Electrical Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Sami Alkku	Year	2023
Supervisor(s)	Kari Kenttä, MEng		
Commissioned by	Oy Kalotkonsult Ab		
Title	Cable Dimensioning Tool		
Number of pages	38		

The subject of the thesis was making a cable dimensioning tool for Kalotkonsult. The aim was to create a dimensioning tool that would enable the company's electrical designers to dimension cables based on the nominal current of the fuse or circuit breaker. In addition to this, the tool would be able to check if automatic disconnection of supply work based on short circuit current calculations and check the voltage reduction. The work involved the theory of the topic and the making of the tool itself.

The subject arose from the idea of the customer and the writer of the thesis. With the help of the dimensioning tool, cable dimensioning would be quicker and the possibility of dimensioning errors would decrease. The theory discussed in the thesis is based on the D1 2017 manual, the SFS manual 600-1, and the literature of the professional field.

Three different dimensioning tools were created as a result of the thesis. Microsoft Excel was used to implement the tools. The dimensioning tool for the cable cross area calculates the minimum cross area required for installation at low voltage. The short circuit calculation tool makes it possible to ensure that the automatic disconnection of supply works and the voltage reduction calculator calculates the voltage drop to the end of the cable. All the tools work. The tools will be used in the future to support electrical design.

The tools themselves are classified and are only intended for use by the company.

Keywords electrical design, loadability, short circuit current, voltage reduction, dimensioning

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	OY KALOTTKONSULT AB	7
3	KAAPELEIDEN SUOJAUS	8
3.1	Ylikuormitussuojaus	8
3.2	Oikosulkusuojaus.....	9
3.3	Suojaukseen käytettävät laitteet/komponentit.....	11
3.3.1	Johdonsuojakatkaisija	11
3.3.2	Sulakkeet	12
4	KAAPELEIDEN MITOITUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	16
4.1	Kuormitettavuus.....	16
4.2	Syötön nopea poiskytkentä.....	18
4.3	Jännitteenalenema	20
4.4	Suojajohtimen mitoitus.....	21
5	KAAPELIN MITOITUSTYÖKALUN SUUNNITTELU.....	23
5.1	Käytetty ohjelma	23
5.2	Työkalun suunnittelu.....	23
6	TYÖKALUN TOTEUTUS	24
6.1	Poikkipinnan mitoitus kuormitettavuuden mukaan	24
6.2	Oikosulkuvirran laskenta.....	26
6.3	Jännitteenaleneman laskenta	27
6.4	Testaus	28
6.4.1	Poikkipinta-alan määrittäminen kuormitettavuuden mukaan	28
6.4.2	Oikosulkuvirran laskentatyökalu	31
6.4.3	Jännitteenaleneman laskentatyökalu	32
7	KÄYTTÖOHJE.....	34
8	POHDINTA	36
	LÄHTEET.....	38

ALKUSANAT

Haluan kiittää opinnäytetyön aiheesta Olli Ahosta ja Aaron Pörhölää. Lisäksi haluan kiittää opinnäytetyön ohjannutta opettajaa Kari Kenttää.

Torniossa 26.04.2023

Sami Alkku

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Oy Kalottkonsult Ab. Yrityksen palveluihin sähkösuunnittelun osalta kuuluu teollisuus-, rakennussähkö- ja sähköverkko-suunnittelu. Palveluita tuotetaan sekä yksityiselle että julkiselle sektorille.

Opinnäytetyön aiheena on kaapelin mitoitus työkalun tekeminen suunnitteluyrityksen käyttöä varten. Tavoitteena opinnäytetyössä on luoda mitoitus työkalu, jonka avulla voidaan mitoittaa kaapelin poikkipinta-ala pienjännitteellä. Mitoitus työkaluun sisältyy myös oikosulkuvirran- ja jännitteenaleneman laskenta. Opinnäytetyön tarkoituksena on, että yrityksen sähkösuunnittelijat voisivat käyttää tulevaisuudessa mitoitus työkalua suunnittelutehtävissä. Opinnäytetyössä pyritään selvittämään, mitä asioita kaapelin mitoituksessa on huomioitava. Työhön sisältyy aiheen teoreettinen käsittely ja työkalun toteutus. Työkalu ottaa mitoituksissa huomioon standardin SFS 6000 määrittämät korjauskertoimet. Työkalu rajataan kuitenkin siten, että sen avulla on mahdollista määrittää vain kaapelin poikkipinta-ala, mutta ei kaapelityyppejä.

Työssä esitetään myös esimerkkilaskuja kaapelin mitoitus työkalulla, vaikkakin itse työkalu on salassa pidettävä ja tarkoitettu vain Kalottkonsultin käyttöön.

Kaapelin mitoituksen ja suojauksen suunnittelu on yksi keskeisimmistä sähkösuunnitteluun liittyvistä asioista. Perinteisesti johdon/kaapelin mitoituksella tarkoitetaan lähinnä mitoitusta johdon kuormitettavuuden kannalta. (Tiainen 2010, 9.)

Kaapeleiden ja johtimien mitoitus käsin on usein hidasta ja sen vaarana ovat myös inhimilliset virheet. Virheiden seurauksena kaapelista voi tulla ali- tai ylimitoitettu. Alimitoitus aiheuttaa kaapeliin tai johtimeen mahdollisen paloturvallisuusriskin lämpenemisen vuoksi. Ylimitoitus puolestaan aiheuttaa kustannusten kasvua.

2 OY KALOTTKONSULT AB

Oy Kalottkonsult Ab on vuonna 1982 perustettu insinööritoimisto. Kalottkonsult on osa Polartek-konsernia. Kalottkonsult sijaitsee Kemissä ja tarjoaa asiakkailleen laaja-alaista konsultti- ja suunnittelupalvelua. (Kalottkonsult 2023b.)

Kalottkonsultin suunnittelutyöt kohdistuvat pääosin teollisuuteen, mutta yritys toteuttaa tämän lisäksi myös julkisrakentamisen ja asuntorakentamisen projekteja. Palveluihin kuuluu sähkö- ja automaatio suunnittelun lisäksi kone- ja putkisto suunnittelu, sekä LVIA-suunnittelu. Tämän lisäksi yritys toteuttaa suunnittelutöitä kaukolämpöön ja kattilalaitoksiin. Palveluihin kuuluu myös työkohteiden valvontatehtävät, kuntoarviot, räjähdyssuojausasiakirjat, turvallisuusriskianalyysit ja energiakatselmoinnit. (Kalottkonsult 2023a.)

3 KAAPELEIDEN SUOJAUS

3.1 Ylikuormitussuojaus

Virtapiirissä muulloin kuin vian aikana esiintyvä ylivirta tarkoittaa ylikuormitusvirtaa. Mikä tahansa mitoitusvirtaa suurempi virta tarkoittaa puolestaan ylivirtaa. Johtimilla kuormitettavuus tarkoittaa mitoitusvirtaa. (Tiainen 2010, 27.)

Jokainen virtapiiri on varustettava ylikuormitussuojalla. Ylikuormitussuojan täytyy katkaista ylikuormitusvirta ennen kuin lämpötilan nousu aiheuttaa vahinkoja eristyksissä, jatkoksissa, liitoksissa tai johtimien ympäristössä. Ylikuormitussuojina käytetään yleensä sulakkeita tai johdonsuojakatkaisijoita. Joissakin tapauksissa ylikuormitussuojan sijaan voidaan käyttää hälyttävää suojausta tai ylikuormitussuojaus voidaan jättää myös pois. (Tiainen 2010, 27.)

Standardin SFS 6000 mukaan ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen on täytettävä seuraavat ehdot (Kaava 1) ja (Kaava 2):

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (1)$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_Z \quad (2)$$

missä

I_B	on	virtapiirin mitoitusvirta
I_Z	on	johtimen jatkuva kuormitettavuus
I_n	on	suojalaitteen nimellisvirta
I_2	on	virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitmäärittelyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa. Virran I_2 arvo, jolla suojalaite toimii tehokkaasti, on annettu laitestandardeissa tai se saadaan valmistajalta.

Yksinkertaisimmillaan ylikuormitussuojauksen mitoitus on käytettäessä suojalaitteita, joiden terminen toimintarajavirta on yllä olevien kaavan 1 ja kaavan 2 mukaisesti 1,45 kertaa suojalaitteen nimellisvirta. Johdonsuojakatkaisijat tyypiltään B, C ja D ovat standardin SFS-EN 60 989 mukaan tällaisia suojalaitteita. Tällaisessa tilanteessa ylikuormitussuoja on mahdollista valita suoraan johdon kuormitettavuuden perusteella (mikäli johtimen kuormitettavuus on 10 A, ylikuormitussuojaksi voidaan valita 10 A johdonsuojakatkaisija). (Tiainen 2017, 136.)

Sulakkeiden tapauksessa virta, jolla sulake toimii varmasti, on suurempi kuin 1,45 kertaa sulakkeen nimellisvirta. Tällöin ylikuormitusuojan valitseminen suoraan johtimen kuormitettavuuden mukaan ei onnistu vaan on käytettävä (Kaavaa 3).

$$k \times I_n \leq 1,45 \times I_z \quad (3)$$

missä

k on sulakkeen ylemmän sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde (Tiainen 2017, 137.)

3.2 Oikosulkusuojaus

Oikosulku on hyvin pieni-impedanssinen vika normaalitilanteessa eri potentiaalissa olevien jännitteisten osien välillä. Ylikuormitusvirtaan verrattuna oikosulkuvirta on huomattavasti suurempi. Oikosulkutilanteissa myös suojalaitteiden toimittava huomattavasti nopeammin kuin ylikuormitustilanteissa. (Tiainen 2010, 65.)

Useimmissa tapauksissa samaa suojalaitetta käytetään virtapiirissä sekä ylikuormitus- ja oikosulkusuojaukseen. Tapauksissa, joissa sama suojalaite toimii ylikuormitus- ja oikosulkusuojana, pitää suojalaitteen nimellisvirta valita niin, että se suojaa johtoa ylikuormitukselta. Mikäli suojalaitteen katkaisukyky on vähintään suurimman prospektiivisen oikosulkuvirran suuruinen, myös oikosulkusuojaus toteutuu. (Tiainen 2017, 135.)

Kaikki virtapiirit on varustettava oikosulkusuojalla. Oikosulkusuojan on katkaistava piirissä vaikuttava oikosulkuvirta ennen kuin se aiheuttaa vaaraa johtimissa ja liitoksissa lämpö- ja mekaanisten vaikutusten takia. Johdineriste vaikuttaa sallittuun lämpötilaan ja sen kestoajaan. Kaapeleiden oikosulkukestoisuus ilmoitetaan usein 1 sekunnin vian kestoajaa vastaavana oikosulkuvirtana. (Tiainen 2010, 65.)

”Oikosulkusuojaukselle on kaksi keskeistä vaatimusta:

1. Oikosulkusuojan on pystyttävä katkaisemaan suurin piirissä esiintyvä prospektiivinen oikosulkuvirta.

2. Poiskytkennän on tapahduttava ennen kuin suojalaitteen suojaamat piirit vaurioituvat.” (Tiainen 2017, 142.)

Kun virtapiiri suunnitellaan standardin SFS 6000-434.5.2 mitoituskaavaa käyttäen täytetään edellä mainitut vaatimukset. Standardissa esitettyä mitoituskaavaa käytettäessä johtimen terminen rasitus ei ylitä suojalaitteen läpipäästämää energiaa. Kaavaa 4 voidaan käyttää enintään 5s kestävässä oikosuluissa.

$$t = (k \times S/I)^2 \quad (4)$$

missä

t	on	kesto-aika sekunteina
S	on	johtimen poikkipinta (mm ²)
I	on	tehollinen oikosulkuvirta (A) tehollisarvona (r.m.s)
k	on	kerroin, joka ottaa huomioon johdinmateriaalin resistiivisyyden, lämpötilakertoimen ja lämmönvarauskyvyn sekä sopivat alku- ja loppulämpötilat.

Standardissa 6000-434.5.2 esitetyt kertoimen k arvot äärijohtimille on esitetty (Taulukko 1).

Taulukko 1. Taulukko 43.1 SFS 6000-434.5 (SFS-käsikirja 600-1 2022, 124).

Taulukko 43.1 Kertoimen *k* arvot äärijohtimille

Ominaisuus/ olosuhde	Johtimen eristys							
	PVC		PVC 90°C		EPR PEX	Kumi 60 °C	Mineraali	
	≤ 300	> 300	≤ 300	> 300			PVC päällystetty	Paljas päällystämätön
Johtimen poikki-pinta-ala mm ²	≤ 300	> 300	≤ 300	> 300				
Alkulämpötila °C	70		90		90	60	70	105
Loppulämpötila °C	160	140	160	140	250	200	160	250
Johtimen materiaali:								
Kupari	115	103	100	86	143	141	115	135 - 115 *
Alumiini	76	68	66	57	94	93	-	-
Kuparijohtimien tinajuotetut liitokset	115	-	-	-	-	-	-	-

* Tätä arvoa on käytettävä kosketeltavissa oleville paljaille johtimille.

HUOM. 1 Muut kertoimen *k* arvot ovat harkittavana

- pienille johtimille (erityisesti alle 10 mm² poikkipinnoille)
- muun tyyppisille johtimien liitoksille
- paljaille johtimille.

HUOM. 2 Oikosulkusuojan mitoitusvirta voi olla suurempi kuin kaapelin kuormitettavuus.

HUOM. 3 Yllä olevat arvot perustuvat julkaisuun IEC 60724.

HUOM. 4 Kertoimen *k* laskemiseksi katso standardin [SFS 6000-5-54](#) liite 54A

HUOM. 5 PVC:tä (alkulämpötila 70 °C) vastaavia arvoja käytetään myös PE-eristeellä ja halogeenittomalla muovieristeellä (HFFR).

3.3 Suojaukseen käytettävät laitteet/komponentit

Yleisimmin virtapiirien suojaukseen käytetään sulakkeita tai johdonsuojakatkaisijoita. Tämän vuoksi alla käsitellään tarkemmin kyseisten komponenttien ominaisuuksia.

3.3.1 Johdonsuojakatkaisija

Kuten edellä on käsitelty, ylikuormitussuojausta mitoittaessa johdonsuojakatkaisija on yksinkertaisin käytettävistä komponenteista. Johdonsuojakatkaisija voidaan valita suoraan johdon kuormitettavuuden perusteella.

Johdonsuojakatkaisijaa valittaessa tärkeimmät huomioitavat arvot ovat katkaisukyky, nimellisvirta ja –jännite sekä laukaisukäyrä. Johdonsuojakatkaisijan katkaisukyky on valittava suuremmaksi kuin virtapiirissä esiintyvä oikosulkuvirta. Standardissa SFS-EN 60 898 esitetään seuraavat arvot johdonsuojakatkaisijoiden katkaisukyvyille: 3 kA, 4,5 kA, 6 kA, 10 kA, 15 kA, 20 kA ja 25 kA. Mikäli johdonsuojakatkaisijan katkaisukyky ei ole riittävä, on sen lisäksi käytettävä lisäsuojana sulaketta tai kompaktikatkaisijaa. (Tiainen 2010, 29,74.)

Tyypillisimmät johdonsuojatyypit ovat B, C ja D. Valmistajakohtaisia laukaisukäyriä löytyy K-, Z- ja A-tyyppin johdonsuojakatkaisijoista ja niitä käytetään erityistapauksissa. Johdonsuojakatkaisijat voidaan valita alla olevan Taulukko 2 mukaisesti. (Tiainen 2010, 32.)

Taulukko 2. Johdonsuojakatkaisijoiden valintataulukko käyttökohteen mukaan (Tiainen 2010, 32).

Toimintakäyrä	Käyttökohte
B (nopea)	Resistiiviset kuormat, johdonsuojaus, lämmitys, valaistus
C (hidas)	Kuten B, lisäksi lievästi induktiiviset ja kapasitiiviset kuormat
D, K (erittäin hidas)	Voimakkaasti induktiiviset ja kapasitiiviset kuormat, jotka aiheuttavat voimakkaan käynnistysvirtasysäyksen. Muuntajat, moottorit kondensaattorit, virtalähteet, hitsauskoneet, työkalut, instrumentointi yms.
Z, A (erikoisnopea)	Pitkillä kaapeleilla, kun oikosulkuvirta on hyvin alhainen. Lisäksi tyristorit, diodit ja mittamuuntajat.

3.3.2 Sulakkeet

Sulake on hyvin yleinen ja perinteinen ylikuormitussuoja, jota käytettiin aina 1990-luvulle saakka yleisimpänä suojalaitteena rakennusten sähköasennuksia suojatessa. Nykyään johdonsuojakatkaisija on kuitenkin syrjäyttänyt sulakkeen monissa kohteissa. Sulake on silti edelleen hyvin käyttökelpoinen ja käytetty suojalaitte monien hyvien ominaisuuksiensa ansiosta. Sulakkeita on tarjolla yleiskäyttöön (toimii sekä ylikuormitussuojana että oikosulkusuojana) ja

oikosulkusuojaukseen. Yleisimpinä sulakerakenteita ovat tulppa- ja kahvasulake. (Tiainen 2010, 32.)

Koska sulaketta ei voida valita suoraan johtimen kuormitettavuuden mukaan ja mitoitus on tehtävä (Kaavan 3) mukaan on gG-sulakkeita käytettäessä yksinkertaisinta käyttää (Taulukko 3). (Tiainen 2010, 35.)

Taulukko 3. Johdon sallittu kuormitus gG-sulakkeilla (Tiainen 2010, 35).

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

Kirjainmerkinnät sulakkeessa kuvaavat sulakkeen katkaisualuetta ja käyttöluokkaa. Ensimmäinen kirjain tarkoittaa katkaisualuetta ja toinen kirjain ilmaisee käyttöluokan (gG tarkoittaa yleiskäyttöön soveltuvaa sulaketta, jonka katkaisukyky käsittää koko virta-alueen, aM tarkoittaa moottoripiirin suojasulaketta, jonka katkaisukyky käsittää vain tietyn virran osa-alueen). (Tiainen 2010, 70.)

Alla olevassa Taulukko 4 on eriteltynä sulaketyyppien kirjainselitteet.

Taulukko 4. Sulaketyyppien kirjainselitteet (Mäkinen & Kallio 2004, 94).

1. kirjain	Kirjaimen selite
g	Koko ylivirta-alueen suojaus. Oikosulku- ja ylikuormitussuoja.
a	Osa-aluesuojaus. Yleensä vain oikosulkusuojaus.
2. kirjain	
2. kirjain	Kirjaimen selite
G	Kaapeli- ja johdinsuoja
M	Moottoripiirin suoja
R	Puolijohdesuoja
Tr	Muuntajille tarkoitettu sulake

Sulakkeista tulppasulakkeet soveltuvat yleiskäyttöön, eli niitä voidaan käyttää sekä ylikuormitussuojana ja oikosulkusuojana. Oikosulkusuojauskäytössä tulppasulakkeiden käyttöä rajoittaa sen katkaisukyky, joka on standardin mukaisesti 20 kA. Kahvasulakkeet puolestaan soveltuvat erinomaisesti oikosulkusuojaukseen niiden katkaisuoimaisuuden vuoksi. Kahvasulakkeiden katkaisukyky on monesti 100 kA, mutta aina vähintään 50 kA, mikäli valmistaja ei ole ilmoittanut suurempaa katkaisukykyä. (Tiainen 2010, 70.)

4 KAAPELEIDEN MITOITUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

4.1 Kuormitettavuus

Kuormitusvirta ja sen aiheuttama johtimen lämpeneminen määrää ensisijaisesti virtapiirin jännitteisten johtimien poikkipinnan suuruuden. Johdon kuormitettavuuteen vaikuttavat johtimessa käytetty materiaali, johtimen eristemateriaali, ympäristön lämpötila, asennustapa ja muiden virtapiirien läheisyys. Johdon kyky luovuttaa virran aiheuttama lämpö sen ympäristöön määrää johdon kuormitettavuuden. (Tiainen 2010, 43.)

”Johdon kuormitettavuus on määritelty johdolle sallitun suurimman lämpötilan mukaan. Johtimelle jatkuvasti sallittua lämpötilaa ei saa ylittää, koska

-ylilämpötila voi aiheuttaa tulipalon

-ylilämpötila lyhentää johdon käyttöikää kiihdyttämällä eristeiden vanhenemista.” (Tiainen 2017, 224.)

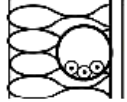



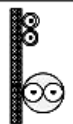
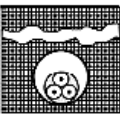
Kaapelin poikkipinta-alan mitoittaessa kuormitettavuuden mukaan aloitetaan mitoitus valitsemalla ylivirtasuojan nimellisvirta, jonka on oltava yhtä suuri tai suurempi kuin johtimen jatkuva kuormitettavuus (Kaava 1). gG-sulakkeita käytettäessä etsitään vastaava johtimen pienin kuormitettavuus Taulukko 3 tai lasketaan se kaavalla 3. Kun käytetään johdonsuojakatkaisijaa, kuormitettavuus on yhtä suuri kuin johdonsuojakatkaisijan nimellisvirta. (Tiainen 2010, 55.)

Seuraavaksi on määritettävä kyseisiä asennusolosuhteita vastaavat korjauskertoimet. Korjauskertoimien määrittämiseksi käytetään standardin SFS 6000 kohta 5-52. Tämän jälkeen suurin sallittu kuormitusvirta jaetaan korjauskertoimien tulolla. Lopuksi etsitään standardin kuormitustaulukoista soveltuva kaapeli/johdintyyppi. (Tiainen 2010, 55.)

Kuormitettavuuteen vaikuttavat standardin SFS 6000 asennustavat on esitelty Taulukko 5 ja Taulukko 6. Kyseisissä kuvissa esitetään myös kuormitettavuuden selvittämiseen tarvittavat taulukot.

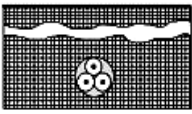


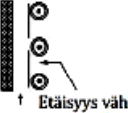
Taulukko 5. Referenssiasennustavat standardissa SFS 6000 (SFS-käsikirja 600-1 2022, 227).

Taulukko B.52.1 Referenssiasennustavat, joita käytetään taulukoitujen kuormitettavuuksien perustana

Referenssiasennustapa		Taulukko ja sarake						Lämpötilan korjauskerroin	Ryhmästä johtuva korjauskerroin
		Yksittäisen piirin kuormitettavuus							
		Termoplastinen eristys (PVC)	Silloitettu eristys (PEX, EPR)		Mineeraali-eristys				
		Johtimien lukumäärä							
1	2	2	3	2	3	2 ja 3	8	9	
	Eristetyt johtimet lämpöeristettyyn seinään upotetussa putkessa Huone	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
	Monijohdinkaapeli eristettyyn seinään upotetussa putkessa Huone	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 (yksijohdinkaapelit) putkessa puuseinän pinnalla	B1	Eristetyt johtimet lämpöeristettyyn seinään upotetussa putkessa	B.52.4 Sarake. 4	B.52.3 Sarake. 4	B.52.5 Sarake. 4	-	B.52.14	B.52.17
	Monijohdinkaapeli putkessa puuseinän pinnalla	B2	Monijohdinkaapeli eristettyyn seinään upotetussa putkessa	B.52.4 Sarake. 5	B.52.3 Sarake. 5	B.52.5 Sarake. 5	-	B.52.14	B.52.17
	Yksi- tai monijohdinkaapelit 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
	Monijohdinkaapelit 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

Taulukko 6. Referenssiasennustavat standardissa SFS 6000 (SFS-käsikirja 600-1 2022, 228).

Taulukko B.52.1 (jatkuu)

Referenssiasennustapa		Taulukko ja sarake							
		Yksittäisen piirin kuormitettavuus					Lämpötilan korjauskerroin	Ryhmästä johtuva korjauskerroin	
		Termoplastinen eristys (PVC)		Silloitettu eristys (PEX, EPR)		Mineeraali-eristys			
		Johtimien lukumäärä							
		2	3	2	3	2 ja 3			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	Vaipalliset yksijohdin- tai monijohdinkaapelit suoraan maassa	D2	Sarake 8		Sarake 8		Sarake 8	Sarake 8	Sarake 8
	Monijohdinkaapeli 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		
	Yksijohdinkaapelit 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		
	Yksijohdinkaapelit 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	-		

4.2 Syötön nopea poiskytkentä

Syötön automaattisesti toimivan poiskytkennän avulla toimiva syötön suojaus on yleisemmin asennuksissa käytössä oleva vikasuojausmenetelmä. Suojausmenetelmä perustuu suljettuun vikavirtapiiriin ja soveltuvan suojalaitteen valintaan. Tarkoituksena on, että vianaikainen kosketusjännite saadaan kytkettyä pois ennen kuin se aiheuttaa vaaraa. Suojalaitteen valinnan lisäksi myös vikavirtapiirin osat on mitoitettava oikein. Suojajohtimien on kestävä vaurioitumatta oikosulkuvirran vaikutukset siihen asti, kun suojalaite toimii. (Tiainen 2010, 85)

Vian poiskytketymsajat määräytyvät ylivirtasuojien nimellisvirtojen mukaan. Enintään 32 A:n ylivirtasuojilla suojatun ryhmäjohtoon vian on kytkeydyttävä pois enintään 0,4 sekunnissa. Yli 32 A:n suuremmilla ryhmäjohtoilla ja pääjohtoilla sallitaan 5 sekunnin vian poiskytkentäaika. (Tiainen 2010, 88.)

Suojauksen toimivuuden varmistaminen edellyttää pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran määrittämistä kaavalla 5 ja sen vertailua vaadittuihin arvoihin (Taulukko 7) ja (Taulukko 8).

$$I_k = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times Z} \quad (5)$$

missä

I_k	on	pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta
c	on	kerroin 0,95, joka ottaa huomioon jännitteenaleneman liittimissä, johdoissa, sulakkeissa, kytkimissä jne.
U	on	pääjännite (V)
Z	on	virtapiirin kokonaisimpedanssi

Taulukko 7. Johdonsuojakatkaisijoiden pienimmät toimintavirrat.

Nimellisvirta A	B-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A	C-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A	D-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A
6	30	60	120
10	50	100	200
13	65	130	260
16	80	160	320
20	100	200	400
25	125	250	500
32	160	320	640
50	250	500	1000
63	315	630	1260
80	400	800	1600
125	625	1250	2500

Taulukko 8. Sulakkeiden pienimmät toimintavirrat.

gG- sulakkeen nimellis- virta A	gG-sulake 0,4 s A	gG-sulake 5,0 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

4.3 Jännitteenalenema

Kun sähkölaitetta syötetään normaalista pienjänniteverkosta, jännitteenalenema saa olla enimmillään 5 %. Valaistuskormalle voimassa oleva suositus on 3 %. Jännitteenalenema voidaan laskea pienjänniteverkossa kaavan 6, kaavan 7 ja kaavan 8 avulla. (Tiainen 2017, 242.)

Yksivaiheisen vaihtojännitteen jännitteenalenema:

$$\Delta U = I \times 2 \times l \times (r \cos\varphi \pm x \sin\varphi) \quad (6)$$

Kolmivaiheisen vaihtojännitteen jännitteenalenema:

$$\Delta U = I \times l \times \sqrt{3} \times (r \cos\varphi \pm x \sin\varphi) \quad (7)$$

Suhteellinen jännitteenalenema:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} \times 100\% \quad (8)$$

missä

ΔU	on	jännitteenalenema volteissa (V)
I	on	kuormitusvirta (A)
l	on	johdon pituus (m)
r	on	ominaisresistanssi (Ω/m)
x	on	ominaisreaktanssi (Ω/m)
U_n	on	nimellisjännite
φ	on	jännitteen ja virran välinen vaihekulma
Δu	on	suhteellinen jännitteenalenema

4.4 Suojajohtimen mitoitus

Suojajohtimen poikkipinnan on täytettävä syötön automaattisen poiskytkennän ehdot ja sen on kestettävä suojalaitteen toiminta-aikana esiintyvät prospektiivisen vikavirran aiheuttamat termiset ja mekaaniset rasitukset. Suojajohtimen poikkipinta voidaan laskea kaavalla 9 mukaan tai sen valitsemiseen voidaan käyttää (Taulukko 9). Kaavaa 9 on mahdollista soveltaa vain, jos poiskytkentäaika on enintään 5 sekuntia. (SFS-käsikirja 600-1 2022, 338-339.)

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \times t}}{k} \quad (9)$$

missä

S	on	suojajohtimen poikkipinta (mm^2)
I	on	suojalaitteen kautta kulkeva prospektiivisen vikavirran tehollisarvo (A)
t	on	suojalaitteen toiminta-aika (s)
k	on	kerroin, jonka arvo riippuu suojajohtimen materiaalista,

eristyksestä ja muusta rakenteesta sekä johtimelle sallituista alku- ja loppulämpötiloista

Taulukko 9. SFS-käsikirjan 600-1 taulukon 54.2 mukaiset suojajohtimen minimipoikkipinnat.

Äärijohtimen poikkipinta S mm ² kuparia	Vastaavan suojajohtimen minimipoikkipinta mm ² kuparia	
	Suojajohdin on samaa materiaalia kuin äärijohtin	Suojajohdin on eri materiaalia kuin äärijohtin
$S \leq 16$	S	$\frac{k_1}{k_2} \times S$
$16 < S \leq 35$	16	$\frac{k_1}{k_2} \times 16$
$S > 35$	$S/2$	$\frac{k_1}{k_2} \times \frac{S}{2}$

Taulukko 9 arvot k_1 ja k_2 löytyvät standardin SFS 6000 liitteestä A. Taulukko 9 on huomioitava se, että PEN-johtimena käytetyn johtimen poikkipinnan pienentäminen on sallittua vain noudattamalla standardin asettamia sääntöjä nollajohtimen mitoitukselle.

5 KAAPELIN MITOITUSTYÖKALUN SUUNNITTELU

5.1 Käytetty ohjelma

Käytettävää ohjelmaa pohtiessa helpoimmaksi ja viisaimmaksi vaihtoehdoksi nousi Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelma. Ohjelma oli yrityksellä käytössä jo valmiiksi, mikä tarkoitti myös sitä, että ylimääräisiltä ohjelmistohankinnoilta ja lisäkuluilta vältyttäisiin. Valintaa helpotti myös se, että ohjelmistoa oli entuudestaan käytetty myös ammattikorkeainnoissa.

5.2 Työkalun suunnittelu

Työkalun suunnittelun pohjana oli toimeksiantajayrityksen tarpeet mitoitusyökalulle. Työn perimmäinen tarkoitus oli, että työkalulla voisi mitoittaa kaapelin poikkipinta-alan kuormitettavuuden perusteella korjauskertoimet huomioiden pienjänniteverkon kaapeleille. Työhön lisättiin ideointivaiheessa myös oikosulkuvirta- ja jännitteenalenemalaskuri tarpeellisiksi. Työkalun käytöstä toivottiin myös yksinkertaista ja nopeaa.

Aluksi ideana oli toteuttaa työkalu käyttäen Microsoft Excelistä löytyvää VBA-ohjelmointikieltä. Lyhyen ohjelmointikieleen tutustumisen jälkeen vaikutti kuitenkin viisaammalta ja nopeammalta ratkaisulta toteuttaa mitoitusyökalu taulukkolaskentaa hyödyntäen.

Työkalun suunnittelua varten perehdyttiin ensiksi standardeihin ja alan kirjallisuuteen, josta poimittiin ylös tarpeelliset tiedot työkalua varten.

Työkaluissa ei ole otettu huomioon kuin tyypillisimmät johdonsuojakatkaisijatyypit (B, C ja D), koska A-, K-, ja Z-laukaisukäyrät ovat valmistajakohtaisia. Myöskään sulakkeista ei työkaluissa ole otettu huomioon kuin tyypillinen gG-sulake, koska yritykseltä löytyy jo käytössä oleva aM-sulakkeille tarkoitettu mitoitusyökalu. Työkalussa ei myöskään ole huomioitu moottorinsuojakytinten tai muiden etukojien mitoituksia, koska kyseisiin tarpeisiin löytyy mitoitusyökalu/-ohjeita laitteiden valmistajilta. Työkalua siis alettiin nimensä mukaisesti suunnittelemaan kaapelin mitoitukseen tavanomaisille johdon suojaukseen käytettäville etukojeille.

6 TYÖKALUN TOTEUTUS

6.1 Poikkipinnan mitoitus kuormitettavuuden mukaan

Työkalun toteutus aloitettiin kopioimalla tarvittavat arvot standardista SFS 6000-5-52 erilliselle taulukkosivulle. Työkalu käyttäisi kyseisiä arvoja laskentojen tekemiseen ja etsisi aina tietyssä tapauksessa tarvittavan arvon kyseisistä soluista. Myöhempää käyttöä ajatellen kyseiset arvot olisi myös helppo päivittää ja tarkistaa, mikäli niihin joskus tulisi muutoksia tai laskuvirheitä ilmenisi työkalua käytettäessä.

Itse työkalussa ja sen toteutuksessa käytettiin hyödyksi Excelin ehtokaavoja (esim. XHAKU, JOS, TAI), sekä alasvetovalikoita. Näin työkalun käyttö saatiin helpoksi ja nopeaksi. Ehtokaavat myös mahdollistivat sen, että laskuissa ei käytettäisi koskaan virheellisiä arvoja ja korjauskertoimet olisivat aina standardin SFS 6000-5-52 mukaisia. Kaikki valikot ja vaihtoehdot perustuvat standardeissa esitettyihin arvoihin. Kuvio 1 on esitetty yksi työkalussa käytetty kaava kokonaisuudessaan.

```
=LASKE.JOS(D3;"C")*LASKE.JOS($K$23;"1")*LASKE.JOS(D1;"2")*XHAKU(Taul1!J22;Taul8!H5:H20;Taul8!C5:C20;;1)
```

Kuvio 1. Poikkipinta-alan mitoitus työkalussa käytetty Excelin kaava.

Työkaluun lisättiin myös kommentteja valikoihin, jotka helpottaisivat nopeaa käyttöä. Valikoihin sijoitetut kommentit myös ohjeistavat oikeanlaiseen käyttöön mikä takaa tuloksen oikeellisuuden. Kuvio 2 on yksi ohjeistava kommentti työkalusta.

asennustapa	E	Valitse asennustapa standardin 6000 mukaisesti. SFS 600-1 käsikirja taulukko A.52.3.
eriste	PVC	
ilman lämpötila	30	

Kuvio 2. Ohjeistusesimerkki Excel-työkalusta.

Työkalun kokonaiskuva on esitetty (Kuvio 3). Kuviossa oikealla näkyy ”tulostat-riisi” johon ilmestyy oikea tulos valituille määrittelyille.



Kuvio 3. Poikkipinta-alan mitoitustyökalun näkymä.

Poikkipinta-alan mitoitustyökaluun tuli vielä loppuhetkillä muutoksia, koska SFS-käsikirjassa 600-1 ja standardissa SFS 6000-5-52 oli taulukkovirheitä. Kyseisten virheitten takia osa työkalussa käytetyistä taulukoista jouduttiin päivittämään jo opinnäytetyön tekovaiheessa.

6.2 Oikosulkuvirran laskenta

Oikosulkuvirtalaskentatyökalua varten luotiin oma Excel-tiedosto, koska poikkipinta-ala-Excelissä oli jo niin paljon taulukkosivuja ja työkalujen käytöstä olisi mahdollisesti tullut hitaampaa, mikäli ne olisi kaikki sisällytetty samaan tiedostoon. Erillisten tiedostojen tekeminen myös yksinkertaisti tekemisprosessia.

Työkalussa käytettiin poikkipinta-alatyökalun kanssa samaan tapaan Excelin ehtokaavoja ja alavetovalikoita. Työkaluun lisättiin myös maksimijohtopituuden laskenta kaavan 10 mukaisesti. Kyseiseen työkaluun laitettiin myös ohjeistavia kommentteja käytön helpottamiseksi.

$$I = \frac{c \times U}{\frac{\sqrt{3} \times I_k}{2 \times Z_j}} - Z_v \quad (10)$$

missä

I	on	johtopituus
c	on	kerroin 0,95
U	on	pääjännite (V)
I _k	on	oikosulkuvirta, joka aiheuttaa automaattisen poiskytken vaaditussa ajassa
Z _v	on	impedanssi ennen suojalaitetta
z	on	suojattavan johtimen impedanssi (Ω/km)

Työkalunäkymä on esitetty (Kuvio 4).

Oikosulkuvirta		
Keskuksen oikosulkuvirta	0	
Keskuksella vaikuttava impedanssi	#JAKO/0!	
Lähtevä kaapeli		
johdinmateriaali	kupari	
poikkipinta	1,5	
kaapelin pituus (km)	0,05	
johtimista johtuva impedanssin lisäys	1,462	
impedanssi yhteensä	#JAKO/0!	
oikosulkuvirran arvo kaapelin päässä	#JAKO/0!	
sulake/johdonsuoja	johdonsuoja	
0,4s vai 5s	0,4s	
B, C VAI D tyyppin johdonsuoja	C	
nimellisvirta	25	
Maksimi kaapelipituus (m)	#JAKO/0!	#####

Kuvio 4. Oikosulkuvirtalaskentatyökalun perusnäkö.

6.3 Jännitteenaleneman laskenta

Jännitteenalenematyökalu tehtiin myös erilliseen Excel-tiedostoon, koska se selkeyttäisi työkalujen käyttämistä. Työkalu perustuu muiden työkalujen mukaan käytöltään ehtolauseisiin ja alasvetovalikoihin.

Työkalu laskee lopputuloksen kaavan 6 tai kaavan 7 mukaisesti ja ilmoittaa suhteellisen jännitteenaleneman kaavan 8 mukaan.

Kuvio 5 on esitetty työkalun ulkonäkö.

Jännitteenalenema		
Kuormitusvirta	50	
syöttökaapelien pituus (km)	0,02	
johdinmateriaali	alumiini	
poikkipinta	50	
syöttökaapelien ominaisresistanssi (ohm/km)	0,64	
syöttökaapelien ominaisreaktanssi (ohm/km)	0,083	
jännitteen ja virran välinen vaihekulma cos phi	0,9	
nimellisjännite	400	
jännitteenalenema	1,06	
jännitteenalenema %	0,27	

Kuvio 5. Jännitteenalenematyökalun perusnäkö.

6.4 Testaus

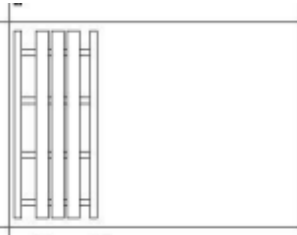

Testaus ja kehittelyvaihe jäi hieman lyhyeksi muiden työkiireiden vuoksi ja näin ollen vain työkalujen toimivuus kerrettiin varmistaa. Työkalujen toimivuutta testattiin useilla eri arvoilla ja niiden avulla saatiin varmistettua työkalujen luotettava toiminta. Ulkonäkö ja muut kehityskohteet jäivät toteutettavaksi myöhempään ajankohtaan.

6.4.1 Poikkipinta-alan määrittäminen kuormitettavuuden mukaan

Työkalua testattiin useilla erilaisilla arvoilla ja sen toiminta tuli varmistetuksi. Alla on esitettyä esimerkkilaskelmaa, jolla kyseisen työkalun toiminta on varmistettu.

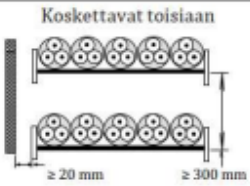
Esimerkkilaskelma: Kaapelieristeenä käytetään PVC:tä, johdinmateriaali on kupari. Kaapeli tullaan asentamaan kolmen muun samanlaisen kaapelin viereen tikashyllylle, ilman lämpötila on korkeimmillaan 35°C. Ylikuormitus- ja oikosulkusuojaukseen käytetään 3x25 A:n gG-sulakkeita.

Käsin laskemista varten tarkastetaan kaapelin asennustapa (Kuvio 6). Asennustavaksi määräytyy E, koska asennus tehdään tikashyllylle ja kyseessä on monijohdinkaapeli. F asennustapaa käytettäisiin, mikäli kyseessä olisi yksijohdinkaapeli (Taulukko 6).

34		etäisyydenä seinästä Yksi- tai monijohdinkaapelit: Kaapelitikkailla	E tai F
25		Yksi- tai monijohdinkaapeli suoraan	E tai F

Kuvio 6. SFS-käsikirjan 600-1 mukainen asennustapa, SFS-käsikirjan taulukosta A.52.3 (SFS-käsikirja 600-1 2022, 219).

Kaapeleiden määrästä kaapelihyllyllä korjauskertoimeksi määräytyy Kuvio 7 mukaisesti 0,80, koska hyllyllä tai tikkailla olevia kaapeleita tulee olemaan 4 kappaletta.

Tikas, tuet, kiinnikkeet yms. (HUOM. 3)	32 33 34		1 2 3 6	1,00 1,00 1,00 1,00	0,87 0,86 0,85 0,84	0,82 0,80 0,79 0,77	0,80 0,78 0,76 0,73	0,79 0,76 0,73 0,68	0,78 0,73 0,70 0,64

Kuvio 7. SFS-käsikirjan 600-1 mukainen korjauskerroin, SFS-käsikirjan taulukko B.52.20 (SFS-käsikirja 600-1 2022, 246).

Ilmasta johtuva korjauskerroin on Kuvio 8 mukaisesti 0,94.

Taulukko B.52.14 Vapaasti ilmassa olevien kaapelien korjauskertoimet muille ympäristön lämpötiloille kuin 30 °C

Ympäristön lämpötilä ^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.

Kuvio 8. SFS-käsikirjan 600-1 taulukko B.52.14 (SFS-käsikirja 600-1 2022, 241).

Sulakkeen minimikuormitettavuus on Taulukko 3 mukaan 28 A. Jaetaan tämä minimikuormitettavuus kokonaiskorjauskertoimella. Jolloin saadaan arvoksi johdon minimikuormitettavuus.

$$28 \text{ A} / (0,94 \times 0,80) = 37,23 \text{ A}$$








Työkalu antaa minimikuormitettavuudeksi saman tuloksen (Kuvio 9).

johdon minimi kuormitettavuus	37,23
----------------------------------	-------

Kuvio 9. Laskurin antama minimikuormitettavuus ampeereina.

Etsitään standardin SFS 6000-5-52 taulukosta B.52.10 (Kuvio 10) lähimpänä oleva kaapelin poikkipinta-ala pyöristäen kuormitus seuraavaksi lähimpään suurempaan arvoon. 6mm² johtimen kuormitettavuus 43 A.

Taulukko B.52.10 Kuormitettavuus ampeereina [Taulukon 52.1](#) asennustavoilla E, F ja G
- PVC-eristys, kuparijohtimet - Johtimen lämpötila: 70 °C, ulkolämpötila: 30 °C

Johtimen nimellis- poikkipinta mm ²	Taulukon B.52.1 mukaiset asennustavat						
	Monijohdinkaapelit		Yksijohdinkaapelit				
	Kaksi kuormi- tettua johdinta	Kolme kuormi- tettua johdinta	Kaksi kuormi- tettua johdinta koskettavat toisiaan	Kolme kuormi- tettua johdinta komiassa	Kolme kuormitettua johdinta, tasossa		
					Koskettavat toisiaan	Erillään	
						Vaakatasossa	pystyasossa
							
	Tapa E	Tapa E	Tapa F	Tapa F	Tapa F	Tapa G	Tapa G
1	2	3	4	5	6	7	8
1,5	22	18,5	-	-	-	-	-
2,5	30	25	-	-	-	-	-
4	40	34	-	-	-	-	-
6	51	43	-	-	-	-	-

Kuvio 10. SFS-käsikirjan taulukko B.52.10 (SFS-käsikirja 600-1 2022, 237).

Työkalu antaa arvoksi 6mm² (Kuvio 11).

	0	0 E	6	0
--	---	-----	---	---

Kuvio 11. Työkalun antama poikkipinnan arvo.

6.4.2 Oikosulkuvirran laskentatyökalu

Työkalua toimivuus testattiin alla olevan esimerkkilaskun mukaisesti.

Esimerkkilasku: Keskuksen oikosulkuvirta 645 A. Lähtevä kaapelin johdinmateriaali on kupari ja poikkipinta-ala 6mm². Kaapelin pituus on 50 metriä.

Lasketaan keskuksella vaikuttava impedanssi Z_V , käyttäen kaavaa 11.

$$Z_V = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times I_k} \quad (11)$$

missä

Z_V	on	keskuksella vaikuttava impedanssi
c	on	kerroin 0,95, joka ottaa huomioon jännitteenalenneman liittimissä, johdoissa, sulakkeissa, kytkimissä jne.
U	on	pääjännite
I_k	on	keskuksen oikosulkuvirta

$$Z_V = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times I_k} = \frac{0,95 \times 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \times 645 \text{ A}} = 0,340144 \Omega$$

Lasketaan johtimien impedanssi Z_j .

$$Z_j = 2 \times 0,05 \text{ km} \times 3,661 \Omega/\text{km} = 0,3661 \Omega$$

Lasketaan johtimen päässä vaikuttava yksivaiheinen oikosulkuvirta (Kaavalla 5).

$$I_k = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times Z} = \frac{0,95 \times 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \times (0,3661 \Omega + 0,340144 \Omega)} = 310,65 \text{ A}$$

Arvoa verrataan Taulukko 8, jossa vaadittu arvo on 180 A. Tuloksena on, että saatu oikosulkuvirta-arvo on riittävä.

Työkalu antaa laskennan tulokseksi Kuvio 12 mukaiset arvot.

Oikosulkuvirta		
Keskuksen oikosulkuvirta		645
Keskuksella vaikuttava impedanssi		0,340144
Lähtevä kaapeli		
johdinmateriaali		kupari
poikkipinta		6
kaapelin pituus (km)		0,05
ohjelmasta johtuva impedanssin lisä		0,3661
impedanssi yhteensä		0,70624
Oikosulkuvirran arvo kaapelin päässä		310,65
sulake/johdonsuoja		sulake
0,4s vai 5s		0,4s
B, C VAI D tyyppin johdonsuoja		D
nimellisvirta		25
Maksimi kaapelipituus (m)	#PUUTTUU!	120,009

Kuvio 12. Oikosulkuvirtalaskurin laskemat arvot.

Tarkastellaan johtimen maksimipituutta kaavan 10 avulla ja verrataan sitä työkalun antamaan tulokseen 120,009 m.

$$I = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times I_k} - Z_V = \frac{0,95 \times 400 \text{ V}}{\frac{\sqrt{3} \times 180 \text{ A}}{2 \times 3,661 \frac{\Omega}{\text{km}}}} - 0,341044 \Omega = 0,120009 \text{ km} = 120,009 \text{ m}$$

6.4.3 Jännitteenaleneman laskentatyökalu

Jännitteenalenemalaskurin toiminta selvitettiin alla olevan esimerkkilaskun avulla.

Esimerkkilasku: Kuormitusvirta 25 A, kaapelin poikkipinta-ala 6 mm², johdinmateriaali kuparia, kaapelivedon pituus 50 metriä ja ilmoitettu cos φ on 0,9. Asennus on yksivaiheinen.

Lasketaan kaavan 7 mukaisesti jännitteenalenema, koska kyseessä on kolmivaiheinen asennus.

$$\Delta U = I \times l \times \sqrt{3} \times (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi) = 25 \text{ A} \times 0,05 \text{ km} \times \sqrt{3} \times (2,95 \times 0,9 \pm 0,1 \times \sin \cos^{-1}(0,9)) = 5,84 \text{ V}$$

Sama tulos saadaan työkalun avulla (Kuvio 13).

Jännitteenalenema	
Kuormitusvirta	25
syöttökaapelin pituus (km)	0,05
johdinmateriaali	kupari
poikkipinta	6
syöttökaapelin ominaisresistanssi (ohm/km)	2,95
syöttökaapelin ominaisreaktanssi (ohm/km)	0,1
jännitteen ja virran välinen vaihekulma cos phi	0,9
nimellisjännite	400
jännitteenalenema	5,84
jännitteenalenema %	1,46

Kuvio 13. Jännitteenalenemalaskurin tulokset.

Kaavan 8 avulla saadaan suhteellinen jännitteenalenema, jota verrataan työkalulla saatavaan tulokseen (Kuvio 13).

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} \times 100 \% = 1,46 \%$$

7 KÄYTTÖOHJE

Työkaluista oli tarkoitus tehdä helposti käytettäviä, joten laajoja ohjeita niihin ei tehty. Työkaluihin liitettiin ohjaavia kommentteja, jotka auttavat työkalujen käytössä.

Varsinaiset käyttöohjeet kaikille työkaluille ovat alla.

Poikkipinta-alan mitoitus:

- Määritä asennustapa A1-G ja kuormitettujen johdinten määrä.
- Valitse seuraavaksi sulakkeen/johdonsuojakatkaisijan nimellisvirta.
- Valitse eristemateriaali.
- Määritä lämpötilat ja maan lämpöresistiivisyys, mikäli tarpeen.
- Mikäli vierellä kaapeleita, määritä sijoitustapa (kaapelit koskettavat toisiinsa), ei tarvitse määrittää, mikäli kyseessä on D-G asennustapa. Määritä piirien tai monijohdinkaapelien lukumäärä.
- D2, D1, E, F ja G asennustavoilla määritä vaihtoehdot kyseisille asennustavoille.
- Lopuksi valitse johdinmateriaali.
- Tulos näkyy "tulomatriisissa".

Oikosulkuvirran laskentatyökalu:

- Määritä keskuksen oikosulkuvirta, lähtevän kaapelin johdinmateriaali ja poikkipinta, sekä kaapelipituus.
- Määritä suojaava sulake/johdonsuojakatkaisija.
- Laskuri ilmoittaa oikosulkuvirran arvon kaapelin päässä. Vertaa arvoa laskurin antamaan vaadittavaan oikosulkuvirtaan.
- Kaapelin maksimipituus näkyy tuloksissa valitun suojalaitteen mukaisesti.

Jännitteenaleneman laskentatyökalu:

- Syötä tarvittavat arvot laskuriin (kuormitusvirta, kaapelin pituus (HOX. kilometreinä), johdinmateriaali ja kaapelin poikkipinta).
- Määritä $\cos \varphi$ ja jännite.
- Laskuri antaa tuloksena jännitteenaleneman volteissa ja suhteellisen jännitteenaleneman prosentteina.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä Oy Kalotkonsult Ab:n käyttöön kaapelin mitoitus työkalu, jota yrityksen sähkösuunnittelijat voisivat käyttää tulevaisuudessa työssään. Tarkoituksena työkaluun oli myös lisätä oikosulkuvirran- ja jännitteenalenemalaskutyökalut. Työkalut toteutettiin lopulta erillisiin tiedostoihin.

Kaikki työkalut toteutettiin käyttäen Microsoft Exceliä. Poikkipinta-alan mitoitus työkalun avulla voidaan mitoittaa kaapelin poikkipinta-ala siten, että asennustavat, korjauskertoimet ja lähtöä suojaavan suojalaitteen nimellisvirta on huomioitu. Työkalua ei missään vaiheessa ollut tarkoitus suunnitella siihen, että sen avulla olisi mahdollista määrittää kaapelityyppiä, muuten kuin eristemateriaalin ja johdinmateriaalin perusteella. Oikosulkuvirran laskentatyökalun avulla on mahdollista selvittää syötön nopean poiskytkennän ehtojen toteutuminen ja suurin mahdollinen kaapelinpituus. Jännitteenaleneman laskentatyökalulla puolestaan saadaan selvitettyä lähdön jännitteenalenema. Työkalut toimivat kuten tilaaja on niiden toivonut toimivan. Työkaluissa keskityttiin puhtaasti käytännölliseen toimintaan ja esimerkiksi tästä syystä niiden ulkoasuun ei vielä opinnäytetyöprosessin aikana suuremmin panostettu. Mitoitustulokset ovat testausvaiheen perusteella luotettavia ja työkalujen käyttö on huomattavasti nopeampaa, kuin käsin laskenta.

Työkalujen suurimmaksi puutteeksi voinee todeta hitaan ja tarkkaavaisuutta vaativan päivityksen, mikäli esimerkiksi korjauskertoimet joskus muuttuisivat. Myös kaavojen ja niiden tarkoituksen ymmärtäminen on hankalaa, mikäli joskus tulee tilanne, että niitä tulisi tarve muuttaa.

Nykyisellään työkaluissa ei ole hirveästi kehitettävää, koska ne toimivat ja antavat luotettavia tuloksia. Kehityksen kohteeksi jää ulkoasun parantelu ja tulostusasiakirjamallien tekeminen. Tällä hetkellä työkaluihin ei ole tehty mahdollisuutta tulostaa niin sanottua tulostusasiakirjaa.

Ison osan opinnäytetyöprojektin ajasta vei Microsoft Excelin kaavojen opettelu. Vaikkakin Excel oli entuudestaan tuttu, esimerkiksi ehtolauseet eivät olleet kovin tuttuja. Siitä huolimatta onnistuin mielestäni työkalujen tekemisessä hyvin.

Teoreettisen osuuden tässä työssä voinee sanoa olevan melko tiivistetty ja se voisi olla laajempikin. Valitettavan kiireisen kevään takia en työhön saanut haluaani määrää teoriaa, mutta siitä huolimatta uskon, että työn teoriaosuus antaa lukijalle suhteellisen hyvän käsityksen kaapeleiden mitoituksesta ja siihen liittyvistä asioista yleisellä tasolla.

Kiireistä ja pienistä ongelmista riippumatta opinnäytetyöprosessissa tuli opittua ja kerrattua kaapelin mitoittamista, sekä Excelin käyttöä. Opinnäytetyö oli myös jatkoa ajatellen kehittävä, sillä sähkösuunnittelussa monia muitakin mitoituksia olisi viisaampi tehdä tietokoneavusteisesti, eli toisin sanoen opinnäytetyöprosessin jälkeen minulla on tarvittavaa tietoa ja taitoa tehdä myös toisenlaisia mitoitus työkaluja.

Standardin 6000-5-52 ja SFS-käsikirjan 600-1:2022 korjauslehti ilmestyi opinnäytetyön tekemisen loppuvaiheilla. Korjauslehden tietojen päivittäminen työkaluun aiheutti hieman lisätöitä.

LÄHTEET

Kalottkonsult 2023a. Palvelut. Viitattu 26.4.2023 <https://kalottkonsult.fi/palvelut/>

Kalottkonsult 2023b. Yritys. Viitattu 26.4.2023 <https://kalottkonsult.fi/yritys/>

Mäkinen, M. & Kallio, R. 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Helsinki: Otava.

SFS-käsikirja 600-1:2022 Pienjännitesähköasennukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Tiainen, E. 2010. Johdon mitoitus ja suojaus. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.

Tiainen, E. 2017. D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähköinfo Oy.