



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sebastian Wargh

MITOITUSTYÖKALU KAAPELEIDEN MITOITUKSEEN

Tekniikka
2017

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Sebastian Wargh
Opinnäytetyön nimi	Mitoitustyökalu kaapeleiden mitoitukseen
Vuosi	2017
Kieli	suomi
Sivumäärä	45
Ohjaaja	Timo Männistö

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Excel-pohjainen mitoitustyökalu sähköliittymän laskentaan asuntorakentamisessa.

Mitoitustyökalu tuli ajankohtaiseksi, kun haluttiin saada suunniteltaviin kohteisiin mitoitusta helpottava työkalu. Mitoitustyökalulla voidaan laskea omakotitalojen, paritalojen ja paritaloalueiden liittymien ja nousujohtojen koko.

Opinnäytetyön teoriaosuus käsittelee liittymän tehon mitoitukseen ja johdon valintaan vaikuttavia tekijöitä.

Tärkeimpinä tietolähteinä käytettiin sähköalan standardeja ja määräyksiä, sähkö-tietokortistoa sekä alaan liittyvää muuta kirjallisuutta. Ohjelman laskennallinen osuus pohjautuu ST-kortin mukaisiin laskentamalleihin.

Avainsanat mitoitustyökalu, liittymä, liittymiskaapeli, nousujohto

ABSTRACT

Author	Sebastian Wargh
Title	Desing Tool for Electrical Connections
Year	2017
Language	Finnish
Pages	45
Name of Supervisor	Timo Männistö

The aim of the thesis was to design an Excel-based tool for the calculation of the electrical connection for residential construction.

The design tool became an issue when Valosel Ltd wanted to develop a calculation tool for construction projects to make the calculation of electrical connections easier. Electrical standards and regulation were used as the most important data sources as well as other literature related to the field. The computing part of the software is based on the ST-card files.

The result of the thesis is a design tool which can be used for calculating the connection and distribution circuits for the single-family houses, semidetached houses and similar residential areas.

Keywords	Design tool, electrical connection and residential construction
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	9
2	YRITYSESITTELY	10
3	LIITTYMÄN MITOITUS.....	11
	3.1 Asuinhuoneiston huipputehon arviointi.....	11
	3.2 Asuinhuoneiston nimellisvirta	13
	3.3 Asuinrakennuksen huipputeho.....	13
	3.4 Tasauskerroin.....	14
	3.5 Liittymän mitoitusvirta	15
4	JOHDON SUOJAUS JA MITOITUS	16
	4.1 Ylikuormitus sulakkeilla.....	16
	4.2 Johdon kuormitettavuus	17
	4.3 Korjauskertoimet.....	25
	4.4 Jännitteenalenema	28
5	TYÖKALUN KEHITTÄMINEN JA OHJELMOINTI	30
	5.1 Mitoitustyökalan suunnittelu	30
	5.2 Visual Basic	31
6	MITTAUSTYÖKALUN OSIOT	32
	6.1 Esitiedot	32
	6.2 Asuinhuoneiston huippukuormituksen määrittely	33
	6.3 Asuinrakennuksen huippukuormituksen määrittely	36
	6.4 Tehon huippukuormitus ja kuormitusvirta.....	37
	6.5 Nousujohtojen määrittely.....	39
	6.6 Tulosten käsittely	41
7	POHDINTA.....	43
	LÄHTEET.....	44

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Tasauskerroin /2/	14
Kuva 2. Mittaustyökalun pääikkuna	33
Kuva 3. Mitoitustapa 1a	34
Kuva 4. Suora sähkölämmitys	35
Kuva 5. Listatut huoneistot	36
Kuva 6. Muu asuinrakennuksen sähkö	37
Kuva 7. Huoneistojen huipputeho	38
Kuva 8. Huoneistojen tasattu teho	38
Kuva 9. Liittymän huippukuormitus	39
Kuva 10. Kuormitusvirta ja liittymän koko	39
Kuva 11. Johdon kuormituksenikkuna	40
Kuva 12. Johdon asennustapa ja poikkipinta	40
Kuva 13. Jännitteenalenema	41
Kuva 14. Tuloste	42
Taulukko 1. Johtojen pienimmät kuormitettavuudet käytettäessä gG-sulaketta ylikuormitussuojana. /6/	17
Taulukko 2. Eristeaineiden suurimmat sallitut käyttölämpötilat. /7/	18
Taulukko 3. Luettelo referenssiasennustavoista /8/	19
Taulukko 4. Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla A, B, C ja D. PVC-eristeisille kaapeleille /9/	20
Taulukko 5. Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla A, B, C ja D. PEX-tai EPR-eristeisille kaapeleille. /10/	21
Taulukko 6. Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla E, F ja G. PVC-eristeiset kuparijohtimet /11/	22
Taulukko 7. Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla E, F ja G. PVC-eristeiset alumiinijohtimet /12/	23

Taulukko 8. Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla E, F ja G. PEX- tai EPR-eristeiset kuparijohtimet /13/	24
Taulukko 9. Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla E, F ja G. PEX- tai EPR-eristeiset alumiinijohtimet /14/	25
Taulukko 10. Ilmaan asennettavien kaapelien yhteydessä käytettävät korjauskertoimet /15/	26
Taulukko 11. Korjauskertoimet ympäröivän maan lämpötilan mukaan /16/	26
Taulukko 12. Korjauskertoimet maan lämpöresistiivisyyden mukaan /17/	26
Taulukko 13. Korjauskertoimet ryhmille, joissa on useita kaapeleita tai virtapiirejä /18/	27
Taulukko 14. Useamman kuin monijohdinkaapelien korjauskertoimet maahan asennettuna /19/	27
Taulukko 15. Korjauskertoimet kaapeleille, jotka ovat asennettu putkiin	28
Taulukko 16. Jännitteenaleneman raja-arvot /21/	29

LYHENNELUETTELO

P_{hmax}	huoneiston huipputeho
P_{val}	valaistuskuorma 10 W/m ²
A_h	huoneiston pinta-ala m ²
P_{kk}	kojekuorma, kW
P_{kev}	kiukaan ei-vuoroteltu osa, kW
$P_{hläm}$	sähkölämmityksen teho, kW
$P_{aläm}$	autolämmityksen teho, kW
P_{LVV}	lämmivesivaraajateho, kW
I_{max}	mitoitusvirta
U_p	verkon pääjännite (0,4 kV)
$\cos\phi$	kuormituksen perusaallon (50 Hz) tehokerroin
P_{max}	rakennuksen huipputeho, kW
$C_{(N_h)}$	tasauskerroin huoneistojen välillä
A_{krs}	rakennuksen kerrospinta-ala
N_h	huoneistojen määrä
C_{min}	minimi tasauskerroin, jota pienemmäksi tasaus ei laske, vaikka huoneistojen määrä nousisi kuinka suureksi
I_n	suojalaitteen nimellisvirta
I_Z	johtimen jatkuva kuormitettavuus

k	sulakkeen ylemmän sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde
u	absoluuttinen jännitteenalenema
b	piirin vaihemäärästä riippuva kerroin
ρ_l	johdinmateriaalin resistiivisyys
L	johtojärjestelmän pituus
S	johtimen poikkipinta
λ	johtimen reaktanssi
I_b	kuormitusvirta
Δu	suhteellinen jännitteenalenema
u	absoluuttinen jännitteenalenema
LVV	lämmivesivaraaja
ΔU	jännitteenalenema volteissa
U_n	nimellisjännite
I	kuormitusvirta
r	ominaisresistanssi
x	ominaisreaktanssi

1 JOHDANTO

Asuinkiinteistöjen liittymän hankintaa varten on tehtävä mitoitukset liittymän koon selvittämiseksi. Liittymän koko saadaan määriteltyä asuinhuoneistojen ja muiden tilojen tehotarpeiden mukaan. Asuinhuoneistojen tehontarve riippuu lämmitysmuodosta, sähkökojeista ja valaistuksesta.

Liittymän ja nousujohtojen mitoitukset suoritetaan suurimmilta osin käsin laske-
malla, mikä on varsin hidas toimintatapa. Tähän haluttiin uudenlainen ratkaisu
nopeuttamaan laskentaa.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa Valosel Oy:lle Excel-
pohjainen mitoitustyökalu, joka helpottaa suunniteltavien kohteiden mitoitusta.
Mitoitustyökalulla voidaan laskea liittymän tehontarve ja määrittää tarvittavat
nousujohtot. Mitoitustyökalun tavoite on nopeampi mitoitustapa verrattuna ny-
kyiseen käsilaskentamenetelmään. Työkalu mahdollistaa välttämään inhimilliset
laskentavirheet.

Toiminnallinen opinnäytetyö koostuu teoria- ja toiminnallisesta osuudesta. Teo-
riaosuudessa käsitellään liittymän mitoittamista, nousujohtojen mitoitusta ja kuor-
mittavuutta erilaisten määräysten ja standardien pohjalta. Toiminnallinen osuus on
työn isoin osuus ja se on laadittu teorian pohjalta. Mitoitustyökalu tehdään Valo-
sel Oy:lle. Mitoitustyökalu perustuu ST-kortin mukaisiin laskentamalleihin liittymän
mitoituksessa ja se toteutetaan Microsoft Excel-ohjelman ja Visual Basic
Applications-ohjelmointikielen avulla.

Opinnäytetyön lopussa pohditaan mitoitustyökalun luotettavuutta ja käytettävyyttä.

2 YRITYSESITTELY

Valosel Oy on Uudenmaan alueella toimiva sähkösuunnittelua ja -urakointia tekevä yritys. Yritys on perustettu vuonna 2012 ja se työllistää tällä hetkellä yhdeksän henkilöä. Yritystoiminta jakautuu neljään eri osa-alueeseen; sähkösuunnittelu, sähköurakointi, sähkön huolto, korjaus ja kunnossapitotyöt sekä keikka- ja urakatyöt yksityisille kuluttajille. /22/

Yritys tekee sähkösuunnitelmia suoraan kuluttaja-asiakkaille, rakennusliikkeille sekä toisille sähköurakointiyrityksille. Sähköurakointiyrityksille yritys toteuttaa työkuvia ja piirikaaviokuvia. Rakennusliikkeille tehtävät sähkösuunnitelmat ovat niin sanotusti alusrakentamisen kohteita, joissa samalla tontilla on useampi asunto. Kuluttaja-asiakkaille yritys tekee uusien pääsääntöisesti omakoti- ja paritalojen sähkösuunnitelmia. /22/

Valosel Oy toteuttaa sähköurakointeja rakennusliikkeille ja rakentajille. Osana rakennusliikkeiden avaimet käteen- projekteja yritys tekee kohteen sähkösuunnittelusta alkaen kaikki sähkötyöt. Yrityksen toimenkuvaan kuuluu myös sähkön huolto, korjaus ja kunnossapitotyöt. Asiakkaita ovat huoltoyritykset ja isännöitsijätoimistot, joiden kanssa on tehty huoltosopimuksia. /22/

Lisäksi Valosel Oy tekee asennus- ja urakkatöitä yksityisille kuluttajille. Myös saneerauskohteiden sähkötyöt kuuluvat yritystoimintaan. /22/

3 LIITTYMÄN MITOITUS

Liittymän mitoituksessa arvioidaan asuinhuoneiston tai asuinrakennuksen huipputeho. Asuinrakennuksen huipputehoa arvioitaessa on käytettävä tasauserrointa. Asuinrakennuksen huipputehosta saadaan laskettua kuormitusvirta. /1/

Suurimman kuormituksen määrittäminen on tärkeää, jotta asennus voidaan suunnitella taloudelliseksi ja luotettavaksi sallittujen lämpenemien ja jännitteenalennemien mukaisesti. Asennuksen tai sen osan suurinta kuormitusta määriteltäessä voidaan ottaa huomioon osakuormitusten eriaikaisuus eli tasaus. /1/

Sähkölittymän mitoitus on teknis-taloudellinen optimointitehtävä. Toisaalta on huomioitava sähkön saannin varmuus, tulevaisuuden sähkötehon tarpeet ja muutostarpeet, mutta toisaalta liittymän tarpeeton ylimitoittaminen ei taloudellisesti ole järkevää. /2/

Liittymän mitoitukseen vaikuttavat rakennuksen käyttötarkoituksen ja käytön lisäksi järjestelmä- ja laitevalinnat. Niillä on suuri merkitys myös elinkaarikustannuksiin ja ympäristövaikutuksiin. /2/

Suomen sähkölaitosyhdistys ry:n (nykyinen Sähköenergialiitto ry Sener) julkaisussa SA 4:92 ”Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen” esitetyt asuinrakennuksen huipputehon laskentamallit perustuvat erilaisten rakennusten sähkönkäytön vuodesta 1983 alkaneiden kuormitusmittausten tuloksiin. Niiden perusteella tehtyjen tilastollisten tarkastelujen avulla on laadittu laskentamallit kerros-, rivi- ja omakotitalojen huipputehon laskemiseksi. Mallit on laadittu siten, että tuloksena saatava huipputeho ylitetään korkeintaan 1 %:ssa tapauksista. /2/

3.1 Asuinhuoneiston huipputehon arviointi

Huipputehoa määritettäessä joudutaan sähkötariffin, sähkölaitteiden varustelutason sekä käyttö- ja ohjaustapojen perusteella päättämään mitoitushetki eli se hetki – vuodenaika, viikonpäivä ja vuorokauden hetki - jolloin maksimikuormitus todennäköisesti tulee tapahtumaan. Mitoitushetkeä varten arvioidaan, kuinka suurel-

la todennäköisyydellä eri sähkölaiteryhmät ovat kytkettynä päälle samanaikaisesti. Samanaikaisuutta arvioitaessa pitää ottaa huomioon mm. sähkölaitteen käyttöaikasuhde eli kuinka suuren suhteellisen ajan vuorokaudesta, viikosta, kuukaudesta tai vuodesta laite on käytössä. Jos laitetta käytetään vähän ja liittymisjohdon lämpenemisen aikavakioon nähden lyhyitä jaksoja, sen merkitys huipputehoon (ts. liittymisjohdon lämpökuormitukseen) on vähäinen. /2/

Asuinhuoneistojen neliötehon määrittely karkeilla tunnusluvuilla pystytään yleensä tekemään varsin luotettavasti, sillä asuinhuoneistojen sähkölaitteet ja niiden aiheuttamat tehontarpeet tiedetään yleensä ennakoltakin varsin tarkkaan. Varustelutaso tosin vaikuttaa jonkin verran toteutuvaan neliötehoon. /2/

Seuraavissa huoneiston huipputehon mitoituskaavoissa on huomioitu asunnon perussähköistys ja erilaisten sähkölämpölaitteiden – sähkölämmitys, auton sähkölämmitys, sähköinen lämminvesivaraaja ja sähkökiuas – aiheuttama tehontarve. Lisäksi kaavoihin on sisällytetty tieto eri kuormitusten vuorottelusta ja muusta samanaikaisuuteen vaikuttavista tekijöistä. /2/

Huoneiston perussähköistys + sähkökiuas

$$P_{\text{hmax}} = P_{\text{val}} \times A_{\text{h}}/1000 + P_{\text{kk}} + P_{\text{kev}} \quad (1)$$

Kojekuorman P_{kk} arvo määritetään seuraavasti:

$$P_{\text{kk}} = 6 \text{ kW, kun } A_{\text{h}} \leq 75 \text{ m}^2$$

$$P_{\text{kk}} = 7,5 \text{ kW, kun } A_{\text{h}} > 75 \text{ m}^2$$

tai vaihtoehtoisesti seuraavalla kaavalla:

$$P_{\text{kk}} = 6 + 20 \times A_{\text{h}}/1000$$

Huoneiston perussähköistys + sähkökiuas + suora sähkölämmitys + LVV

$$P_{\text{hmax}} = P_{\text{hläm}} + P_{\text{aläm}} + P_{\text{LVV}} + P_{\text{kev}} + (P_{\text{kk}} + P_{\text{val}} + xA_{\text{h}}/1000) \quad (2)$$

Huoneiston perussähköistys + sähkökiuas + varaava sähkölämmitys + LVV

$$P_{\text{hmax}} = P_{\text{hläm}} + P_{\text{aläm}} + P_{\text{LVV}} + P_{\text{kev}} + (P_{\text{kk}} + P_{\text{val}} + x A_{\text{h}}/1000) \quad (3)$$

P_{kk} = kojekuormaksi oletetaan 5 kW

P_{val} = valaistuskuormaksi oletetaan 10 W/m²

3.2 Asuinhuoneiston nimellisvirta

Kuormitettavuus laskelmia varten on laskettava huoneiston mitoitusvirta. Kuormitettavuus määritellään asuinhuoneiston ryhmäkeskusta syöttävälle kaapelille.

Mitoitusvirta (I_{max}) lasketaan normaalisti huoneiston huipputehon (P_{max}) ja tehokertoimen avulla. /2/

$$I_{\text{max}} = P_{\text{max}} / (\sqrt{3} \times U_{\text{p}} \times \cos \phi) \quad (4)$$

3.3 Asuinrakennuksen huipputeho

Huipputehon P_{max} arviointitavat eli huipputehon laskentamallit pohjautuvat peruskuormaan ja pinta-alasta riippuvaan kuormitukseen eli pinta-alatehoon sekä sähkölaitteiden samanaikaisen käytön todennäköisyyden arviointiin. Vastaavasti kuin yksittäisten huoneistojen tapauksessa, myös asuinrakennuksen huipputehon mitoituskaavoissa on huomioitu asunnon perussähköistys ja erilaisten sähkölämpölaitteiden – sähkölämmitys, auton sähkölämmitys, sähköinen lämminvesivaraaja ja sähkökiuas - aiheuttama tehontarve. Lisäksi kaavoihin on sisällytetty tieto eri kuormitusten vuorottelusta ja muista samanaikaisuuteen vaikuttavista tekijöistä. /2/

Huipputehon P_{max} arviointi voi perustua siihen, että ensin määritetään yhden huoneiston huipputeho P_{hmax} . Tämän jälkeen saatu huoneiston huipputeho kerrotaan rakennuksen huoneistojen lukumäärällä N_{h} ja suoritetaan lopuksi eriaikaisesta käytöstä johtuva tasauskerroin $C_{(N_{\text{h}})}$ eli kerrotaan arvioidulla samanaikaisuuskerroinella. /2/

Rakennuksen huipputehon laskentamalli:

$$P_{\max} = C_{(N_h)} \times N_h \times P_{h\max} \quad (5)$$

3.4 Tasauserroin

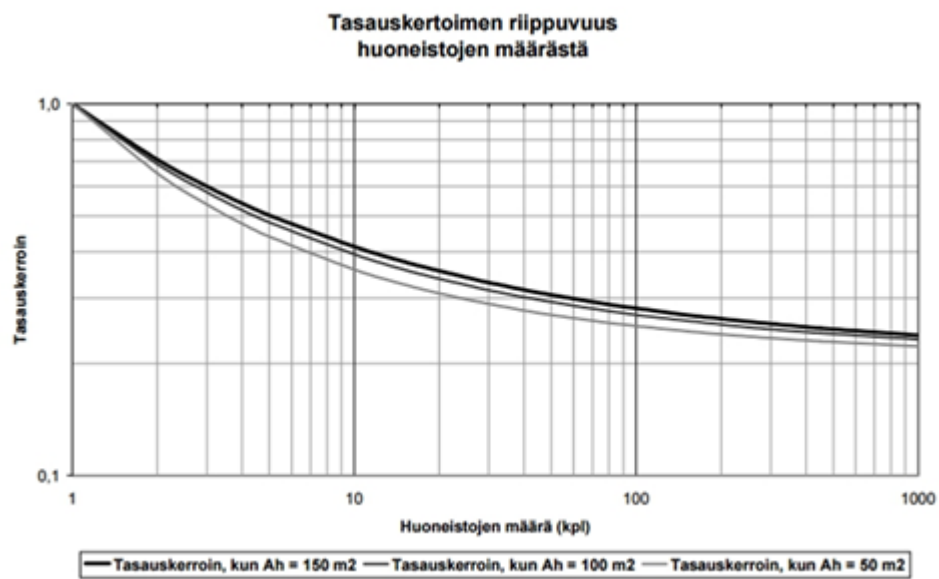
Tasauserroin voidaan arvioida kokemuksen perusteella tai lasketaan seuraavasti:

$$C_{(N_h)} = C_{\min} + (1 - C_{\min}) \times \{1/[1 + \log(N_h) / \log(A_h)]\}^{3,5} \quad (6)$$

Huoneiston pinta-ala voidaan laskea seuraavasti:

$$A_h = A_{krs} / N_h \quad (7)$$

Tasauserroin voidaan myös määrittellä (**Kuva 1.**) mukaisesti huoneistojen määrästä riippuen. /2/



Kuva 1. Tasauserroin /2/

3.5 Liittymän mitoitusvirta

Rakennuksen tai rakennusryhmän liittymisjohdon kuormitus vaihtelee yleensä jatkuvasti, joten johdon lämpötila muuttuu alituisesti. Voimakaapelin lämpötilan muutosnopeutta kuvaava aikavakio on useita kymmeniä minutteja ($\tau_k = 30\text{--}50$ min). Tämä merkitsee sitä, että lyhytaikaiset kuormitushuiput eivät ehdi ylikuumentaa johtoa. /2/

Rakennuksen liittymisjohdon mitoitus-teho (P_{\max}) tarkoittaa yleensä huipputehoa, jonka laskentajakson pituus voi olla 15 min tai 60 min. /2/

Liittymisjohdon mitoitusvirta (I_{\max}) lasketaan normaalisti rakennuksen huipputehon (P_{\max}) ja tehokertoimen avulla: /2/

$$I_{\max} = P_{\max} / (\sqrt{3} \times U_p \times \cos \phi) \quad (8)$$

4 JOHDON SUOJAUS JA MITOITUS

Johdon mitoituksen ja suojauksen suunnittelu on keskeisimpiä sähkösuunnitteluun kuuluvia asioita. Perinteisesti johdon mitoituksella on tarkoitettu lähinnä mitoitus- ja johdon kuormitettavuuden kannalta ja johdon suojauksella suojausta ylivirtojen eli ylikuormituksen ja oikosulkujen vaikutuksilta. Mitoitukseen kuuluu myös joh- timien ja ylivirtasuojien valinta siten, että vikasuojaukseen koskevat vaatimukset to- teutuvat. Mitoituksessa tulee ratkaista seuraavat asiat:

- mitoitusarvot
- ylikuormitussuojien valinta
- johdon poikkipinta
- oikosulkusuojauksen valinta
- syötönautomaattisen poiskytkennän ehdot
- suojalaitteiden selektiivisyys
- jännitteenalenema. /3/

4.1 Ylikuormitus sulakkeilla

Tässä työssä keskitytään johdon suojaukseen sulakkeilla, koska sulakesuojaus on nousu- ja talokaapeleilla selkeästi eniten käytetty suojaustapa.

Sulakkeita on sekä yleiskäyttöön tarkoitettuja, jolloin sulake toimii sekä ylikuor- mitussuojana että oikosulkusuojana tai sitten sulakkeen käyttötarkoitus voi olla pelkästään oikosulkusuojana toimiminen. Yleisimmät sulakerakenteet ovat ns. tulppasulake ja kahvasulake. /3/

Kaapelia ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen ominaisuuksien on täytettävä seuraava ehto: /3/

$$I_B < I_n < I_Z \quad (9)$$

Sulakkeilla ylempi sulamisrajavirta (virta, jolla sulake toimii varmasti yleensä tunnissa) on suurempi kuin 1,45 kertaa sulakkeen nimellisvirta. Tällöin ylikuormi-

tussuojaa ei voi valita suoraan johtimen kuormitettavuuden mukaan, vaan mitoituksessa on käytettävä kaavaa: /3/

$$k \times I_n \leq 1,45 \times I_z \quad (10)$$

Mitoitukseen voidaan myös käyttää valmiiksi laskettuja taulukkoarvoja. Johtojen pienimmät kuormitettavuudet käyttäessä gG-sulaketta ylikuormitussuojana on esitetty taulukossa (**Taulukko 1.**).

Taulukko 1. Johtojen pienimmät kuormitettavuudet käytettäessä gG-sulaketta ylikuormitussuojana. /6/

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

4.2 Johdon kuormitettavuus

Virtapiirin jännitteisten johtimien poikkipinnan suuruuden määrää ensisijaisesti kuormitusvirta ja sen aiheuttama johtimien lämpeneminen.

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

- yllämpötila voi aiheuttaa tulipalon
- yllämpötila lyhentää johdon käyttöikää kiihdyttämällä eristeiden vanhenemista.

Johdon kuormitettavuuteen vaikuttaa johdinmateriaali, eristemateriaali, ympäristön lämpötila, asennustapa sekä muiden virtapiirien läheisyys. Johdon kuormitettavuuden määrää sen kyky luovuttaa virran aiheuttama lämpö ympäristöön. /3/

Suurimmat johtimien eristeaineille sallitut käyttölämpötilojen raja-arvot on esitetty taulukossa (**Taulukko 2.**).

Taulukko 2. Eristeaineiden suurimmat sallitut käyttölämpötilat. /7/

Eristeen laji	Lämpötilan raja-arvo ^a °C
Polyvinyylikloridi (PVC)	70 johtimessa
Silloitettu polyeteeni (PEX) ja eteenipropreenikumi (EPR)	90 johtimessa ^{b, d}
Mineraali (PVC:llä päällystetty tai paljas ja kosketeltavissa)	70 vaipassa
Mineraali (paljas, ei kosketeltavissa eikä kosketuksissa palaviin materiaaleihin)	105 vaipassa ^{b, c}


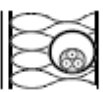



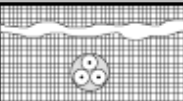


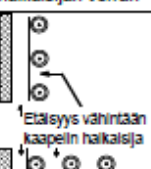
Käytännössä johtimen kuormitettavuutta ei voida määrittää pelkästään niille sallittujen lämpötilojen avulla, vaan tarvitaan tietoa sallituista kuormitusvirroista. Kuormitusvirtoihin vaikuttavat asennustavat on esitetty taulukossa (**Taulukko 3.**)
/3/

Koska tarkka mitoitus ei ole perusteltua useimmissa tapauksissa, selviää useimmista mitoitus tehtävistä käyttämällä esitetyn mukaisia kuormitettavuusarvoja taulukosta (**Taulukko 4.**). Taulukko sisältää arvot uppoasennukselle, pinta-asennukselle, maa-asennukselle ja vapaasti ilmaan tehtävälle asennukselle. Arvot on esitetty PVC-eristeisille kolmivaihepiireille, jolloin niitä voi käyttää myös yksivaihepiireille. PEX-eristeisille kaapeleille on omat kuormitettavuusarvot taulukossa (**Taulukko 5.**)
/3/

Jos tarvitaan tarkempaa mitoitusta eri asennustavoille, on käytettävä kuormitettavuus arvoja PVC-eristeisille kuparijohtimille, kuormitettavuus arvot on esitetty taulukossa (**Taulukko 6.**). PVC-eristeisille alumiinijohtimille kuormitettavuus arvot on esitetty taulukossa (**Taulukko 7.**). PEX tai EPR-eristeisille kuparijohtimille kuormitettavuus arvot on esitetty taulukossa (**Taulukko 8.**). PEX tai EPR-eristeisille alumiinijohtimille on kuormitettavuusarvot esitetty taulukossa (**Taulukko 9.**).

Taulukko 3. Luettelo referenssiasiennustavoista /8/

Taulukko B.52.1 Luettelo referenssiasiennustavoista

Referenssiasiennustapa		Taulukko ja sarake				
		Yksittäisen piirin kuormitettavuus		Lämpötilan korjauskerroin	Ryhmästä johtuva korjauskerroin	
		PVC-eristeinen	PEX/EPR eristeinen			
1	2	3	4	5	6	
 huone	Eristetyt johtimet lämpöeristettyyn seinään upotetussa putkessa	A/ A1	B.52.2 sarake 2/3	B.52.3 sarake 2	B.52.14	B.52.17
 huone	Monijohdinkaapeli lämpöeristettyyn seinään upotetussa putkessa	A/ A2	B.52.2 sarake 2/3	B.52.3 sarake 2	B.52.14	B.52.17
	Eristetyt johtimet pinnalle asennetussa putkessa	B/ B1	B.52.2 sarake 4/5	B.52.3 sarake 3	B.52.14	B.52.17
	Kaapeli pinnalle asennetussa putkessa	B/ B2	B.52.2 sarake 4/5	B.52.3 sarake 3	B.52.14	B.52.17
	Yksi- tai monijohdinkaapelit puuseinällä	C	B.52.2 sarake 6/7	B.52.3 sarake 4	B.52.14	B.52.17
	Monijohdinkaapelit maassa	D	B.52.2 sarake 8	B.52.3 sarake 5	B.52.15	B.52.18 ja B.52.19
 Etäisyys seinään vähintään 0,3 kertaa kaapelin halkaisija	Monijohdinkaapeli vapaasti ilmassa	E	Kupari B.52.4 Alumiini B.52.5	Kupari B.52.6 Alumiini B.52.7	B.52.14	B.52.17
 Etäisyys seinään vähintään yhden kaapelin halkaisijan verran	Yksijohdinkaapelit koskettavat toisiaan vapaasti ilmassa	F	Kupari B.52.4 Alumiini B.52.5	Kupari B.52.6 Alumiini B.52.7	B.52.14	B.52.17
 Etäisyys vähintään kaapelin halkaisija	Yksijohdinkaapelit vapaasti ilmassa erillään toisistaan	G	Kupari B.52.4 Alumiini B.52.5	Kupari B.52.6 Alumiini B.52.7	B.52.14	-






Taulukko 4. Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla A, B, C ja D. PVC-eristeisille kaapeleille /9/

Taulukon B.52.1 mukainen referanssiasennustapa							
Johtimen nimellinen poikkipinta mm ²	A		B		C		D
	Kolme kuormitettua johdinta	Kaksi kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta	Kaksi kuormitettua johdinta	Kolme kuormite ttua johdinta	Kaksi kuormite ttua johdinta	Kolme kuormite ttua johdinta
1	2	3	4	5	6	7	8
Kupari							
1,5	14	15	16	17,5	18,5	20	26
2,5	19	20	21	24	25	29	35
4	24	27	29	32	34	38	46
6	31	34	36	40	43	49	57
10	41	46	49	55	60	67	77
16	55	60	66	73	80	90	100
25	72	79	85	95	102	119	130
35	88	97	105	118	126	146	160
50	105		125		153		190
70	133		158		195		240
95	159		190		236		285
120	182		218		274		325
150	208		-		317		370
185	236		-		361		420
240	278		-		427		480
300	316		-		492		550
Alumiini							
16	43		51		62		78
25	56		66		77		100
35	69		82		95		125
50	83		97		117		150
70	104		123		148		185
95	125		147		180		220
120	143		170		209		255
150	164		-		240		280
185	187		-		274		330
240	219		-		323		375
300	257		-		372		430






Taulukko 5. Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla A, B, C ja D. PEX- tai EPR-eristeisille kaapeleille. /10/

Nimellinen johtimen poikkipinta mm ²	Taulukon B.52.1 mukainen referenssiasennustapa			
	A	B	C	D
1	2	3	4	5
Kupari				
1,5	17	20	23	26
2,5	23	27	31	35
4	31	36	42	46
6	39	45	52	57
10	53	62	71	77
16	70	83	100	100
25	92	109	124	130
35	113	133	153	160
50	135	160	186	190
70	170	202	238	240
95	205	242	289	285
120	236	278	335	325
150	269	-	386	370
185	306	-	441	420
240	360	-	520	480
300	411	-	599	550
Alumiini				
16	57	66	79	79
25	73	87	94	100
35	90	107	116	125
50	108	129	141	150
70	136	162	181	185
95	163	195	219	220
120	187	224	255	255
150	214	-	294	280
185	242	-	336	330
240	283	-	397	375
300	325	-	458	430






Taulukko 6. Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla E, F ja G. PVC-eristeiset kuparijohtimet /11/

Johtimen nimellien poikkipinta mm ²	Taulukon B.52.2 mukainen referenssiasennustapa				
	Monijohdin- kaapeli	Yksijohdinkaapeli			
	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta tasossa		
			Koskettaen	Etäisyydellä	
			Vaakatasossa	Pystytasossa	
					
	E	F	F	G	G
1	2	3	4	5	6
1,5	19	-	-	-	-
2,5	26	-	-	-	-
4	36	-	-	-	-
6	45	-	-	-	-
10	63	-	-	-	-
16	85	-	-	-	-
25	107	117	121	155	138
35	134	145	152	192	172
50	162	177	184	232	209
70	208	229	238	298	269
95	252	280	291	361	330
120	292	326	340	420	384
150	338	377	395	483	444
185	386	434	453	552	509
240	456	514	537	652	603
300	527	595	622	751	698
400	-	695	730	903	843
500	-	794	836	1041	975
630	-	906	959	1206	1134






Taulukko 7. Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla E, F ja G. PVC-eristeiset alumiinijohtimet /12/

Johtimen nimellien poikkipinta mm ²	Taulukon B.52.2 mukainen referenssiasennustapa				
	Monijohdin- kaapeli	Yksijohdinkaapeli			
	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta tasossa		
			Koskettaen	Etäisyydellä	
			Vaakatasossa	Pystytasossa	
					
	E	F	F	G	G
1	2	3	4	5	6
16	65	-	-	-	-
25	83	89	92	119	105
35	102	111	116	147	131
50	124	136	141	179	161
70	159	176	183	230	208
95	194	215	225	281	255
120	225	251	262	326	299
150	260	290	304	377	347
185	297	334	350	431	399
240	350	397	415	511	474
300	404	460	482	590	550
400	-	558	585	711	667
500	-	647	678	821	774
630	-	754	791	954	903

Taulukko 8. Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla E, F ja G. PEX- tai EPR-eristeiset kuparijohtimet /13/

Johtimen nimellien poikkipinta mm ²	Taulukon B.52.1 mukainen referenssiasennustapa				
	Monijohdin- kaapeli	Yksijohdinkaapeli			
	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta tasossa Koskettaen	Etäisyydellä	
				Vaakatasossa	Pystytasossa
					
1	2	3	4	5	6
1,5	24	-	-	-	-
2,5	33	-	-	-	-
4	44	-	-	-	-
6	56	-	-	-	-
10	78	-	-	-	-
16	104	-	-	-	-
25	132	140	147	189	167
35	164	176	183	235	209
50	200	215	225	286	256
70	256	279	290	367	331
95	310	341	356	447	405
120	370	398	416	520	472
150	415	462	483	600	548
185	474	530	554	687	629
240	560	631	659	812	747
300	646	731	765	938	866
400	-	856	902	1128	1048
500	-	984	1038	1303	1216
630	-	1132	1197	1512	1416

Taulukko 9. Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla E, F ja G. PEX- tai EPR-eristeiset alumiinijohtimet /14/

Johtimen nimellien poikkipinta mm ²	Taulukon B.52.1 mukainen referenssiasennustapa				
	Monijohdin- kaapeli	Yksijohdinkaapeli			
	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta tasossa		
			Koskettaen	Etäisyydellä	
			Vaakatasossa	Pystytasossa	
					
	E	F	F	G	G
1	2	3	4	5	6
16	80	-	-	-	-
25	101	107	111	144	127
35	125	134	140	179	159
50	152	165	172	218	195
70	194	214	224	282	254
95	236	263	275	345	312
120	274	308	320	402	365
150	316	357	372	466	424
185	361	411	430	536	489
240	425	490	512	635	583
300	490	569	594	736	678
400	-	689	722	890	824
500	-	800	838	1030	958
630	-	935	980	1200	1120

4.3 Korjauskertoimet

Ilmaan asennettavien kaapelien yhteydessä käytettävät korjauskertoimet on esitetty taulukossa (**Taulukko 10.**). Korjauskertoimet ympäröivän maan lämpötilan mukaan on esitetty taulukossa (**Taulukko 11.**). Maan lämmönjohtavuudella on myös vaikutusta kuormitettavuuteen. Korjauskertoimet maan lämpöresistiivisyyden mukaan on esitetty taulukossa (**Taulukko 12.**). Lisäksi jos kaapelin lähistöllä on muita kaapeleita, jotka heikentävät kuormitettavuutta, tulee nämä asiat ottaa huomioon todellista kuormitettavuutta arvioitaessa. Korjauskertoimet ryhmille, joissa on useita kaapeleita tai virtapiirejä, on esitetty taulukossa (**Taulukko 13.**). Vierekkäisten kaapelien lukumäärän ollessa 2 tai enemmän on korjauskertoimet esitetty taulukossa (**Taulukko 14.**). Kaapelien välinen etäisyys, sekä vierekkäisten kaapelien lukumäärä vaikuttavat, koska vierekkäiset kaapelit lämmittävät toisiaan ja tästä johtuen niiden kuormitettavuus pienenee. Korjauskertoimet usean monijohdin kaapelin ryhmille, jota sovelletaan verrattuna monijohdinkaapelin asennukseen vapaasti ilmassa, korjauskertoimet on esitetty taulukossa (**Taulukko 15.**).

Käyttämällä apuna korjauskertoimia, jotka ottavat huomioon näiden tekijöiden vaikutukset kuormitettavuuteen. Todellinen kuormitettavuus saadaan kertomalla kuormitettavuustaulukosta saatu virta-arvo korjauskertoimella tai korjauskertoimilla. /3/

Taulukko 10. Ilmaan asennettavien kaapelien yhteydessä käytettävät korjauskertoimet /15/

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

Taulukko 11. Korjauskertoimet ympäröivän maan lämpötilan mukaan /16/

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



Taulukko 12. Korjauskertoimet maan lämpöresistiivisyyden mukaan /17/

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

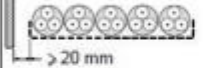
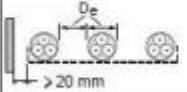
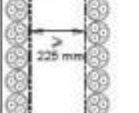



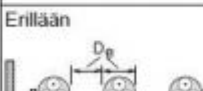
Taulukko 13. Korjauskertoimet ryhmille, joissa on useita kaapeleita tai virtapiirejä /18/

Kohta	Sijoitus (kaapelit koskettavat toisiaan)	Piirien tai monijohdinkaapelien lukumäärä												Käytetään kuormitettavuus taulukon kanssa
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1	Nipussa ilmassa, pinnalla, upotettuna tai kotelon sisällä	1	0,8	0,7	0,65	0,6	0,57	0,54	0,52	0,5	0,45	0,41	0,38	B.52.2...B.52.7 asennustavat A...F
2	Yhdessä kerroksessa seinällä, lattialla tai rei'ittämättömällä kaapelihyllyllä	1	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,7	Ei korjauskertoimia useammalle kuin yhdeksälle piirille tai monijohdinkaapelille.			B.52.2...B.52.3 asennustapa C
3	Yhdessä kerroksessa kiinnitettynä suoraan puiseen alakaton pinnalle	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Yhdessä kerroksessa rei'itettyllä kaapelihyllyllä vaakatai pystysuunnassa	1	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				
5	Yhdessä kerroksessa tikkailla, tuilla tai kiinnikkeillä jne.	1	0,87	0,82	0,8	0,8	0,79	0,79	0,78	0,78				B.52.4...B.52.7 asennustavat E ja F

Taulukko 14. Useamman kuin monijohdinkaapelin korjauskertoimet maahan asennettuna /19/

Kaapelien välinen etäisyys a /mm	Vierekkäisten kolmijohdinkaapelien tai vierekkäisten yksijohdinkaapeliryhmien lukumäärä						
	2	3	4	5	6	8	10
0	0,79	0,69	0,63	0,58	0,55	0,5	0,46
70	0,85	0,75	0,68	0,64	0,6	0,56	0,53
250	0,87	0,79	0,75	0,72	0,69	0,66	0,64
Monijohdinkaapelit 							
Yksijohdinkaapelit 							

Taulukko 15. Korjauskertoimet usean monijohdinkaapelin ryhmille /20/

		Hyllyjen Luku- määrä	Kaapelien lukumäärä					
			1	2	3	4	6	9
Rei'itetyt hyllyt	Koskettavat 	1	1,00	0,88	0,82	0,79	0,76	0,73
		2	1,00	0,87	0,80	0,77	0,73	0,68
		3	1,00	0,86	0,79	0,76	0,71	0,66
	Erillään 	1	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	–
		2	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	–
		3	1,00	0,98	0,95	0,91	0,85	–
Pystysuorat rei'itetyt hyllyt	Koskettavat 	1	1,00	0,88	0,82	0,78	0,73	0,72
		2	1,00	0,88	0,81	0,76	0,71	0,70
	Koskettavat 	1	1,00	0,91	0,89	0,88	0,87	–
		2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	–
	Erillään 	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	–
		2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	–
Tikas, tuet, kiinnikkeet yms.	Koskettavat 	1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
		2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,76	0,73
		3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,73	0,70
	Erillään 	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	–
		2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	–
		3	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	–

4.4 Jännitteenalenema

Standardissa SFS-6000-5-52 LIITE 52G määritellään raja-arvot jännitteen alenemalle, (**Taulukko 14.**) on esitetty kyseiset arvot.

Absoluuttinen jännitteenalenema voidaan laskea matemaattisesti kaavalla:

Yksivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$\Delta U = I \times 2 \times l \times (r \cos \Phi \pm x \sin \Phi) \quad (11)$$

Kolmivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$\Delta U = I \times l \times \sqrt{3} \times (r \cos \Phi \pm x \sin \Phi) \quad (12)$$

Suhteellinen jännitteenalenema saadaan laskettua kaavalla:

$$\Delta u = 100 \times (u / U_n) / 19/ \quad (13)$$

Taulukko 16. Jännitteenaleneman raja-arvot /21/

Asennuksen tyyppi	Valaistus [%]	Muu käyttö [%]
A – Pienjänniteasennus, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta	3	5
B – Pienjänniteasennus, joka on syötetty yksityisestä teholähteestä	6	8

a) Suositellaan, että niin pitkälle kuin mahdollista ryhmäjohtojen jännitteenalenema ei ylitä asennustyyppille A annettuja arvoja. Kun asennuksen pääjohdot ovat pitempiä kuin 100 m, näitä jännitteenalenemia voidaan kasvattaa 0,005 % johdon 100 m ylittävän pituuden metriä kohti. Ilman tätä lisäystä se ei saa olla suurempi kuin 0,5 %.

Jännitteenalenema määritellään sähkölaitteen tehontarpeen mukaan käyttäen soveltuvin osin tasoituskertoimia, tai käyttäen piirien suunniteltuja virtoja.

5 TYÖKALUN KEHITTÄMINEN JA OHJELMOINTI

Nykyisellään mitoitukset on suoritettu käsilaskennalla. Käsilaskennan huono puoli on sen hitaus. Käsilaskennassa on suurempi mahdollisuus virhetuloksiin kuin oikein laaditulla mitoitustyökalulla. Uudella mitoitustyökalulla voidaan helposti säästää aikaa verrattuna käsilaskentaan.

Mitoitustyökalu kehitettiin ensisijaisesti omiin ja yrityksen tarpeisiin. Suunnittelussa päätavoitteeksi asetettiin yksinkertainen ja helppokäyttöinen ohjelma, jotta ohjelmaa pystyisi käyttämään myös sellaiset henkilöt, jotka eivät tunne mitoitukseen liittyvää teoriaa. Mitoitustyökalua voidaan kehittää jatkossakin ja siihen voidaan tuoda uusia elementtejä. Esimerkiksi suojausten toimivuuden tarkastelu on tässä projektissa tarkoituksella jätetty työn ulkopuolelle. Koska tulemme käyttämään mittaustyökalu työpaikallani, tämä toiminto suojausten tarkastelusta tullaan lisäämään ohjelmaan myöhemmässä vaiheessa.

5.1 Mitoitustyökalun suunnittelu

Mitoitustyökalun kehittämisessä lähdettiin etenemään keräämällä tietoa liittymän mitoituksesta ja nousujohtojen valintakriteereistä. Teoria pohjautuu standardeihin ja määräyksiin. Liittymän mitoituksessa ja kaapelin valinnassa on käytetty ohjearkista ST-korttia 13.31. Tarvittavan teorian pohjalta voitiin alkaa toteuttamaan mitoitustyökalua.

Toteutustavaksi valittiin Excel Visual Basic for Applications-ohjelmointikieli. Alun perin tarkoitus oli toteuttaa mitoitustyökalu Excel-taulukkolaskennassa. Mitoitustyökalusta tehtiin Excel Visual Basicilla erillinen käyttöliittymä tietojen syöttöä ja laskentaa varten. Mitoitustyökalua määriteltäessä havaittiin, että syötettäviä tietoja on paljon ja laskentatoimenpiteet haluttiin suorittaa tietynlaisessa järjestyksessä. Lisäksi tällä ohjelmalla voidaan toteuttaa teoriaan pohjautuvat laskentamallit.

Yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on, että tiedot saadaan tulostettua raportiksi, josta ilmenee rakennuskohde, suunnittelija, liittymän koko, mitoitustehot ja nou-

suojaohjelmien tyypit. Raportti on lähetettävissä suoraan sähköverkon haltijalle, raportti sisältää kaikki liittymän tarvittavat tiedot.

5.2 Visual Basic

Visual Basic for Applications (VBA) on Microsoftin kehittämä ohjelmointikieli, joka toimii Office-sovellusten päällä. VBA-ohjelmointikielen avulla voidaan automatisoida, muokata tai laajentaa Microsoft Office-ohjelmien toimintaa. VBA-ohjelmaympäristössä on mahdollista luoda aputoimintoja, makroja, nopeuttamaan, tukemaan ja helpottamaan työskentelyä Office-sovellusohjelmilla. Makro on sovellusta ohjaava ohjelma. Kun kirjoitetaan VBA-kielellä sovellusta Excel-työkirjaan, ollaan luomassa Excelin makrotyökirjaa Excel VBA-ympäristössä. /5/

Mitotustyökalun toteutuksessa Excel toimii niin sanottuna isäntäsovelluksena, jonka päällä VBA-koodi suoritetaan. VBA-koodi tallennetaan aina Office tiedostoon mukaan, esimerkiksi Excel VBA-projekti tallentuu Excel-työkirjaan. Excel-työkirjaa kopioidessa tai siirtäessä sähköpostin liitteenä, koodi kulkee koko ajan mukana ja toimii myös makrotyökirjan siirron jälkeen. /5/

Excel VBA-ympäristö on monipuolinen ja kaikki mitä käyttäjä voi tehdä taulukkosivulla, voi myös kirjoittaa tehtäväksi ohjelmointikielellä. VBA-ohjelmointiympäristö tarjoaa myös sellaisia ominaisuuksia, joihin peruskäyttäjä ei voi vaikuttaa Excelin työkirjapuolella. /5/

Käytännössä ohjelmalla voidaan suorittaa kaikki toiminnot, jotka Excelin käyttäjä voi tehdä itsekin. Ohjelma pystyy kuitenkin suorittamaan toiminnon nopeammin kuin ihminen ja VBA-ohjelma suorittaa työnsä täysin virheettömästi.

6 MITTAUSTYÖKALUN OSIOT

Mittaustyökalun käyttöliittymä koostuu kahdesta pääsivusta. Seuraavissa kappaleissa osioihin perehdytään tarkemmin.

6.1 Esitiedot

Käyttäjän avatessa Excel-tiedoston, aukeaa se taulukko muodossa. Painettaessa mitoituspainiketta mitoitussuus aukeaa käyttäjälle pääikkunaan, pääikkuna on esitetty kuvassa (**Kuva 2.**). Ensimmäiseksi käyttäjän tulee täyttää esitiedot. Esitiedoista ilmenee rakennuskohde ja suunnittelijan tiedot.

Kokonaisteho laskelma

Rakennuskohde

Kohteen nimi

Katuosoite

Postinumero

Postitoimipaikka

Suunnittelija


Suunnittelijan nimi

Yritys

Katuosoite

Postinumero

Postitoimipaikka



Lisää mitoitukseen

Asuinhuoneiston huippukuormitus

Ei sähkölämmitystä | Suora sähkölämmitys | Varaava sähkölämmitys

Huoneiston perussähköistys
+ sähkökiuas
+ varaava sähkölämmitys
(esim. pilp)
+ ...

Mitoitus

Asuinrakennuksen huippukuormitus

Muu asuinrakennuksen sähkö

Paikoitusalue
Muut sähköt, esim. piha-
alueiden / yhteistilojen
valaistus ja lämmitys

Mitoitus

Poista mitoituksesta

Huippukuormitus: kW Virta: A Ryhmäsulake:

Suorita laskenta

Huippukuormitus laskelma | Tasaus | Liittymän huippukuormitus | Kuormitusvirta

Kuormitusvirta: A Liittymän koko:

Loistehon määrä vähäinen

Kuva 2. Mittaustyökalun pääikkuna

6.2 Asuinhuoneiston huippukuormituksen määrittely

Pääikkunassa valitaan asuinhuoneiston huippukuormituksen laskentatapa. Vaihtoehtoina on laskea suoralla sähkölämmityksellä, varaavalla sähkölämmityksellä sekä tavalla, joka ei sisällä sähkölämmitystä.

Jos kohde ei sisällä sähkölämmitystä, voidaan mitoitus suorittaa mitoitustavalla 1a tai vastaavasti mitoitustavalla 1b. Mitoitustavalla 1a laskenta perustuu vakioon kojekuormaan $P_h = P_{kk} + P_{val} + P_{kiuas}$. Kojekuorma määräytyy asuinhuoneiston pinta-alan mukaan. Alle 75 m^2 huoneistoissa kojekuorma on 6 kW ja vastaavasti 75 m^2 tai yli, kojekuorma on 7,5 kW. Määrittäessä huoneiston pinta-alaa, ohjelma tunnistaa pinta-alan mukaan kumpaa kojekuorman arvoa käytetään. Valaistuskormia on tässä mitoitustavassa 10 W/m^2 . Mitoitustavassa 1b lasketaan kojekuorma neliöiden mukaan $P_{koje} = 6 \text{ kW} + 20 \text{ W/m}^2 * A_{huoneisto}$ ja valaistuskormia

on 10 W/m^2 . Mitoitustapaa 1b on hyvä käyttää, kun huoneisto on esimerkiksi 200 m^2 tai enemmän.

Valittaessa edellä mainituista vaihtoehdoista toinen, aukeaa erillinen ikkuna. Ikkunasta aukeaa mitoitus tapa 1a, joka on esitetty kuvassa (**Kuva 3.**). Ikkunassa täytetään kysyttävät tiedot, huoneiston nimi, huoneistoala ja sähkökiukaan teho. Kun tiedot on täytetty, suoritetaan mitoitus, laskentapainiketta painamalla. Ohjelma laskee huippukuormituksen virran ja huoneiston noususulakkeiden koon. Ohjelma kirjoittaa arvot, jonka jälkeen voit hyväksyä ja kerätä tiedot listaan.

Mitoitus 1A

Huoneiston nimi: 2 B 1

Huoneiston ala: 70 m²

Sähkökiukaan ei vuoroteltu osa: 6 kW

Huippukuormitus: 12.7 kW

Virta: 18.35 A

Vaadittava ryhmäsulake: 3 x 25A

Laske

Hyväksy ja vie listaan

Kuva 3. Mitoitustapa 1a

Valittaessa suorasähkölämmitys, suoransähkölämmityksen mitoitus tapa on esitetty kuvassa (**Kuva 4.**). Täytettäviä kohtia ovat huoneiston nimi, huoneistoala, sähkölämmitysteho, autolämmitysteho, lämminvesivaraaja ja kiukaan ei vuoroteltu osa. Huoneiston huipputehoa voidaan laskea laittamalla kiuas risteilemään huoneiston sähkölämmitystehon kanssa. Kiukaan termostaatti ohjaa osan lämmitystehosta pois päältä silloin kun kiukaan vastukset ovat päällä. Jos kiukaan koko on esimerkiksi 6 kW ja se on kytketty risteilemään 4 kW:n sähkölämmitystehon kanssa, täytetään kohtaan, kiukaan ei vuoroteltu osa 2 kW. Jos risteilyä ei ole toteutettu, täytetään kohta kyseisen kohteen kiukaan nimellistehon mukaan. Ohjelma laskee kaavan $P_h = P_{koje} + P_{valaistus} + P_{kev} + P_{h\text{lam}} + P_{alam} + P_{LVV}$ mukaisesti

huoneiston huipputehon. Kaavassa $P_{kk} = 3 \text{ kW}$ ja $P_{val} = 10 \text{ W/m}^2 * A_h$ (valaistuskuorma).

The screenshot shows a software window titled "Mitoitus" with the following fields and values:

Huoneiston nimi	2 A 1		
Huoneiston ala	110	m ²	
Sähkölämmitysteho	6	kW	
Autolämmitysteho	1	kW	
Lämmivesivaraaja	3	kW	
Sähkökuukaan ei vuoroteltu osa	2	kW	Laske
Huippukuormitus	16.1	kW	Vaadittava ryhmäsulake
Virta	23.27	A	3 x 25A

At the bottom of the window is a button labeled "Hyväksy ja vie listaan".

Kuva 4. Suora sähkölämmitys

Valittaessa varaava sähkölämmitys on laskentapa muuten sama kuin suoralla sähkölämmityksellä mutta $P_{kk} = 5 \text{ kW}$.

Pääikkunaan kerätään tiedot listatuista asuinhuoneistoista. Jokaisen mitoitus tavan aukeavassa ikkunassa on painike ” Hyväksy ja vie listaan ”, suoritettaessa tämän listautuvat huoneistot, huoneistojen listaus on esitetty kuvassa (**Kuva 5**). Näitä samoja tietoja käytetään jatkossa, kun mitoitetaan nousujohdon tyyppiä.

The screenshot shows a software interface for managing room load data. It features a list of rooms on the left, with '2 B 4' selected. The main area displays the following data:

Room	Huippukuormitus (kW)	Virta (A)	Ryhmäsulake
2 B 4	17.99	3 x 25A	

Buttons for 'Poista huoneisto' and 'Poista yhteisalueet' are visible. Below the main data, there are input fields for 'Liittymän huippukuormitus', 'Kuormitusvirta', and 'Liittymän koko'.

Kuva 5. Listatut huoneistot

6.3 Asuinrakennuksen huippukuormituksen määrittely

Jos kohde sisältää muitakin sähköä kuluttavia laitteistoja, voidaan ne määrittellä mukaan mitoitukseen pääikkunan kohdasta ”muu asuinrakennuksen sähkö”. Kohdasta aukeaa uusi ikkuna, muu asuinrakennuksen mitoitus on esitetty kuvassa (**Kuva 6.**). Tässä ikkunassa voidaan määrittellä autolämmitystehon ja yhteisalueiden tehon kulutus. Haluttaessa tietää autolämmitysteho, syötetään tiedot siitä, kuinka monta autolämmityspaikkaa kohteessa on. Yhteistiloihin syötetään arvioitu valaistusteho, joka sisältää esimerkiksi ulkoalueen valaistuksen ja teknisentilan valaistuksen. Tässä voidaan myös lisätä esimerkiksi teknisentilaan tulevan sähkölämmityspatterin tehon määrä.

Mitoitus ✕

Autolämmityspaikat

Autolämmityspaikat **kpl**

Huippukuormitus **kW** Vaadittava ryhmäsulake

Virta **A**

Yhteistilat

Valaistus **kW**

Lämmitys **kW**

Huippukuormitus **kW**

Virta **A**

Kuva 6. Muu asuinrakennuksen sähkö

6.4 Tehon huippukuormitus ja kuormitusvirta

Ohjelma suorittaa annettujen huoneistojen ja asuinrakennusten tehojen mukaisesti huippukuormituksen. Pääikkunan ”Suorita laskenta”-välilehdeltä käynnistetään laskenta, laskenta on esitetty kuvassa (**Kuva 7.**). Tässä kohtaa ilmoitetaan myös huoneistojen määrä, pinta-alojen yhteismäärä ja huoneistojen huipputeho kilowatteina.

Suorita laskenta

Huippukuormitus laskelma | Tasaus | Liittymän huippukuormitus | Kuormitusvirta

Suorita laskelma

Huoneistojen lukumäärä: 6 kpl

Huoneistojen pinta-ala yhteensä: 475 m²

Huoneistojen huipputeho yhteensä: 85,25 kW

Kuva 7. Huoneistojen huipputeho

Jotta eriaikainen käyttö tulisi huomioitua, on ”Suorita laskelma”-otsikon alla tasausvälilehti. Välilehdessä voidaan määrittää tasauserroin ja tasattu teho, huoneistojen tasatun tehon laskenta on esitetty kuvassa (**Kuva 8.**). Tasauserroin määräytyy huoneistojen lukumäärällä. Samalla aukeaa ikkuna, josta voi tarkistaa onko kyseinen tasauserroin sama kuin aiempaan kokemukseen perustuva kuten kuvassa (**Kuva 1.**).

Suorita laskenta

Huippukuormitus laskelma | Tasaus | Liittymän huippukuormitus | Kuormitusvirta

Tasauserroin: 0.44

Tasattu teho: 37.51 kW

Huoneistot: 6 kpl

Pinta-ala keskiarvo: 79.1666 m²

Kuva 8. Huoneistojen tasattu teho

Todellinen liittymän huippukuormitus lasketaan ”Liittymän huippukuormitus”-välilehdessä, välilehti on esitetty kuvassa (**Kuva 9.**). Tässä otetaan huomioon huoneistojen eriaikainen käyttö ja muut sähköä kuluttavat laitteet, kuten autolämmitys. Tämä todellinen liittymän huippukuormitus tulostuu sähköverkon haltijalle tarkoitetulle tulosteelle raporttina.

Suorita laskenta

Huippukuormitus laskelma | Tasaus | Liittymän huippukuormitus | Kuormitusvirta

Liittymän todellinen huippukuormitus.
Huoneistojen tasattu teho ja muu asuinrakennuksen sähkö

Liittymä huippukuormitus 53.01 kW

Kuva 9. Liittymän huippukuormitus

Kuormitusvirta ja liittymän koko saadaan, kun on määritelty huippukuormitus. Toiminto suoritetaan ”Kuormitusvirta”-välilehdessä, välilehti on esitetty kuvassa (**Kuva 10.**). Kuormitusvirta ja liittymän koko tulostuvat erilliselle tulosteelle joka voidaan lähettää sähköverkonhaltijalle.

Suorita laskenta

Huippukuormitus laskelma | Tasaus | Liittymän huippukuormitus | Kuormitusvirta

Kuormitusvirta 84 A

Liittymän koko 3 x 100A

Loistehon määrä vähäinen

Kuva 10. Kuormitusvirta ja liittymän koko

6.5 Nousujohtojen määrittely

Kun on saatu selville huoneistojen kuormitusvirrat, siirrytään pääikkunasta johdon mitoituspainikkeen kautta erilliseen ikkunaan, johdon kuormituksen ikkuna on esitetty kuvassa (**Kuva 11.**). Ikkunassa määritellään nousujohtojen tyypit korjauskertoimien avulla. Ikkunaan on listattu jokaisen huoneiston oma lähtö ja sitä vastaava minimi kuormitettavuus. Käyttäjä valitsee vallitsevien olosuhteiden mukaisesti korjauskertoimet. Ohjelma laskee uuden kuormitettavuusarvon heikoimman kuormitettavuuden omaavan kohdan mukaan. Asennustavan valinnan jälkeen ohjelma ilmoittaa kaapelin neliökoon, asennustapa ja neliökoko on esitetty kuvassa (**Kuva 12.**) Tämän jälkeen suoritetaan vielä jännitteen aleneman tarkastelu, jännitteenaleneman tarkastelu on esitetty kuvassa (**Kuva 13.**).

Johdon vaadittu vähimmäiskuormitettavuus

Liittymän koko: gG-sulakkeen nimellisivirta: Johdon vähimmäiskuormitettavuus: Kuormitettavuus korjauskertoimella:

Korjauskerroin

Ympäristön lämpötila ilmaan

Lämpötila: Korjauskerroin johtimen eristeen mukaan: PVC PEX ja EPR

Maalaji maahan

Kuiva hiekka (kosteus 0%)
 Kuiva sora tai savi
 Puolikuiva sora, suomuta ja hiekka (kosteus 10%)
 Puolikuiva savi ja kostea sora
 Kostea savi ja hiekka (kosteus 25%)

Ympäristön lämpötila maahan

Lämpötila: Korjauskerroin johtimen eristeen mukaan: PVC PEX ja EPR

Useita kaapeleita asennuksessa (kaapelit koskettavat toisiaan)

Johtojen lukumäärä: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 12 16 20

Nipussa ilmassa, upotettuina tai kotolon sisällä	1.00	0.80	0.70	0.65	0.60	0.57	0.54	0.52	0.50	0.45	0.41	0.38
Yhdessä kerroksessa seinällä tai reiättämättömällä kaapelihyllyllä	1.00	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70			
Yhdessä kerroksessa kiinnitettynä suoraan puukaton alapuolelle	0.95	0.81	0.72	0.68	0.66	0.64	0.63	0.62	0.61			
Yhdessä kerroksessa reiitetyllä hyllyllä vaaka- tai pystysuunnassa	1.00	0.88	0.82	0.77	0.75	0.73	0.73	0.72	0.72			
Yhdessä kerroksessa tikkailla, tulla tai kiinnikkeillä	1.00	0.87	0.82	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78			

Laskelmassa käytetyt kertoimet

Ilman lämpötila: Maa lämpötila: Maalaji: Kaapelimäärä: Korjauskertoimen tulo:

Johtimen vaadittu nimellispoikkipinta-ala

Johtojen kuormitettavuudet eri asennustavoilla SFS6000 mukaiset asennustavat

Valitse asennustapa kuparille:

Valitse asennustapa alumiinille:

Valitse kaapeli: Pituus: Km
Resistanssi: Reaktanssi: Kuormitusvirta: v
 %

Kuva 11. Johdon kuormituksenikkuna

Johtimen vaadittu nimellispoikkipinta-ala

Johtojen kuormitettavuudet eri asennustavoilla SFS6000 mukaiset asennustavat

Valitse asennustapa kuparille:

Valitse asennustapa alumiinille:

Kuva 12. Johdon asennustapa ja poikkipinta

Jännitteen alenema

Valitse kaapeli ▼

Pituus **Km**

Resistanssi Reaktanssi Kuormitusvirta

v

%

Kuva 13. Jännitteenalenema

6.6 Tulosten käsittely

Määritellyistä mittaustuloksista tulostetaan sähköverkon haltijalle liittymän teho, kuormitusvirta ja pääsulakkeen koko. Tulosteesta ilmenevät myös esitiedoissa täytetyt kohdat: rakennuskohde ja suunnittelija. Tuloste on esitetty kuvassa (**Kuva 14.**).

Liittymän mitoitus

Rakennuskohde	Suunnittelija
Kohteen nimi: As Oy Testitie Katuosoite: Testitie 1 Postinumero: 01010 Postitoimipaikka: Testilä	Suunnittelija nimi: Teppo Testaaja Yritys: TT Sähkö Katuosoite: Sähkötie 1 Postinumero: 07070 Postitoimipaikka: Sähkölä
<hr/>	
Liittymä	
Liittymän koko: 3 x 80A	Mitoitusteho: 51,94 Kuormavirta: 78
<hr/>	
Kaapeli	
Tyyppi: Pituus:	
<hr/>	
<hr/>	
Suunnittelijan allekirjoitus	
<hr/>	
Paikka ja päivämäärä	

Kuva 14. Tuloste

Urakoitsijan tulosteeseen tulee lisäksi huoneistojen nousujohdot, huoneistotehot, kuormitusvirrat ja huoneistojen pääsulakekoko. Näitä tietoja hyödynnetään, kun suoritetaan vielä suojauksen toimivuuslaskelmat.

Ohjelmaa on tarkoitus myös laajentaa, jolloin voidaan myös tuloksia hyödyntää määrälaskentaan. Esimerkiksi kaapelien metrimäärät ja sulaketarvikkeet voidaan suoraan tulostaa erilliselle tulosteelle.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa Valosel Oy:lle Excel-pohjainen mitoitustyökalu, joka helpottaa suunniteltavien kohteiden mitoitusta. Mitoitustyökalulla voidaan laskea tarvittavan liittymän ja nousujohtojen koko.

Mitoitustyökalu toteutettiin Microsoft Excel -ohjelman ja Visual Basic Applications-ohjelmointikielen avulla. Mitoitustyökalu pyrittiin pitämään mahdollisimman selkeänä ja yksinkertaisena käyttöominaisuuksiltaan, jotta ohjelmaa pystyisi käyttämään myös sellaiset henkilöt, jotka eivät tunne mitoitukseen liittyvää teoriaa. Mitoitustyökalun avulla mitoittaminen on nopeampaa verrattuna käsin laskentaan ja työkalun avulla virheiden mahdollisuus pienenee.

Mitoitustyökalulla saatuja tuloksia verrattiin käsin laskettuihin mittaustuloksiin ja saadut tulokset olivat yhtenäiset. Näin ollen mitoitustyökalulla laskettuja tuloksia voidaan pitää luotettavina ja paikkansapitävinä. Mitoitustyökalu täytti työkalulle asetetut vaatimukset ja se on päivittäisessä käytössä Valosel Oy:llä. Mitoitustyökalu on helposti muutettavissa, ja opinnäytetyön aiemmassa vaiheessa mainitsemani suojauksen toimivuuden tarkastelutoiminto, on tarkoitus lisätä työkaluun myöhemmin.

Suurimmat haasteet opinnäytetyössä oli mitoitustyökalun ohjelmoiminen ja työkalu saattaminen siihen kuntoon, että ohjelma toimii tavoitteiden mukaisesti. Excel Visual Basic Applications-ohjelmointikielen opettelu ei ollut itsessään haastavaa. Sen sijaan haastavaa oli keksiä ratkaisu, miten ohjelma ratkaisee ongelman tai suorittaa tehtävän. Mitoitustyökalun ohjelmointiin kului ehdottomasti eniten aikaa ja se lisäsi työn kuormittavuutta. Työkalua testattiin lukemattomia kertoja ennen lopullista versiota ja muutoksia tehtiin sen mukaisesti. Lopputulos on varsin onnistunut ja opinnäytetyönä toteutetusta mitoitustyökalusta tuli toimiva työkalu.

LÄHTEET

- /1/ SFS-Käsikirja 600-1, 2012-09. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 pienjännitesähköasennukset.
1.painos 2012-09. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS Ry
- /2/ ST kortisto 13.31 2012 Rakennuksen sähkö- verkon ja liittymän mitoittaminen. Sähköinfo Oy
- /3/ Tiainen E. 2010. Sähköasennukset. 2. painos Espoo. Sähköinfo Oy
- /4/ SFS 600-1
- /5/ Merensalmi, J. Excel VBA yrityskäytössä 1. painos Jyväskylä
- /6/ SFS 600-1 Taulukko C.52.1 / 258
- /7/ SFS 600-1 Taulukko 52.1 / 220
- /8/ SFS 600-1 Taulukko B.52.1 / 244
- /9/ SFS 600-1 Taulukko B52.2 / 245
- /10/ SFS 600-1 Taulukko B52.3 / 246
- /11/ SFS 600-1 Taulukko B52.4 / 247
- /12/ SFS 600-1 Taulukko B52.5 / 248
- /13/ SFS 600-1 Taulukko B52.6 / 249
- /14/ SFS 600-1 Taulukko B52.7 / 250
- /15/ SFS 600-1 Taulukko B52.14 / 252
- /16/ SFS 600-1 Taulukko B52.15 / 252
- /17/ SFS 600-1 Taulukko B52.16 / 252
- /18/ SFS 600-1 Taulukko B52.17 / 253
- /19/ SFS 600-1 Taulukko B52.18 / 254
- /20/ SFS 600-1 Taulukko B52.20 / 255
- /21/ SFS-6000-5-52 LIITE 52G
- /20/ <https://moodle.amk.fi/mod/book/tool/print/index.php?id=1796>

DIGMA-oppimisympäristö, Kurssi: Johdon mitoitus

/22/ Paloniemi, A. 2017. Toimitusjohtaja. Valosel Oy. Haastattelu 10.1.2017