

JOHDON MITOITUS JA SUOJAUS

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikka
Mekatroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Niko Hietala

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Hietala, Niko:

Johdon mitoitus ja suojaus

Mekatroniikan opinnäytetyö, 44 sivua, 17 liitesivua

Kevät 2015

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa toimeksiantajan käyttöön laskentaohjelma helpottamaan ja nopeuttamaan johdon mitoitusta ja suojalaitteiden määrittämistä. Usein mitoitukset ovat samankaltaisia ja toistuvia, joten laskennan automatisointi on perusteltua ajansäästön kannalta.

Työn teoriaosuudessa käydään läpi johdon mitoituksen ja suojauksen kannalta keskeisimmät laskut ja eri asennustapojen vaikutukset johdon kuormitettavuuteen. Lisäksi esitellään suojauksen kannalta keskeisimmät komponentit ja yleisimmät johtotiejärjestelmät.

Käytännön osuuden seurannassa käydään läpi ohjelman etenemistä suunnittelupöydältä valmiiksi ohjelmaksi. Lisäksi esitellään ohjelman käytettävyyden ja ohjelmakoodin määrän vähentämisen kannalta tärkeimmät oivallukset.

Työn tuloksena saatiin aikaiseksi ohjelma, joka vähentää johdon mitoituksen ja suojauksen määrittelyyn käytettyä aikaa murto-osaan verrattuna käsin tehtäviin laskelmiin täten pienentäen suunnittelukustannuksia.

Asiasanat: johdon mitoitus, suojaus, suunnittelu, laskentaohjelma

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

Hietala, Niko: Sizing and protection of cable

Bachelor's Thesis in Mechatronics, 44 pages, 17 pages of appendices

Spring 2015

ABSTRACT

The objective of this thesis was to design and develop a computer software for the commissioner's use to ease and speed up the sizing of cable and defining protective devices. Often sizing is similar and repetitive, so automatisation of computation is justified in terms of saving time.

The theoretical part of the study consists of the most crucial arithmetical operations of cable sizing and protection and of the effects of different installations to the loading capacity of the cable. In addition the most relevant protective devices and the most commonly used cable support solutions are introduced.

The practical part studies the progress of the software from the design table to a complete software. Also the most important insights for the usability of the software and reducing the amount of code are introduced.

As a result of this thesis, software was achieved, which reduces time spent to sizing the cable considerably and to defining protective devices compared to handmade calculations. Thus, design expenses are also reduced.

Key words: cable sizing, cable protection, planning, computing software

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	SÄHKÖDYNAMIIKKA	2
2.1	Sähködynamiikan pohjustusta	2
2.2	Sulakekoon määrittäminen	4
2.3	Kaapelin kuormitettavuus	4
2.4	Erilaiset asennustavat	6
2.4.1	Uppoasennus	7
2.4.2	Pinta-asennus	7
2.4.3	Maa-asennus	7
2.4.4	Ilma-asennus	8
2.5	Jännitteenalenema	8
2.6	Keskuksen näennäistehon laskeminen	9
2.7	Selektiivisyys	10
2.8	Syötön nopean poiskytkennän ehtojen toteutuminen	11
2.8.1	Syöttävän verkon impedanssi	12
2.8.2	Pääjohdot	13
2.8.3	Ryhmäjohdot	14
3	YLIVIRTASUOJAUS JA SEN TOTEUTUS	15
3.1	Ylikuormitussuojaus ja sen mahdollinen poisjättäminen	15
3.2	Oikosulkusuojaus	16
3.3	Ylivirtasuojauksessa käytetyt komponentit	16
3.3.1	Tulppasulake	18
3.3.2	Kahvasulake	18
3.3.3	Johdonsuojakatkaisija	19
3.3.4	Moottorinsuojakytin	21
4	KAAPELIT JA ASENNUSREITIT	23
4.1	Kaapelihyllyt ja -tikkaat	23
4.2	Johtokanavat	24
4.3	Asennusputket	24
4.4	Kaapelit	25
4.4.1	Kupari- ja alumiinivoimakaapelit	26
5	OHJELMISTOTUOTANTO	28

5.1	Määrittely	28
5.2	Suunnittelu	28
5.3	Ohjelmointi ja testaus	29
5.4	Ylläpito	29
6	CASE: JOHDON MITOITUS JA SUOJAUS -OHJELMA	30
6.1	Tavoitteet	30
6.2	Ohjelman rajaus	30
6.3	Käytettävä ohjelmointityökalu	31
6.4	Alkutilanne ja ohjelmarakenteen hahmottelu	31
6.5	Ohjelmointia	33
6.5.1	Aliohjelman ja muuttujien nimeäminen	33
6.5.2	Vertailu ehtorakenteella	34
6.5.3	Painonapit	35
6.5.4	Valintanapit	35
6.5.5	Kopiointi toiselta välilehdeltä	36
6.5.6	Tulostus	37
6.5.7	Ohjelmoinnissa ilmenneitä ongelmia	38
6.6	Käyttöohje	39
7	YHTEENVETO	40
	LÄHTEET	41
	LIITTEET	45

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää toimeksiantajan käyttöön helppokäyttöinen ja yksinkertainen apuohjelma johdon mitoitukseen ja suojauksen määrittämiseksi. Johdon ja suojauksen mitoitus on sähkösuunnittelun kannalta yksi tärkeimmistä osa-alueista. Huonosti tehty mitoitus voi pahimmillaan johtaa tulipaloihin ja ihmishenkien menetykseen.

Suomessa on markkinoilla muutamia erilaisia mitoitusohjelmia, joiden markkinoijina toimii pieniä sähköinsinööritoimistoja tai isoja monikansallisia yrityksiä. Näihin ohjelmiin yhden käyttäjälisenssin hinta vaihtelee yleensä noin tuhannen euron molemmin puolin ja päivitys- ja ylläpitomaksut ovat satoja euroja vuodessa. Pienelle suunnittelutoimistolle tämä on kohtuuttoman suuri kuluerä.

Ohjelma ja opinnäytetyön teoriaosuus on rajattu käsittämään kolmivaiheiset 400 V:n asennukset. Ohjelma soveltuu parhaiten symmetristen kuormien laskentaan eli pääasiassa erilaisille moottorilähdöille, mutta sitä voidaan varauksin soveltaa myös epäsymmetriselle kuormalle. Kaapelitiedot on rajattu PVC-eristettyihin kolmi- tai nelijohtimisiin kupari- ja alumiinivoi-makaapeleihin. Ilman ja johtimen lämpötilojen osalta oletetaan normaaleja asennusolosuhteita. Teoriaosuudessa käsitellään myös johtotiejärjestelmiä ja ylivirtasuojauksia teoriassa sekä sen kannalta oleellisimpia komponentteja ja niiden toimintaa yleisesti.

Ohjelma kirjoitettiin syksyn 2014 aikana erilaisista oppikirjoista löytyvien taulukoiden ja tietojen avulla, minkä jälkeen se julkaistiin beeta-versiona koekäyttöön. Koekäytössä ilmenneitä virheitä ja puutteita korjattiin niiden ilmetessä. Myöhemmin keväällä 2015 testausvaiheen jälkeen ohjelman käyttämät korjauskertoimet ja muut mitoituksen kannalta oleelliset arvot päivitettiin uusimpien standardien mukaisiin arvoihin.

2 SÄHKÖDYNAMIIKKA

Sähköasennusten suunnittelussa johdon mitoitus on lopputuloksen turvallisuuden kannalta yksi keskeisimmistä tehtävistä. Mitoitukseen vaikuttaa vaadittavan tehonsiirtokyvyn lisäksi suojausta koskevat vaatimukset ja ympäristön olosuhteet. Suojauksessa tärkeimpiä asioita ovat ylikuormitus ja oikosulkusuojaus. (Tiainen 2010, 3.) Liitteessä 2 on esimerkkinä laskettu yksinkertainen mitoitusarjoitus, jossa on käytetty tässä osiossa esiintyviä kaavoja ja taulukoita.

2.1 Sähködynamiikan pohjustusta

Yksi sähködynamiikan peruslaeista on Ohmin laki. Sen kehitti saksalainen Georg Simon Ohm 1820-luvulla tutkiessaan, miten virtapiiriä voidaan käsitellä matemaattisesti. Ohmin laki kirjoitetaan kaavan 1 muotoon. (Ahoranta 2002, 46.)

$$U = I * R \quad \text{KAAVA 1.}$$

jossa

$$U = \text{Jännite (V)}$$

$$I = \text{Virta (A)}$$

$$R = \text{Resistanssi } (\Omega)$$

Jännite tarkoittaa, että kahdessa virtapiirin pisteessä on eri määrä elektroneja, eli pisteiden välillä on potentiaaliero. Jännite saa aikaan virtapiirin sähkövirran. (Ahoranta 2002, 24.) Virta on elektronien liikkumista atomilta toiselle, yhden ampeerin virta vastaa tilannetta, jossa $6,25 \cdot 10^{18}$ elektronia kulkee poikkipinnan läpi yhdessä sekunnissa (Ahoranta 2002, 16–17). Resistanssi tarkoittaa ominaisuutta, jolla aine vastustaa sähkövirran kulkua. Resistanssi on yksi ohmi, jos laitteen tai johtimen läpi kulkee yhden voltin jännitteellä yhden ampeerin virta. (Ahoranta 2002, 35.)

Johtimen resistanssiin vaikuttavat johdinmateriaalin resistiivisyys, johtimen pituus ja poikkipinta-ala. Johtimen resistanssi voidaan laskea kaavalla 2.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad \text{KAAVA 2.}$$

jossa

$$\rho = \text{Johdinmateriaalin resistiivisyys } (\mu\Omega\text{m})$$

$$l = \text{Johtimen pituus } (m)$$

$$A = \text{Johtimen poikkipinta – ala } (mm^2)$$

+20 °C:n lämpötilassa kuparin resistiivisyys on 0,0175 $\mu\Omega\text{m}$ ja alumiinin 0,028 $\mu\Omega\text{m}$ (Ahoranta 2002, 38).

Sovellettaessa Ohmin lakia vaihtosähköön tulee resistanssin tilalla käyttää impedanssia. Impedanssin suuruuteen vaikuttavat resistanssi ja reaktanssi. Yleensä alle 70 mm^2 :n poikkipintaisilla johtimilla reaktanssi on hyvin pieni, tällöin resistanssia voidaan käyttää impedanssin arvon sijasta (Tiainen 2010, 89).

Ohmin laki vaikuttaa johdon mitoituksessa etenkin jännitteenalenemaan ja oikosulkuvirtoihin. Kun tarkastellaan jännitteenaleneman laskemisessa käytettävää kaavaa 7 ja sovelletaan siihen Ohmin lakia, huomataan, että virran suureneminen kasvattaa jännitteenalenemaa, vastaavasti virran pienentyessä myös jännitteenalenema pienenee. Resistanssin kaavaa lähemmin tarkasteltaessa voidaan todeta, että johtimen poikkipinnan kasvaessa resistanssi pienenee ja siten myös jännitteenalenema pienenee. Johdon piteneminen taas kasvattaa jännitteenalenemaa sekä resistanssin että jännitteenaleneman kaavassa.

Tarkasteltaessa oikosulkuvirran laskemisessa käytettävää kaavaa 12 huomataan, että resistanssin ja siten impedanssin kasvaminen pienentää oikosulkuvirtaa. Jos oikosulkuvirta on liian pieni verrattuna johdon suoja-laitteen toimintavirtaan, ei suojalaitte toimi riittävän nopeasti.

2.2 Sulakekoon määrittäminen

Sulakekoon määrittämiseksi tulee selvittää laitteen nimellisvirta. Nimellisvirta saadaan laskettua kaavalla 3.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U_p * \cos\varphi} \quad \text{KAAVA 3.}$$

jossa

$P =$ Laitteen teho (W)

$U_p =$ Pääjännite (V)

$I =$ Nimellisvirta (A)

$\cos\varphi =$ Jännitteen ja virran välisen vaihekulman cosini

Laitteen nimellisvirran perusteella valitaan laitteelle sopiva suojalaite, joka on nimellisvirta-arvoltaan suurempi tai yhtä suuri kuin laitteen nimellisvirta. Kahvasulakkeita on saatavissa fyysisestä koosta riippuen 2... 1600 A:n nimellisvirroilla. Johdonsuojakatkaisijoita on saatavissa 0,5... 125 A:n nimellisvirroilla.

2.3 Kaapelin kuormitettavuus

Johtimien poikkipinnan suuruuteen vaikuttaa ensisijaisesti kuormitusvirta ja sen aiheuttama lämpeneminen. Johtimien kuormitettavuuteen vaikuttavat johdinmateriaali, eristemateriaali, ympäristön lämpötila, asennustapa sekä muiden virtapiirien läheisyys. (Tiainen 2010, 43.)

Suojalaitteen ja johdinten on täytettävä kaavojen 4 ja 5 mukaiset epäyhtälöt. Jos suojalaitteeksi on valittu johdonsuojakatkaisija, voidaan taulukosta 1 valita suoraan asennustapaa vastaavasta sarakkeesta lähin vähintään yhtä suuri kuormitusvirta, sillä johdonsuojakatkaisijoiden termisen laukaisalueen rajavirta on 1,45 kertaa sen nimellisvirta.

Jos taas suojalaitteeksi valitaan tulppa- tai kahvasulake, on sen ylempi toimintarajavirta suurempi kuin 1,45 kertaa nimellisvirta. Tällöin käytetään kaavan 6 mukaista epäyhtälöä. Liitteen 1 taulukkoon 1 on kirjattu yleisimpien gG-tyyppisten sulakkeiden kaavan 6 mukaisesti korjatut arvot.

Koska tarkkaa mitoitusta ei useimmissa tapauksissa tarvita, voidaan joko sulakkeen nimellisvirran perusteella liitteen 1 taulukosta 1 saatua johtimen kuormitusvirran vähimmäisarvoa tai johdonsuojakatkaisijan nimellisvirtaa verrata suoraan taulukon 1 arvoihin, taulukosta valitaan asennustapaa vastaavasta sarakkeesta lähin vähintään yhtä suuri kuormitusvirta ja sen perusteella johtimen poikkipinta-ala. Se sisältää jatkuvan kuormitusvirran arvot uppoasennuksille (asennustapa A), pinta-asennuksille (asennustapa C), maa-asennuksille (asennustapa D) ja ilma-asennuksille (asennustapa E), jotka kaapelin on kestävä normaaleissa asennusolosuhteissa. Ilma-asennus tarkoittaa käytännössä asentamista kaapelitikkaille, jossa kaapeli voi vapaasti jäähtyä kaikkiin suuntiin. (Tiainen 2010, 44.)

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad \text{KAAVA 4.}$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_Z \quad \text{KAAVA 5.}$$

$$k * I_N \leq 1,45 * I_Z \quad \text{KAAVA 6.}$$

jossa

$$I_B = \text{Virtapiirin mitoitusvirta (A)}$$

$$I_N = \text{Suojalaitteen nimellisvirta (A)}$$

$$I_Z = \text{Johdon kuormitettavuus (A)}$$

$$I_2 = \text{Virta, jolla suojalaite toimii tehokkaasti (A)}$$

$$k = \text{sulakkeen ylempään sulamisrajavirran ja nimellisvirran suhde}$$

I_2 virta määritellään suojalaitteiden standardeissa, sulakkeilla se on ylempi toimintarajavirta.

TAULUKKO 1. Johtimien suurin sallittu jatkuva kuormitusvirta (A) eri asennustavoilla (Tiainen 2010, 45)

Johtimen poikkipinta mm ²	Kaapelien suurin sallittu jatkuva kuormitusvirta (A)			
	Asennustapa			
	A	C	D	E
Kupari				
1,5	14	18,5	26	19
2,5	19	25	35	26
6	31	43	57	45
10	41	60	77	63
16	55	80	100	85
25	72	102	130	107
35	88	126	160	134
50	105	153	190	162
70	133	195	240	208
95	159	236	285	252
120	182	274	325	292
150	208	317	370	338
185	236	361	420	386
240	278	427	480	456
Alumiini				
16	43	62	78	65
25	56	77	100	83
35	69	95	125	102
50	83	117	150	124
70	104	148	185	159
95	125	180	220	194
120	143	209	255	225
150	164	240	280	260
185	187	274	330	297
240	219	323	375	350
300	257	372	430	404

2.4 Erilaiset asennustavat

Jos tarkempi mitoitus on tarpeellista, seuraavassa on käsitelty eri asennustapoja ja niihin liittyviä korjauskertoimia. Tarvittavat korjauskertoimet kerrotaan keskenään ja niiden tulolla jaetaan suojalaitteen nimellisvirta tai liitteen 1 taulukosta 1 saatu johtimen kuormitusvirran vähimmäisarvo. Osamäärää verrataan jälleen taulukon 1 arvoihin.

2.4.1 Uppoasennus

Uppoasennus eli asennustapa A käsittää asennukset, joissa kaapeli on asennettu lämpöeristettyyn seinään upotettuun putkeen, joka voi olla metallia tai muovia. Seinä käsittää säänkestävän ulkopinnan, lämpöeristyksen ja sisäpinnan. Sisäpinta voi olla puuta tai muuta vastaavaa materiaalia, putki on asennettu mahdollisimman lähelle sitä. (Tiainen 2010, 45.) Kaapelin jäähtyvyyden kannalta tämä asennustapa on huonoin vaihtoehto (Halme 2013). Yleensä putkeen asennetaan vain yksi kaapeli, mutta liitteen 1 taulukosta 2 selviää korjauskertoimet, jos putkessa on useampia kaapeleita. Asennustavan A arvoja voidaan soveltaa myös asennustapaan B, joka käsittää kaapelin asentamisen johtokanavaan tai muuhun vastaavaan umpinaiseen tilaan (Tiainen 2010, 50).

2.4.2 Pinta-asennus

Pinta-asennus eli asennustapa C käsittää asennukset, joissa kaapeli on asennettu puuseinälle siten, että kaapelin ja pinnan väli on pienempi kuin 0,3 kertaa kaapelin halkaisija. Samat korjauskertoimien arvot toteutuvat myös, kun kaapeli on kiinnitetty kivirakenteiselle seinälle tai asennettu sen sisään. Kivirakenne tarkoittaa betonia, kipsiä, tiiltä ja vastaavia eli muita kuin eristäviä materiaaleja. (Tiainen 2010, 46.) Asennettaessa kivirakenteen sisään tulee huomioida kaapelin riittävä suojaus ja kiinnitys. Liitteen 1 taulukossa 3 on esitetty korjauskertoimet pinta-asennuksen eri vaihtoehtoihin.

2.4.3 Maa-asennus

Maa-asennus eli asennustapa D käsittää asennukset, joissa kaapeli on asennettu suoraan maahan tai keraamiseen, metalliseen tai muoviseen putkeen, joka on suoraan yhteydessä maahan (Tiainen 2010, 46).

Suomessa oletuksena käytetään maan lämpötilalle arvoa + 15 °C ja lämpöresistiivisyydelle 1,0 K*m/W asennussyvyyden ollessa 0,7 m (Tiainen

2010, 44). Korjauskertoimet poikkeaville arvoille on esitetty liitteen 1 taulukoissa 4 ja 5.

2.4.4 Ilma-asennus

Ilma-asennus eli asennustapa E käsittää asennukset, joissa kaapeli on asennettu vapaasti ilmaan, jolloin kaapeli voi jäähtyä kaikkiin suuntiin. Käytännössä ”vapaasti ilmaan” tarkoittaa asentamista kaapelitikkaille tai niin, että kaapelin ja minkä tahansa lähellä olevan tason etäisyys on vähintään 0,3 kertaa kaapelin halkaisija. (Tiainen 2010, 46.) Liitteen 1 taulukossa 6 on otettu myös huomioon asennukset reiitetyille kaapelihyllyille, reiittämättömillä kaapelihyllyillä voidaan soveltaa pinta-asennuksen arvoja.

2.5 Jännitteenalenema

Jännitteenalenema kertoo jännitetason tippumisen koko kaapelin matkalla ja on suhteellinen arvo (Halme 2013). Standardissa SFS 6000 suositellaan, ettei jännitteenalenema saisi olla suurempi kuin 4 % nimellisjännitteestä sähkölaitteiston liittymiskohdan ja sähkölaitteen välillä (Tiainen 2010, 111). Jännitteenalenema voi muodostua ongelmaksi erityisesti pitkillä kaapelivedoilla, alenemaa voidaan kompensoida kasvattamalla kaapelin johtimien poikkipinta-alaa (Halme 2013).

Jännitteenalenema voltteina voidaan laskea kaavalla 7.

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (r * \cos\varphi + x * \sin\varphi) \quad \text{KAAVA 7.}$$

Suhteellinen jännitteenalenema voidaan laskea kaavalla 8.

$$\Delta u[\%] = \frac{\Delta U}{U_N} * 100\% \quad \text{KAAVA 8.}$$

jossa

$$\Delta U = \text{Jännitteenalenema volteissa (V)}$$

$$I = \text{Kuormistusvirta (A)}$$

$$l = \text{Syöttökaapelin pituus (km)}$$

$$r = \text{Syöttökaapelin ominaisresistanssi (\Omega/km)}$$

$$x = \text{Syöttökaapelin ominaisreaktanssi (\Omega/km)}$$

$$\varphi = \text{Jännitteen ja virran välinen vaihekulma}$$

$$U_N = \text{Nimellisjännite (V)}$$

$$\Delta u = \text{Suhteellinen jännitteenalenema}$$

Jännitteenaleneman laskeminen edellyttää tietoja johtimien ominaisresistansseista ja -reaktansseista. Tarkat laskut edellyttäisivät kaapelin valmistajalta tietojen hankkimista, mutta usein likimääräiset arvot ovat riittävän tarkkoja. Liitteen 1 taulukossa 7 on esitelty johtimien ominaisresistanssit ja -reaktanssit 20 °C:n lämpötilassa. (Tiainen 2010, 112.)

2.6 Keskuksen näennäistehon laskeminen

Keskuksesta lähtevien syötettävien laitteiden arvot tulee tietää, jotta voidaan laskea keskuksen soveltuvan kiskoston ja sitä suojaavan sulakkeen koon ja myöhemmin selektiivisyysarvojen täyttymisen.

Yhden laitteen näennäisteho lasketaan kaavalla 9.

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} \quad \text{KAAVA 9.}$$

jossa

$$\cos\varphi = \text{Jännitteen ja virran välisen vaihekulman kosini}$$

$$P = \text{Laitteen teho (W)}$$

$$S = \text{Näennäisteho (VA)}$$

Hyviin suunnittelutapoihin kuuluu keskukseen jättää tyhjää tilaa mahdollisia tulevia laajennuksia tai uusia ryhmiä varten. Asuinrakennusten keskuksissa varaa tulisi olla noin 10 % ja muiden rakennustyyppien keskuksissa noin 30 %. (Harsia 2008c.) Vara lisätään keskuksen kaikkien laitteiden yhteenlasketun näennäistehon päälle.

Kun keskuksen koko näennäisteho on laskettuna, voidaan siitä laskea nimellisvirta kaavalla 10, jonka perusteella valitaan keskusta suojaavan sulakkeen koko.

$$I_N = \frac{S_{kaikki}}{\sqrt{3} * U_P} \quad \text{KAAVA 10.}$$

jossa

$$S_{kaikki} = \text{Koko näennäisteho (VA)}$$

$$U_P = \text{Pääjännite (V)}$$

$$I_N = \text{Nimellisvirta (A)}$$

2.7 Selektiivisyys

Selektiivisyydellä pyritään rajaamaan vikatilanteessa sähköverkolle aiheutuvat häiriöt mahdollisimman pienelle alueelle, toisin sanoen pyritään irrottamaan vain vikaantunut osa verkosta (Harsia 2008d).

Suojalaitteiden selektiivisyyttä voidaan tarkastella toiminta-aikakäyrien ja valmiiden taulukoiden avulla. Virtaselektiivisyys voi olla myös osittaista. Tällöin pienillä ylivirroilla kuorman puoleinen suojalaite toimii selektiivisyysehtojen mukaisesti, mutta ylivirran suurentuessa saattaa syötön puoleinen suojalaite toimia ensin. Tämä on ongelmana etenkin kun tarkastellaan kahden peräkkäisen johdonsuojakatkaisijan selektiivisyyttä. (Harsia

2008d.) Ominaiskäyriä vertailtaessa tulee kuorman puoleisesta suojalaitteesta käyttää ylempää ja syötön puoleisesta suojalaitteesta alemmaa toimintakäyrää (Tiainen 2010, 103).

Aikaselektiivisyydessä suojalaitteiden toiminta-aikakäyrät eivät leikkaa toisiaan, jolloin kuorman puoleinen suojalaite toimii kaikilla ylivirroilla nopeammin kuin syötön puoleinen suojalaite (Harsia 2008d). Aikaselektiivisyys saavutetaan valitsemalla peräkkäisten suojalaitteiden mitoitusvirrat kaavalla 11.

$$x_1 \geq 1,6 * x_2 \quad \text{KAAVA 11.}$$

jossa

$$x_1 = \text{Syötön puoleinen suojalaite}$$

$$x_2 = \text{Kuorman puoleinen suojalaite}$$

2.8 Syötön nopean poiskytkennän ehtojen toteutuminen

Suojauksen on toimittava niin, että suojalaitteet katkaisevat ylivirran ennen kuin se aiheuttaa lämpenemisestä tai mekaanisista vaikutuksista aiheutuva vaaraa tai vahinkoa. Suojauksen toiminta tarkistetaan laskelmin suunnitteluvaiheessa, lisäksi suojauksen toiminta mitataan käyttöönottotarkastuksessa. (Ensto Building Technology 2008.)

Suojauksen toimivuuden selvittäminen edellyttää pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran määrittämistä. Oikosulkuvirtaa laskettaessa voidaan tehdä joitain yksinkertaistuksia. Tärkein yksinkertaistus on se, että osaimpedanssit lasketaan aritmeettisesti yhteen. Tällöin virhemarginaali voi olla korkeintaan 10 %, mutta se on turvallisempaan suuntaan, sillä todellinen impedanssi on aina laskettua arvoa pienempi ja vikavirta siten suurempi. (Tiainen 2010, 89.)

Laskennassa määritetään oikosulkuvirta vaihe- ja suojajohtimen välisessä oikosulussa kaavalla 12.

$$I_k = \frac{c * U}{\sqrt{3} * Z} \quad \text{KAAVA 12.}$$

jossa

$Z =$ Piirin kokonaisimpedanssi (Ω)

$I_k =$ Oikosulkuvirta kojeella (A)

$U =$ Pääjännite (U)

$c =$ kerroin, joka ottaa huomioon jännitteenaleneman (0,95)

Jännitteenaleneman huomioon ottava kerroin c on määritelty standardissa IEC 60909-0. 230 V:n ja 400 V:n nimellisjännitteillä pienintä oikosulkuvirtaa laskettaessa kerroin on 0,95. (IEC 60909-0 2001, 41.)

Oikosulkusuojan pienimmän toimintavirran eli arvon, jolla toiminta-aika on alle 0,4 s, tulee olla pienempi kuin kojeella olevan oikosulkuvirran arvon. Pienimmän toimintavirran arvo riippuu sulaketyypistä. Liitteen 1 taulukoissa 8 ja 9 on listattuna gG-tyyppisten tulppa- ja kahvasulakkeiden sekä B- ja C-tyyppisten johdonsuojakatkaisijoiden toiminta-ajat.

2.8.1 Syöttävän verkon impedanssi

Selvitettäessä syötön nopean poiskytkennän ehtojen toteutumista, tulee ensiksi määrittää syöttävän verkon oikosulkuvirtaa rajoittava impedanssi, joka saadaan laskettua sähköverkkoyhtiöltä saadun yksivaiheisen oikosulkuvirran avulla kaavalla 13. Mikäli oikosulkuvirtaa ei ole saatavilla, voidaan kiinteistön pääsulakkeiden mukaan arvioida liittymän oikosulkuvirta. Liittymän oikosulkuvirran tulee olla niin suuri, että pääsulakkeet toimivat alle 5 s:ssä, mikäli yksivaiheinen oikosulku tapahtuu heti niiden jälkeen. (Harsia 2008a.)

$$Z_{kv} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * I_{kv}} \quad \text{KAAVA 13.}$$

jossa

$$Z_{kv} = \text{Liittymää edeltävä impedanssi}$$

$$I_{kv} = \text{Liittymän oikosulkuvirta}$$

2.8.2 Pääjohdot

Syöttävän verkon impedanssin laskemisen jälkeen lasketaan ohjauskeskuksen oikosulkuvirta ja tarkistetaan, toimivatko pääjohtoja suojaavat suojalaitteet riittävän nopeasti. Pääkeskuksella olevaan impedanssiin lisätään pääjohdon vaihe- ja suojajohtimien impedanssi kaavan 14 mukaisesti. Kaapelin impedanssi lasketaan kaavalla 15. Johdon impedanssiarvona käytetään +80 °C:n arvoja, jotka saadaan liitteen 1 taulukosta 10, koska vikatilanteessa johtojen lämpötila nousee. (Harsia 2008a.)

$$Z_{vOK} = Z_{kv} + Z_k \quad \text{KAAVA 14.}$$

jossa

$$Z_{vOK} = \text{Ohjauskeskuksen impedanssi } (\Omega)$$

$$Z_k = l * (Z_L + Z_{PE}) \quad \text{KAAVA 15.}$$

jossa

$$Z_k = \text{Kaapelin kokonaisimpedanssi } (\Omega)$$

$$l = \text{Kaapelin pituus (km)}$$

$$Z_L = \text{Vaihejohtimen impedanssi/pituus } (\Omega/\text{km})$$

$$Z_{PE} = \text{PE – johtimen impedanssi/pituus } (\Omega/\text{km})$$

Ohjauskeskuksen oikosulkuvirta lasketaan kaavalla 16 ja saatua arvoa verrataan taulukoiden arvoihin, sen tulee olla suurempi kuin käytetyn sulakkeen arvo.

$$I_{kOK} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * Z_{vOK}}$$

KAAVA 16.

jossa

$$I_{kOK} = \text{Ohjauskeskuksen impedanssi } (\Omega)$$

2.8.3 Ryhmäjohdot

Ohjauskeskuksen impedanssiin lisätään ryhmäjohdon impedanssi, kuten pääkeskuksen impedanssiin lisättiin pääjohdon impedanssi kaavalla 14. Ryhmäjohdon impedanssi saadaan laskettua kaavalla 15. Nyt tiedetään koko piirin impedanssi pääkeskukselta kojeelle, ja sillä lasketaan piirin pienin oikosulkuvirta, mitä verrataan valitun suojalaitteen pienimpään toimintavirtaan liitteen 1 taulukoissa 8 ja 9.

3 YLIVIRTASUOJAUS JA SEN TOTEUTUS

Ylivirta tarkoittaa mitä tahansa mitoitusvirtaa suurempaa virtaa. SFS 6000 -standardin mukaan johdot tulee varustaa normaalitapauksessa ylivirtasuojilla, jotka estävät johtojen liiallisen lämpenemisen. Ylivirtasuojauksen voi jättää pois vain, jos virran katkaisu aiheuttaa enemmän vaaraa kuin johtimen liiallinen lämpeneminen, kuten suojajohtimissa. (Ruppa 2004.)

Ylivirtasuojaus jakaantuu ylikuormitus- ja oikosulkusuojiin. Yhteisenä ylivirtasuojana voi toimia yksi suojalaite, kuten johdonsuojakatkaisija tai sulake. Ylikuormitus- ja oikosulkusuojat voivat olla myös erilliset suojalaitteet. Esimerkiksi moottoriasennuksissa on erikseen oikosulkusuoja, kuten sulake sekä ylikuormitussuoja, kuten moottorinsuojakytkin. (Harsia 2009d.) Yleensä sama laite ei ole hyvä ylikuormasuojana ja oikosulkusuojana (Ruppa 2004).

3.1 Ylikuormitussuojaus ja sen mahdollinen poisjättäminen

Ylikuormitusvirta on suurempi kuin mitoitusvirta, ja se tarkoittaa muulloin kuin vian aikana esiintyvää virtaa. Kaikki virtapiirit on varustettava ylikuormitussuojalla siten, että ylikuormitusvirta katkaistaan ennen kuin lämpötila nousee niin paljon, että liitokset, johtimien ympäristö ja eristykset voivat vahingoittua. Ylikuormitussuojien ja johtimien kuormitettavuuden tulee täyttää kaavojen 4, 5 ja 6 mukaiset epäyhtälöt. (Tiainen 2010, 27.)

Pääsääntöisesti ylikuormitussuoja sijoitetaan kohtaan, jossa johdotuksen kuormitettavuus pienenee. Muutoskohdassa voi muuttua johdinpoikkipinta, johtolaji, asennustapa tai -olosuhteet. (Harsia 2009c.)

Ylikuormitussuoja voi toimia myös oikosulkusuojana, jolloin sen tulee olla johdon alkupäässä. Jos kuitenkin käytetään erillistä oikosulkusuojausta, voidaan ylikuormitussuoja sijoittaa mihin tahansa kohtaan johtoa; tällöin ei kuitenkaan saa haaroittaa johtoa, eikä siinä saa olla pistorasioita ennen suojaa. Yleensä kuitenkin ylikuormitussuojat sijoitetaan keskuksiin, joissa

keskusta syöttävän suuremman kaapelin suoja ei enää riitä suojaamaan sitä pienempiä ryhmäjohtoja. (Harsia 2009c.)

Ylikuormitussuojaus suositellaan jätettäväksi pois virtapiireistä, joissa virtapiiriin odottamaton avautuminen voi aiheuttaa vaaraa, kuten virtamuuntajien toisiopiirit, nostomagneetit ja palosammutuslaitteistot. Tämä ei kuitenkaan vapauta oikosulkusuojauksesta, ylikuormitussuojauksen sijaan voidaan käyttää ylivirtahälytystä. (Harsia 2009c; Halme 2013.)

Myöskään jakeluverkoissa ja isoissa teollisuusverkoissa palonkestävissä asennuksissa (maassa tai ilmajohto) johtoja ei tarvitse suojata ylikuormitussuojalla (Harsia 2009c). Myös keskusten ja sähkölaitteiden sisäisissä johdotuksissa ei tarvita ylikuormitussuojaa, jos johdinpoikkipinta ei muutu, ja tilanteissa, joissa edeltävän johto-osuuden suojaus suojaa myös kyseistä johtoa (Halme 2013). Lisäksi ylikuormitussuojausvaatimus ei koske televiestintään, ohjaukseen tai merkinantoon liittyviä asennuksia (Harsia 2009c).

3.2 Oikosulkusuojaus

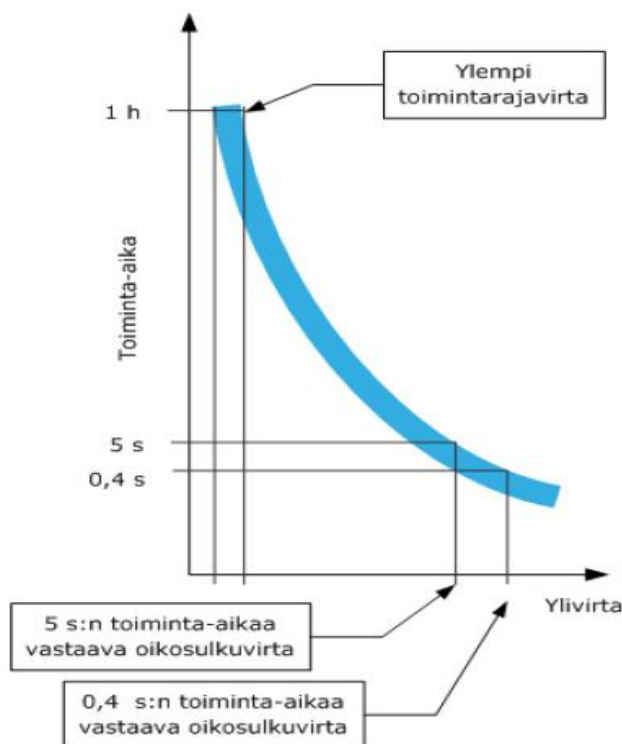
Oikosulkusuoja on tarkoitettu johdon normaalia kuormitusvirtaa monta kertaa suurempien oikosulkuvirtojen katkaisuun. Koska jo lyhytaikainenkin oikosulku saa vahinkoja aikaan, tulee oikosulkuvirta katkaista mahdollisimman nopeasti. Nopeuden lisäksi oikosulkusuojalla tulee olla riittävän suuri oikosulkuvirran katkaisukyky, katkaisukyvyyn tulee olla suurempi kuin asennuspaikalla esiintyvä suurin oikosulkuvirta. Oikosulkusuojan on ehdottomasti katettava kaikkien virtapiirien kaikki vaihejohtimet ja se tulee sijoittaa johto-osuuden alkupäähän. (Tiainen 2010, 65.)

3.3 Ylivirtasuojauksessa käytetyt komponentit

Yleisimmin käytetty ylivirtasuojauksen komponentti on sulake. Tässä käsitellään tarkemmin kahva- ja tulppasulake sekä johdonsuojakatkaisija, jotka

eroavat toisistaan etenkin virran katkaisukyvyyn ja mitoitusvirta-alueen sekä toimintakäyrien osalta.

Sulake takaa luotettavan erotuskohdan erilaisten huolto- ja korjaustöiden ajaksi. Sulakkeet ovat edullisia, eikä niillä ole muuta huoltotarvetta kuin vaihto mahdollisen toiminnan jälkeen. Sulakkeen toiminta perustuu sen sisällä olevaan metallilankaan. Lanka sulaa ja aiheuttaa virtapiiriin katkeamisen virran lämmittäessä sitä liikaa. Sulakkeen toimintaan vaikuttavat ylivirran suuruus sekä virran kestoaika. (Harsia 2009a.) Kuviossa 1 nähtävä ylempi toimintarajavirta kertoo arvon, jolla johdon ylikuormitustilanteessa sulake katkaisee virran alle tunnissa, näin estäen johdon liiallisen lämpenemisen. Sulaketyypistä riippuen arvo on 1,45 - 2,1 kertaa sulakkeen mitoitusvirta. Oikosulkutilanteessa 0,4 s:n toiminta-aikaa vastaava oikosulkuvirta kertoo arvon, jolla sulake varmasti katkaisee virran alle 0,4 sekunnissa.



KUVIO 1. Sulakkeen toimintarajat (Harsia 2009a)

Tulppa- ja kahvasulakkeiden toimintaa kuvataan kaksiosaisella kirjaintunnuksella. Ensimmäinen kirjain on joko g (koko alueen kattava katkaisuky-

ky, soveltuu sekä oikosulku- että ylikuormitussuojaksi) tai a (osa-alueen kattava katkaisukyky, soveltuu vain oikosulkusuojaksi). Toinen kirjain on joko G (johdon suojaukseen tarkoitettu sulake) tai M (moottorin suojaukseen tarkoitettu sulake). (Harsia 2009a.)

3.3.1 Tulppasulake

Tulppasulakkeita on käytetty aiemmin varsin yleisesti etenkin asuinkiinteistöjen ylivirtasuojina. Tulppasulakkeiden katkaisukyky on yleensä 20 kA vaihtosähköllä (Tiainen 2010, 70). Tulppasulakkeet asennetaan varokepesiin, ja sulaketta suojaa kosketukselta posliinikansi. Sulakkeen pohjakosketin rajoittaa suurinta sallittua sulakekokoa estäen liian suuren sulakkeen asentamista varokepesään. Sulakkeen pohjassa on numeroin ilmoitettu sen koko ja sen voi tunnistaa myös sen päässä olevasta värillisestä merkinnästä, myös varokepesän pohjakoskettimessa on sama tunnusväri. (Sähköturvallisuuden edistämiskeskus 2015.) Pohjakosketinta ei saa vaihtaa suurempaan ilman, että tarkastetaan johdotuksen kuormitettavuus (Harsia 2009a).

Tavallisimmin varokekansissa on käytössä kahta eri kokoa. Enintään 25 A:n sulakkeissa käytetään DII-varokekantta ja yli 25 A:n sulakkeissa on käytössä DIII-varokekansi. (Harsia 2009a.)

3.3.2 Kahvasulake

Kahvasulakkeiden katkaisuominaisuudet ja oikosulkuvirran rajoituskyky ovat erittäin hyvät. Kahvasulakkeita käytetään etenkin silloin, kun kuormitusvirrat tai oikosulkuvirrat asennuspaikalla ovat suuria. Kahvasulakkeista on saatavissa useita eri kokoja varokealustojen nimellisvirtojen mukaan. (Harsia 2009a.) Kahvasulakkeita on saatavissa kokoluokissa 000... 5, yleisimmin käytössä on kokoluokat 0... 4. Kokoluokan 5 kahvasulakkeet on tarkoitettu pääkytkinkäyttöön ja suuriin moottorilähtöihin aina 1600 A:iin asti. (ABB Oy 2011).

Kahvasulakkeet on suunniteltu reagoimaan lämpötilan nousuun. Ne sisältävät kvartsikiteitä, jotka oikosulun aikana sitovat valokaaren lämpötilaa; tällöin paine kahvasulakkeen sisällä nousee ja sulakeosa repeää. (ABB Oy 2015.)

Kahvasulaketta ei saa vaihtaa muulla kuin siihen tarkoitettulla eristeisellä vaihtokahvalla, sillä sen tartuntapisteet saattavat olla jännitteiset.

3.3.3 Johdonsuojakatkaisija

Johdonsuojakatkaisijoita eli automaattisulakkeita käytetään erityisesti asuinrakennuksissa ryhmäjohtojen suojaamiseen, mutta myös teollisuudessa niiden käyttö on yleistynyt. Johdonsuojakatkaisija toimii ylikuormitussuojana termisellä laukaisualueella ja oikosulkusuojana magneettisen laukaisun alueella. Näitä toimintarajavirtoja on esitelty taulukossa 2 sekä kuviossa 2. Niiden mitoitusvirta on 2 ... 125 A:n välillä ja katkaisukyky on yleensä 6 tai 10 kA. (Harsia 2008b.) Jos oikosulkuvirta ylittää johdonsuojakatkaisijan katkaisukyvyn, on sen edessä käytettävä lisäsuojana erillistä sulaketta (Tiainen 2010, 74).

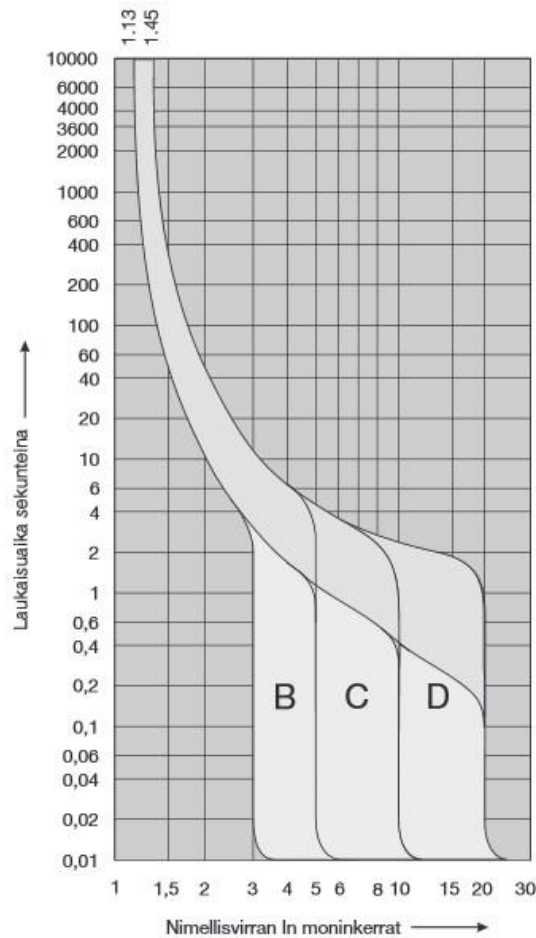
Johdonsuojakatkaisijassa on bimetallireleellä varustettu ylikuormituslaukaisin ja oikosulkusuojaukseen lyöntiankkurilla varustettu pikalaukaisin. Johdonsuojakatkaisijat ovat rakenteeltaan kompakteja ja mahtuvat pienempään tilaan kuin tulppa- tai kahvasulakkeet. Niiden tehohäviöt ovat kuitenkin suuremmat, minkä takia keskuksen lämpötila voi olla huomattavasti suurempi kuin vastaavan sulakekeskuksen varsinkin silloin, kun keskuksen kuuluu monia suuresti kuormitettuja ryhmiä. Tämä vaikuttaa johdonsuojakatkaisijoiden toiminta-arvoihin ja johtojen kuormitettavuuteen. (Tiainen 2010, 30–31.)

TAULUKKO 2. Johdonsuojakatkaisijan toimintarajavirrat (Ensto Building Technology 2012)

Johdonsuojakatkaisijan toimintarajavirrat							
Tyyppi	Mitoitusvirta I_N	Terminen laukaisu		Aika	Magneettilaukaisu		Aika
		Pitovirta	I_2		Pitovirta	Toimintavirta	
B	≤ 63 A	$1,13 I_N$		>1 h	$3 I_N$		$>0,1$ s
			$1,45 I_N$	< 1 h		$5 I_N$	$<0,1$ s
C	≤ 63 A	$1,13 I_N$		>1 h	$5 I_N$		$>0,1$ s
			$1,45 I_N$	< 1 h		$10 I_N$	$<0,1$ s
D	≤ 63 A	$1,13 I_N$		>1 h	$10 I_N$		$>0,1$ s
			$1,45 I_N$	< 1 h		$20 I_N$	$<0,1$ s

Johdonsuojakatkaisijat voidaan luokitella niiden laukaisukäyrien mukaan. Katkaisija tulee valita ryhmän kuormituksen perusteella.

- B-käyrä on tarkoitettu resistiiville kuormille, kuten liesi, lämmitys ja lämminvesivaraaja
- C-käyrä on tarkoitettu resistiivisille sekä lievästi induktiivisille ja kapasitiivisille kuormille, kuten valaistus, pistorasiat ja pienet moottorit
- D-käyrä on tarkoitettu voimakkaasti induktiivisille ja kapasitiivisille kuormille, kuten suurille moottoreille, joilla on suuri käynnistysvirtapiikki.
- K-käyrä on kuten D-tyyppi, se on tarkoitettu suurille moottoreille ja muuntajille, mutta käyrät ovat valmistajakohtaisia.
- A- ja Z-käyrät on tarkoitettu puolijohteille, ohjausvirtapiireille sekä jännite- ja mittamuuntajien suojaukseen. Laukaisukäyrät ovat valmistajakohtaisia. (Harsia 2008b; Tiainen 2010, 32.)



KUVIO 2. Johdonsuojakatkaisijoiden laukaisukäyriä (UTU Oy 2015)

3.3.4 Moottorinsuojakytkin

Moottorinsuojakytkin on suojalaite, joka on kolminapainen ja on varustettu termomagneettisella releellä. Moottorinsuojakytkimien ylikuormitussuoja on säädettävä, ylikuormitusalue ylettyy suurimmillaan 100 A:iin asti, ja magneettinen pikalaukaisu on kiinteä. Lisäksi niissä on lämpötilakompensointi ja vaihevahti. Vaihevahti havaitsee, jos yhdessä tai useammassa vaiheessa jännite on huomattavasti vähentynyt tai kokonaan katkennut. Tällöin se katkaisee virtapiirin ja lähettää apukoskettimensa kautta ilmoituksen. Moottorinsuojakytkin on katkaisuo ominaisuuksiltaan oikosulkuvirtaa rajoittava ja sen katkaisukyky on mallista riippuen yleensä 50 kA. (Tiainen 2010, 36.) Moottorinsuojakytkin suojaa moottoria ja johdotuksia oikosulku- ja ylikuormitustilanteissa sekä vaihekatkoksissa. Oikosulkutilanteessa

moottorinsuojakytkin reagoi nopeasti, jopa muutamassa millisekunnissa.
Vikatilanteessa moottorinsuojakytkin katkaisee kaikki vaiheet. (ABB 2013.)

4 KAAPELIT JA ASENNUSREITIT

4.1 Kaapelihyllyt ja -tikkaat

Levyhyllyjä käytetään yleisimmin toimisto- ja liikerakennuksissa, sillä yleensä ne kattavat vain rasitusluokat C1 ja C2. Kaapelihyllyjä on saatavissa sekä rei'ittämättöminä että rei'itettyinä. Rei'itys parantaa kaapelin jäähtyvyyttä ja siten sen kuormitettavuutta. Kaapelihyllyt ovat yleensä kuumasinkittyä ohutlevyä ja niitä on saatavissa myös maalattuina. (Meka Pro Oy 2015a.)

Kaapelitikkaita käytetään yleisesti teollisuusrakennuksissa, ja ne takaavat kaapeleille hyvän jäähtyvyyden. Kaapelitikkaiden materiaalina käytetään yleensä kuumasinkittyä, alumiinisinkittyä tai valmistuksen jälkeen kastosinkittyä teräsohutlevyä. (Meka Pro Oy 2015b.) Materiaalista riippuen kaapelitikasta on saatavissa rasitusluokkaan C5-M asti. Taulukossa 3 on esitelty hyllyjen ja tikkaiden rasitusluokituksiin liittyviä korroosionopeuksia ja esimerkkejä tyypillisistä asennusympäristöistä.

TAULUKKO 3. Hyllyjen rasitusluokkien kuvaus (ST-kortti 51.13.)

Rasitusluokka	Korroosionopeus				Esimerkkejä tyypillisistä ympäristöistä lauhkeassa ilmastossa	
	Hiiliteräs		Sinkki		Ulkona	Sisällä
	g/m ²	µm	g/m ²	µm		
C1 hyvin lievä	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1		Lämmin ja puhdas tila, esim. toimistot, kaupat, koulut
C2 lievä	10–200	1,3–25	0,7–5	0,1–0,7	Ilmasto kuiva ja vähän epäpuhtauksia, esim. maaseutu	Lämmittämättömät tilat, esim. varastot, urheiluhallit
C3 kohtalainen	200–400	25–50	5–15	0,7–2,1	Kaupunki- ja teollisuusilmastot, kohtalainen SO ₂ -kuormitus, rannikkoalueet	Vähäisen epäpuhtauden kosteat tilat, esim. elintarviketehtaat, pesulat, panimot
C4 ankara	400–650	50–80	15–30	2,1–4,2	Teollisuusalueet ja kohtalaisen suolainen rannikko	Kemian teollisuus, uimalat, rannikolla sijaitsevat telakat
C5-I hyvin ankara	650–1500	80–200	30–60	4,2–8,4	Teollisuusalueet, joissa on syövyttävä ilmasto ja suolainen rannikko	
C5-M hyvin ankara	650–1500	80–200	30–60	4,2–8,4	Rannikkoalueet ja muut alueet, joilla suolapitoisuus on korkea	

4.2 Johtokanavat

Johtokanavajärjestelmä määritellään siten, että se on koteloitu järjestelmä, joka ympäröi eristettyjä johtimia ja kaapeleita ja johon voidaan sijoittaa myös muita sähkötarvikkeita. Johtokanava voi olla joko umpinainen tai siinä voi olla irrotettava kansi. Johtokanavat on yleensä tarkoitettu asennettaviksi kuiviin tiloihin, mutta niitä voidaan asentaa myös kosteisiin ja märkiin tiloihin, jos sen koteloitiluokka on tilaan riittävä. (Tiainen 2013, 207.)

Johtokanavien materiaaleina käytetään joko pursotettua alumiinia tai ruis-kupuristettua muovia, jatkokappaleet ovat kuumasinkittyä teräsohutlevyä. Johtokanavat kiinnitetään joko suoraan seinäpintaan ruuveilla tai erillisillä seinäkiinnikkeillä. (Meka Pro Oy 2013.)

Johtokanavajärjestelmien tulee olla mekaanisesti ja termisesti riittävän lujia ja niiden tulee olla luotettavasti kiinnitetty alustaansa. Niissä ei saa olla teräviä särmiä tai kulmia, jotka voivat vahingoittaa johtoja. (Tiainen 2013, 207.)

4.3 Asennusputket

Yleisimmin käytettyjä rakennestandardien mukaisia asennusputkia ovat jäykät asennusputket (esimerkiksi jäykkä muoviputki JM), jäykät metalliputket (esimerkiksi jäykkä alumiiniputki JAPP) ja taipuisat eristysputket (esimerkiksi taipuisa muoviputki TAM). Asennusputket ja putkitarvikkeet valitaan siten, että niiden ominaisuudet, kuten mekaaninen lujuus, koteloitiluokka, korroosion- ja lämmönkestävyys, ovat kyseiseen käyttöön riittäviä. Suurilla johtimien poikkipinnoilla ja korroosionkestävyyden vuoksi voidaan asennusputkena käyttää myös muuhun tarkoitukseen valmistettua putkea, kuten vesijohtoa tai viemäriä varten valmistettuja putkia. (Tiainen 2013, 200–203.)

Asennusputkea taivutettaessa ja katkaistessa on noudatettava tarpeellista varovaisuutta ja käytettävä sopivia työkaluja ja menetelmiä siten, ettei put-

ki litisty tai murru eikä liitoskohtiin synny johdon eristystä vahingoittavaa jäystettä. Putkenpää on tarvittaessa pyöristettävä tai siinä tulee käyttää putkenpäätetä. (Tiainen 2013, 204.)

4.4 Kaapelit

Kaapeli tai johdin on valittava niin, että sen nimellisjännite on riittävä ja sen rakenne kestää kaikki käyttöpaikan muut rasitukset. Lisäksi johtimen poikkipintojen tulee olla riittävän suuria. (Tiainen 2013, 186–187.) Taulukossa 4 on esitetty standardin SFS 6000 määräämät johtimien vähimmäispoikkipinnat eri johtojärjestelmissä ja käyttötarkoituksissa.

TAULUKKO 4. Johtimien pienin sallittu poikkipinta (SFS 6000-5-52 2012, taulukko 52.2)

Johtojärjestelmä		Käyttötarkoitus	Johdin	
			Materiaali	Poikkipinta mm ²
Kiinteät asennukset	Kaapelit ja eristetyt johtimet	Tehonsyöttö- ja valaistuspiirit	Cu Al	1,5 10 ¹
		Merkinanto- ja ohjauspiirit	Cu	0,5 ²
	Paljaat johtimet	Tehonsyöttöpiirit	Cu Al	10 16
		Merkinanto- ja ohjauspiirit	Cu	4
Eristetyillä johtimilla ja kaapeleilla tehdyt taipuisat liitännät		Tiettyä kojetta varten	Cu	Asianomaisen laitestandardin mukaan
		Muuhun käyttöön	Cu	0,75 ³
		Pienoisjännitteillä erikoiskäytössä	Cu	0,75
<p>1 Kaapelistandardin IEC 60228 mukaan Al-johtimissa käytettävät liittimet on testattava ja hyväksyttävä erityisesti tähän käyttöön.</p> <p>2 Elektroniikkalaitteiden merkinanto- ja ohjauspiireissä hyväksytään 0,1 mm² poikkipinta.</p> <p>3 Vähintään 7-johtimisten taipuisien kaapeleiden osalta huom. 2 on voimassa.</p>				

Kaapeleita ja johtimia saa asentaa ja käsitellä vain standardeissa tai valmistajan ohjeissa määritellyissä lämpötiloissa. Valmistajan tulee asennusohjeissa ilmoittaa asennuksen ja käytön kannalta oleellisia tietoja. Käsitteilylämpötilojen lisäksi tällaisia ovat ainakin sallitut asennustavat, pienin taivutussäde asennusvedossa ja lopullisessa asennuksessa sekä suurin sallittu asennusvetovoima. (Tiainen 2013, 188.)

Kaapelin valinnassa kannattaa ottaa myös huomioon valmistajien suosituimmuus taulukoita, joista selviää yleisimmin käytetyt kaapelikoot. Yleisimpiä kaapelikokoja löytyy yleensä valmistajien tai myyjien varastoista valmiina, jolloin toimitusajat ovat lyhempiä, joten ne tulevat kokonaisratkaisuna edullisemmiksi käyttää.

4.4.1 Kupari- ja alumiinivoimakaapelit

MCMK on kuparinen asennuskaapeli, joka on tarkoitettu kiinteään asentamiseen sisällä ja ulkona. Maahan asennettaessa on käytettävä tarvittaessa lisäsuojauksia. MCMK-voimakaapelia käytetään yleisesti teollisuudessa esimerkiksi sähkömoottorien syöttökaapelina, sitä voidaan käyttää myös kiinteistöjen nousukaapelina. MCMK-voimakaapelia on saatavissa kolmi- ja nelijohtimisina, joita ympäröi kuparilankoja ja kuparilankasidos, eli konsentrisen johdin, joka toimii kaapelin PE-johtimena. Pienimpiä johdinkokoja on saatavissa myös kaksijohtimisina. MCMK:sta on myös saatavilla MCMK-O, jonka erikoisominaisuutena on 2 ohjausjohdinta, mutta sitä on saatavilla vain pienimmillä johdinko'illa. (Reka Kaapeli Oy 2014.) Johtimien eristys ja kaapelin vaippa on PVC-muovia. Kuvassa 1 on esitetty kaapelin rakenne.



KUVA 1. Kuparivoimakaapelin rakenne (Reka Kaapeli Oy 2014)

AMCMK-voimakaapelin johtimet ovat alumiinia, mutta suojajohdin on kuparia, kuten MCMK-voimakaapelissakin. Sen käyttökohteet ovat samat kuin MCMK:lla. (Reka Kaapeli Oy 2014.) Alumiinikaapelit ovat yleisesti hinnaltaan edullisempia kuin kupariset, mutta alumiinin sähkönjohtavuus on hieman kuparia heikompi, minkä takia alumiinikaapelista joudutaan valitsemaan yleensä yhtä johdinkokoa isompi kaapeli kuin mitä kuparikaapelilla tarvitsisi, kuten taulukosta 1 voidaan nähdä.

Alle 16 mm²:n kaapeleilla suojajohtimen poikkipinta tai sen sähkönjohtavuus on sama kuin vaihejohtimen. 25 ja 35 mm²:n kuparikaapeleilla ja vastaavan sähkönjohtavuuden omaavilla alumiinikaapeleilla suojajohtimen poikkipinta on 16 mm². Näitä suuremmilla johdinko'illa suojajohdin on puolet vaihejohtimen poikkipinnasta tai sen sähkönjohtavuudesta. (Harsia 2009b; Reka Kaapeli Oy 2014.)

Häiriöalttiisiin asennuksiin on saatavilla EMC-suojatut EMCMK- ja EAMCMK-voimakaapelit. Niissä on häiriösuojana kuparinauha, joka ympäröi täysin vaihejohtimet. Tämä voidaan nähdä, kun verrataan kuvan 2 kaapelia kuvan 1 kaapeliin. (Reka Kaapeli Oy 2014.) Etenkin taajuusmuuttajakäytöissä tulee käyttää EMC-suojattua kaapelia (Tiainen 2013, 160).



KUVA 2. EMC-suojatun kuparivoimakaapelin rakenne (Reka Kaapeli Oy 2014)

5 OHJELMISTOTUOTANTO

Ohjelmistoprojektin kehitysprosessista voidaan yleensä erottaa seuraavat vaiheet: määrittely, suunnittelu, ohjelmointi ja testaus. Näitä vaiheita seuraavat ohjelmiston käyttöönotto ja ylläpito. (Haikala & Märijärvi 2004, 35.)

5.1 Määrittely

Määrittelyvaiheeseen kuuluu ensimmäisenä asiakasvaatimusten analysointi, jonka jälkeen niistä johdetaan ohjelmistovaatimukset. Ohjelmistovaatimukset määrittelevät toteutettavan järjestelmän ja sen tuloksena syntyntä dokumenttia kutsutaan toiminnalliseksi määrittelyksi. Toiminnallisessa määrittelyssä kuvataan ohjelmiston toiminnot, toteutukselle asetettavat ei-toiminnalliset vaatimukset sekä rajoitukset. Toiminnoissa määritellään ohjelmistolla toteutettavat ominaisuudet ja käyttöliittymä. Ei-toiminnallisiin vaatimuksiin kuuluvat esimerkiksi suoritusteho ja käytettävyys. Rajoituksia taas ovat esimerkiksi ohjelmointikielestä johtuvat rajoitukset ja käytettävissä oleva muistitila. Määrittelyvaiheessa siis muutetaan asiakkaan vaatimukset ja toiveet täsmällisiksi ohjelmistovaatimuksiksi. (Haikala & Märijärvi 2005, 38–39.)

5.2 Suunnittelu

Suunnitteluvaiheessa määrittelyn mukaisten toimintojen toteutus suunnitellaan. Suunnittelu jaetaan yleensä kahteen tasoon. Aluksi järjestelmä jaetaan mahdollisimman itsenäisiin, toisistaan riippumattomiin osiin, moduuleihin. Tätä kutsutaan arkkitehtuurisuunnitteluksi ja sen tuloksena syntyvää dokumenttia tekniseksi määrittelyksi. Arkkitehtuurisuunnittelun jälkeen tulee moduulisuunnitteluvaihe, jossa jokaisen osan sisäinen rakenne suunnitellaan. Moduulisuunnitteluvaiheesta voidaan jatkaa vielä pienempiin osiin niin, että osat voidaan antaa yksittäisten suunnittelijoiden tehtäväksi. (Haikala & Märijärvi 2004, 40.)

5.3 Ohjelmointi ja testaus

Ohjelmointivaiheeksi kutsutaan ohjelman kirjoitusvaihetta ensimmäiseen virheettömään käännökseen asti. Testauksen tarkoituksena on löytää ohjelmistosta virheitä. Testaus voidaan tehdä monella eri tasolla. Testaus voidaan jakaa esimerkiksi moduuli-, integrointi- ja järjestelmätestaukseen. Moduulitestauksessa etsitään virheitä yksittäisistä moduuleista, integrointitestauksessa moduulien yhteistoiminnasta ja järjestelmätestauksessa koko järjestelmän toiminnoista. (Haikala & Märijärvi 2004, 40.) Testauksen työvaiheet ovat testauksen suunnittelu, testiympäristön luonti, testin suorittaminen ja tulosten tarkastelu. Testauksen ja siinä löytyneiden virheiden paikallistamiseen ja korjaukseen kuluu normaalisti suurin osa ohjelmistoprojektin resursseista, joten siihen kannattaa kiinnittää erityistä huomiota. (Haikala & Märijärvi 2004, 283.)

5.4 Ylläpito

Ylläpito on asiakkaan ongelmien ratkomista, virheiden korjaamista, ohjelman muuttamista vaatimusten muuttuessa ja uusien ominaisuuksien lisäämistä. Ylläpito voidaan jakaa korjaavaan, adaptiiviseen ja täydentävään ylläpitoon. Korjaavassa ylläpidossa korjataan ohjelman virheitä, adaptiivisessa ylläpidossa muutetaan ohjelmaa muuttuneiden vaatimusten mukaisesti ja täydentävässä ylläpidossa parannellaan ohjelmaa parantamalla sen toiminnallisuutta. (Haikala & Märijärvi 2004, 41.)

6 CASE: JOHDON MITOITUS JA SUOJAUS -OHJELMA

Seuraavaksi käydään läpi opinnäytetyön käytännön osuuden työn tavoitteita ja eri vaiheita. Liitteessä 3 on liitteen 2 mukainen laskentaesimerkki ohjelmalla tehtynä.

6.1 Tavoitteet

Työn tavoitteena oli kehittää yksinkertainen laskentatyökalu toimeksiantajan käyttöön helpottamaan ja nopeuttamaan johdon ja suojauksen mitoitusta. Usein mitoitus on työlästä ja aikaa vievää puuhaa, etenkin suuremmissa kohteissa.

Ohjelmalla tuli pystyä laskemaan suojaavan sulakkeen koko, johtimen poikkipinta-ala, jännitteenalenema johto-osuudella, keskuksen kiskostoon ja suojaukseen liittyviä arvoja sekä syötön nopean poiskytkennän ehtojen toteutuminen. Tämä kaikki tuli pystyä laskemaan vain muutamia lähtötietoja hyödyntäen, kuten syötettävän kojeen tarvitsema teho sekä arvio keskuksen ja kojeen välisen johdon pituudesta ja asennusolosuhteista.

6.2 Ohjelman rajaus

Aluksi ohjelman koko rajattiin käsittämään kolmivaiheiset asennukset, joissa syötettävän kojeen kuormitus on symmetristä, tämä tarkoittaa lähinnä moottoreita. Soveltuvuus epäsymmetriselle kuormalle tulee tarkistaa erikseen. Tämän seurauksena kaapeleiden tietokanta rajattiin käsittämään PVC-eristeiset AMCMK- ja MCMK-tyyppiset alumiini- ja kuparivoimakaa-pelit, joita voi myös soveltaa EMC-häiriösuojattuihin voimakaapeleihin. Ylivirtasuojauksen osalta suojalaitekomponentit rajattiin gG-tyypin kahvasulakkeisiin ja B- sekä C-tyypin johdonsuojakatkaisijoihin. Ilman lämpötila rajattiin +25 °C:seen ja johdinlämpötila +70 °C:seen, jotka vastaavat normaaleja asennusolosuhteita.

Myöhemmin ohjelmaa voidaan laajentaa sisältämään myös muun tyyppiisiä kaapeleita, PEX- ja EPR-eristeisiä kaapeleita, erilaisia asennusolosuhteita sekä käsittämään yksivaiheiset asennukset.

6.3 Käytettävä ohjelmointityökalu

Pohdittaessa käytettävää ohjelmointityökalua ja toiminta-alustaa tärkeimmäksi valintakriteeriksi nousi ohjelmointityökalun ja toiminta-alustan helppo saatavuus, jotta välttyttäisiin kalliilta ohjelmistohankinnoilta. Myös ohjelmointikielen yksinkertaisuus ja ohjelmistorakenteen muokattavuus nousivat valintakriteereissä korkealle.

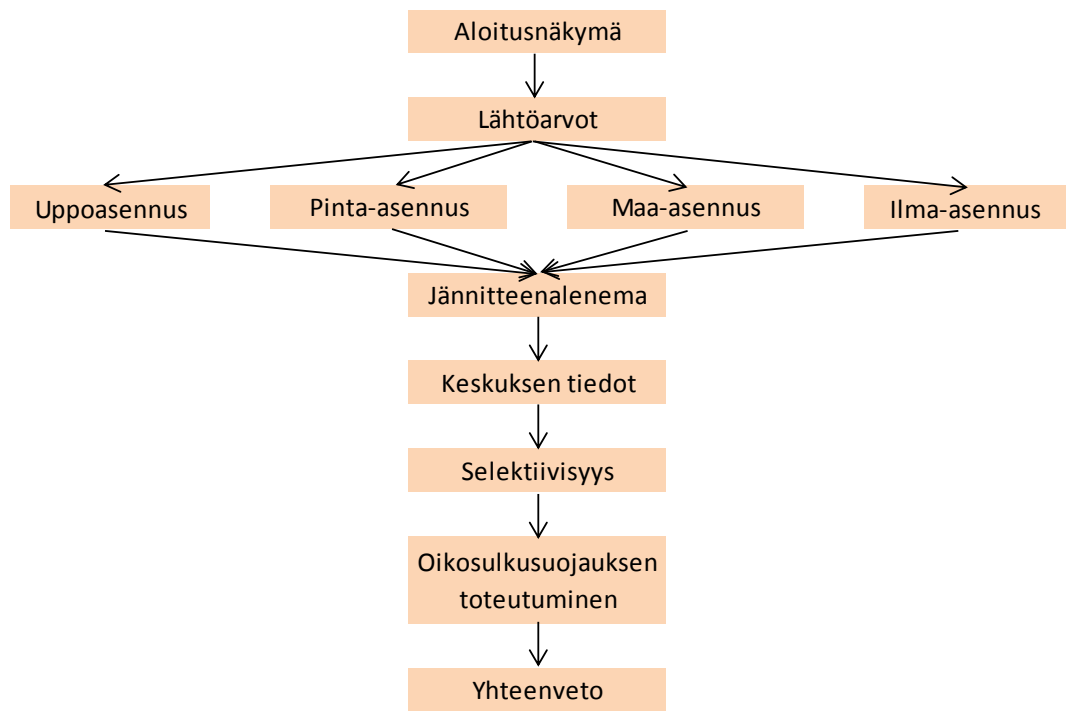
Näillä tärkeimmillä valintakriteereillä valittiin Microsoftin Excel-taulukkolaskentaohjelma ja siitä löytyvä VBA-ohjelmakieli (Visual Basic for Applications). VBA on Visual Basic -ohjelmointikielen murre, joka toimii Microsoft Office -tuotteiden sisällä ja on käyttötarkoitukseltaan makrokieli, jolla ohjataan ja täydennetään isäntäohjelman toimintoja. Visual Basic on BASIC-sukuinen ohjelmointikieli, joka pohjautuu 1980-luvulla julkaistuun Quick-BASIC-kieleen.

VBA:n yksi merkittävimmistä eduista on, että Excel-taulukkolaskentaohjelma löytyy valmiiksi asennettuna useimmista tietokoneista, jolloin säästytään ylimääräisten ohjelmien asentamiselta. Valmiin laskentaohjelman pystyy avaamaan suoraan Excelillä. Lisäksi VBA:n ohjelmointikieli on selkeää ja yksinkertaista, joten pienellä eri ohjelmointikielien tuntemuksella ja erilaisten VBA:han liittyvien ohjeiden selaamisella pääsi jo hyvin alkuun.

6.4 Alkutilanne ja ohjelmarakenteen hahmottelu

Ohjelman ominaisuuksien rajauksen ja käytettävän ohjelmiston valinnan jälkeen aloitettiin hahmottelemaan ohjelman runkoa, jotta ohjelmoinnin edetessä säästyttäisiin suurilta muokkaustarpeilta. Eri laskuvaiheet päädyttiin jakamaan omille välilehdilleen loogiseen järjestykseen. Tämä vähensi huomattavasti yhdelle välilehdelle tulevan ohjelmakoodin määrää,

mikä helpotti ohjelmointivirheiden paikallistamista ohjelman kirjoittamisen aikana. Navigointi eri välilehtien välillä tapahtuu välilehdille sijoitetuilla navigointinapeilla. Osien järjestykseksi valikoitui kuvion 3 mukainen ohjelmarunko, jolloin yhden lähdön tiedot voidaan laskea kerralla alusta loppuun asti aikaisempien osioiden tietojen perusteella. Kuvion 3 mukainen rakenne havaitaan myös osion 2 järjestyksessä, jossa käsitellään ohjelmalla laskettavia sähködynamiikan laskuja.



KUVIO 3. Ohjelman rungon rakenne

Aluksi ohjelmassa käytettäviä toiminta-arvoja ja korjauskertoimia otettiin vanhoista opintomateriaaleista, jotka ohjelmoinnin edetessä päivitettiin Johdon suojaus ja mitoitus -kirjassa oleviin tietoihin. Ohjelman tiedot tarkastettiin vielä kertaalleen testausvaiheen loppupuolella vastaamaan SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset -standardin mukaisia arvoja.

Yleiskäsitys ohjelmoinnista on saatu C++-kielen peruskurssilta ja erilaisten ohjelmitavien PLC-logiikoiden Structure-ohjelmointikielestä, joten tarvittava VBA-kielen perustason oppiminen muutamien internetistä löytyvien tutoriaalien ja esimerkkien avulla kävi kohtuullisen sujuvasti.

Johdon mitoituksessa ja suojauksessa tarvittavia laskuja on käyty koulun oppitunneilla läpi, joista kirjoitetuilla muistiinpanoilla pystyi ohjelmaan kirjoittamaan mitoituksessa tarvittavat laskut.

6.5 Ohjelmointia

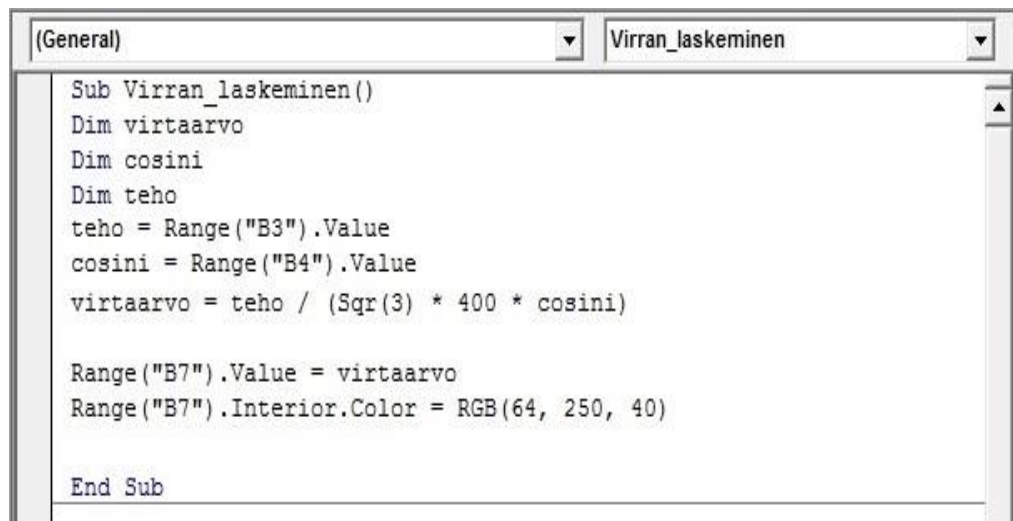
Ensiksi ohjelma kirjoitettiin kokonaisuudessaan käsittäen yhden asennustavan ja vasta myöhemmin ohjelmaan kirjoitettiin muut asennustavat. Näin toimittiin, jotta mahdollisimman aikaisessa vaiheessa pystyttäisiin toteamaan ohjelmarungon rakenne toimivaksi ja kokeilemaan erilaisia ohjelmointia helpottavia asioita sekä vähentämään päällekkäistä ohjelmakoodia. Eri välilehdillä olevat aliohjelmat kirjoitettiin omille sivuilleen, jotta voitiin minimoida ohjelmakoodin muuttujien mahdollisuus sekoittua keskenään.

6.5.1 Aliohjelman ja muuttujien nimeäminen

Ohjelmoitaessa tiettyä laskennan kohtaa on ensiksi nimettävä aliohjelma, jotta sitä voidaan myöhemmin kutsua isäntäohjelman puolelta. Aliohjelma esitellään käskyllä "Sub". Suoraan painonappiin kirjoitettava aliohjelma esitellään käskyllä "Private Sub", tällöin aliohjelma ei näy makrovalikossa eikä sitä voi suorittaa muuten kuin painonappia painamalla. Tämän jälkeen esitellään aliohjelmassa esiintyvät muuttujat. Kaikki paitsi vakioina pysyvät arvot tulee esitellä muuttujina. Muuttuja esitellään ohjelmassa kirjoittamalla "Dim" ja muuttujan nimi, tällöin muuttuja on esitelty variant-tyyppisenä muuttujana ja siihen voidaan sijoittaa mitä tahansa tietoa.

Kuvassa 3 on kohta ohjelmasta, jossa lasketaan laitteen kuluttama virta sen tehon ja $\cos\phi$ -arvon perusteella. Ensiksi siinä nimetään aliohjelma, jotta käyttäjä voi kutsua sitä, minkä jälkeen esitellään muuttujat "virtaarvo", "cosini" ja "teho". Esittelyn jälkeen ohjelma lukee muuttujaan "teho" kyseisen välilehden soluun B3 ja muuttujaan "cosini" soluun B4 kirjoitetut arvot. Tämän jälkeen ohjelma laskee kaavan 3 mukaisesti kojeen käyttämän virran arvon ja kirjoittaa sen soluun B7 käyttäjän näkyville ja muuttaa myös

solun väriin, jotta tuloksen havaitsisi helpommin. Lopuksi aliohjelma lopetetaan komennolla "End Sub".



```
(General) Virran_laskeminen
Sub Virran_laskeminen()
  Dim virtaarvo
  Dim cosini
  Dim teho
  teho = Range("B3").Value
  cosini = Range("B4").Value
  virtaarvo = teho / (Sqr(3) * 400 * cosini)

  Range("B7").Value = virtaarvo
  Range("B7").Interior.Color = RGB(64, 250, 40)

End Sub
```

KUVA 3. Laitteen kuluttaman virran laskemiseen käytetty ohjelmakoodi

6.5.2 Vertailu ehtorakenteella

Vertailu ehtorakenteella alkaa komennolla "If" ja päättyy merkintään "End If". Tämän lisäksi ehtorakenteeseen voi kuulua "Elseif"-osia, jotka määrittävät useampia ehtoja, sekä loppuun tuleva "Else"-lause, jonka perässä oleva ohjelmakoodi suoritetaan silloin, kun yksikään aiemmista ehdoista ei ole täyttynyt.

Kuvassa 4 on kohta ohjelmasta, jossa kuvan 3 kohdasta saatua laitteen virta-arvoa verrataan taulukoituihin sulakkeiden arvoihin. Ohjelma vertaa laitteen virta-arvoa sulakkeiden arvoihin pienimmästä lähtien, kunnes virta-arvo sopii kahden sulakkeen arvon väliin, minkä jälkeen ohjelma ehdottaa suurempaa arvoa valittavan sulakkeen kooksiksi.

```

Sub Sulakkeen_valinta_a()
Dim alue
Dim arvo
alue = Range("B2").Value
If alue <= 10 Then
arvo = 10
ElseIf alue <= 16 Then arvo = 16
ElseIf alue <= 20 Then arvo = 20
ElseIf alue <= 25 Then arvo = 25
Else: arvo = xxx
End If

```

KUVA 4. Vertailukäsky ohjelmasta

6.5.3 Painonapit

Kuvassa 5 on erään painonapin ohjelmakoodi. Painonappia painamalla ohjelma siirtyy kuvan tapauksessa "Lähtöarvot"-sivulle. Samaan tapaan painonappeihin voidaan ohjelmoida aliohjelman kutsuminen. Aliohjelmaa kutsutaan "Call"-käskyllä, jonka jälkeen määritellään, miltä välilehdeltä ja mitä aliohjelmaa kutsutaan, esimerkiksi "Call Sheet4.Virran_laskeminen". Aliohjelman kutsuminen painonappia painamalla helpottaa ohjelman käytettävyyttä huomattavasti, sillä aliohjelmien haku makrovalikosta etenkin hiemankin laajemmissa ohjelmissa on erittäin työlästä.

```

Private Sub CommandButtonB_Click()

Worksheets("Lähtöarvot").Select

End Sub

```

KUVA 5. Painonappiin voidaan ohjelmoida jokin tietty toiminto

6.5.4 Valintanapit

Valintanappien avulla voidaan valita yksi useasta vaihtoehdosta, kuten kuvan 7 tapauksessa valitaan joko kupari- tai alumiinikaapeli. Valintanapin ominaisuuksista määritellään ryhmän nimi. Yhden ryhmän valintanapeista vain yksi voi olla valittuna. Ehtorakenteella voidaan tarkastella, mikä valin-

tanappi on valittuna, ja sen perusteella suoritetaan ennalta määrätty toimintot, kuten kuvan 6 tapauksessa tapahtuu.

6.5.5 Kopiointi toiselta välilehdeltä

Tärkeässä osassa ohjelmakoodin vähentämisessä oli mahdollisuus kopioida tietoa välilehdeltä toiselle. Tämä myös mahdollisti yhteenvetosivun ohjelman loppuun. Tietyn solun sisältämää tietoa kopioitaessa tulee ensin määrittää välilehti, jolta kopioidaan, sekä kopioitava solu ja lopuksi komento "Copy" kaikki pisteillä erotettuna, esimerkiksi kuvan 6 mukaisesti "Worksheets("Tapa_E").Range("D26").Copy". Tietoa liitettäessä välilehti ja solu tulee määrittää kuten kopioitaessakin, mutta komentona käytetään "PasteSpecial". Tällaisenaan komento liittäisi soluun kopioidun solun muotoiluineen. Esimerkiksi jos kopioidussa solussa on jokin kaava, komento liittää kaavan eikä tulosta. Jotta tietty tieto voidaan liittää halutulla tavalla, tulee se määrittää erikseen. Kun halutaan liittää vain solussa esiintyvä tulos ilman muotoiluja, tällöin liittämiskomennon jälkeen tulee kirjoittaa "Paste:=xlPasteValues".

Kuvassa 6 on erään napin aliohjelma, joka kopioi määrättyt tiedot eri välilehdiltä riippuen niillä tehdyistä valinnoista. Kuvassa 7 nähdään, kun ohjelma ehdottaa suojalaitteen nimellisvirtaan soveltuvia johdinkokoja ja johdinkokojen edessä on valintaruudut. Kuvan 6 aliohjelma tiedustelee, kumpi kaapeli on valittuna, ja sen perusteella kopioi oikean kaapelin tiedot ohjelman muistiin ja liittää ne oikeille paikoilleen välilehdelle, jotta seuraava aliohjelma voi käyttää niitä.

```

Private Sub tavasta_e_Click()

If Sheet1.kuparinappi.Value = True Then
Worksheets("Tapa_E").Range("D26").Copy
Worksheets("Jännitteen_alenema").Range("C3").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Worksheets("Tapa_E").Range("C26").Copy
Worksheets("Jännitteen_alenema").Range("C4").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Else: Worksheets("Tapa_E").Range("D27").Copy
Worksheets("Jännitteen_alenema").Range("C3").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Worksheets("Tapa_E").Range("C27").Copy
Worksheets("Jännitteen_alenema").Range("C4").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
End If

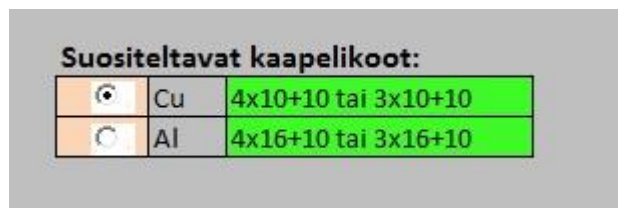
Worksheets("Lähtöarvot").Range("B4").Copy
Worksheets("Jännitteen_alenema").Range("L8").PasteSpecial
Worksheets("Lähtöarvot").Range("J5").Copy
Worksheets("Jännitteen_alenema").Range("L9").PasteSpecial

Worksheets("Lähtöarvot").Range("B7").Copy
Worksheets("Jännitteen_alenema").Range("L11").PasteSpecial

End Sub

```

KUVA 6. Aliohjelma, jolla kopioidaan tietoa toisilta välilehdiltä



KUVA 7. Ohjelma ehdottaa valitun sulakkeen ja asennustavan perusteella kaapelin kokoa

6.5.6 Tulostus

Laskettujen tietojen tulostus päätettiin toteuttaa ohjelman lopussa olevalle yhteenvetosivulle aiemmin esitellyllä kopiointikomennon avulla. Yhteenvedossa kaikki ohjelman aikana lasketut kaapelin mitoitus- ja suojalaitteen määritykseen liittyvät laskut ja tarkistukset koottiin yhdelle sivulle, josta suunnittelijan on helppo kirjata ne tarvittaviin dokumentteihin. Ideana oli myös tulostaa tiedot esimerkiksi Microsoft Wordiin, mutta se osoittautui turhan hankalaksi ja aikaa vieväksi toteuttaa siististi senhetkisillä taidoilla, joten se jätettiin myöhemmäksi kehityskohteeksi.

6.5.7 Ohjelmoinnissa ilmenneitä ongelmia

Ohjelmoinnin aikaisista sekä testauksessa ilmenneistä ohjelmakoodiin liittyvistä ongelmista nousi kaksi ongelmaa selvästi esiin. Lisäksi ongelmia aiheutti kirjoitusvirheistä johtuneet ohjelman paikoittaiset toimimattomuudet, sillä muissa kuin komennoissa esiintyvät kirjoitusvirheet voivat olla hankala havaita.

Ensimmäinen ongelma oli, että ohjelma meni virhetilaan, jos aliohjelma suoritti jakolaskun, jossa jakajaksi pystyi tulemaan nolla. Tämä ongelma tuli vastaan muun muassa kaavan 3 mukaisessa laskussa, jossa lasketaan laitteen nimellisvirtaa. Jos käyttäjä unohti täyttää laitteen $\cos\phi$ -arvon kentän, sai muuttuja arvokseen nollan. Aluksi virheen mahdollisuutta pyrittiin minimoimaan sillä, että syötetyt arvot tuli vahvistaa, ja jos vahvistetuilla arvoilla ohjelmavirheen mahdollisuus oli olemassa, antoi ohjelma siitä käyttäjälle ilmoituksen. Tästäkin huolimatta ohjelmaa pystyi käyttämään niin, että se saattoi antaa virheilmoituksen. Myöhemmässä vaiheessa ohjelmavirhe saatiin estettyä käyttämällä "On Error Resume Next" -komentoa ja ehtorakenteen avulla muuttujan arvoksi määriteltiin sellainen arvo, ettei ohjelmavirhettä päässyt syntymään. Lisäksi annettiin ilmoitus, jossa kehoitettiin tarkistamaan arvot.

Toinen ongelma ilmeni, kun välilehdet nimettiin niissä tapahtuvien toimintojen mukaisesti helpottamaan ohjelman käyttöä sekä ohjelmoinnin aikana tapahtuvaa välilehtien tunnistamista. Etenkin ohjelmoitaessa painonappeihin aliohjelmakutsuja ja kopioitaessa tietoja tarvitaan välilehtien nimitietoja. Aluksi oli hankala selvittää, tarvitaanko välilehtien luomisjärjestyksestä syntynyttä juoksevalla numeroinnilla olevaa alkuperäistä "Sheet#" nimeä-mistä vai erikseen annettua nimeä. Kuvassa 6 havaitaan molempien tapojen käyttö. Väärän tavan käyttäminen aiheutti ohjelmavirheen. Ongelma selvisi lähinnä kokeilemalla, sillä internetistä löytyvistä ohjeista ei välilehtien nimiä ollut muutettu.

6.6 Käyttöohje

Kun ohjelma saatiin valmiiksi, oli seuraavaksi vuorossa käyttöohjeen laatiminen. Käyttöohjeeseen kirjattiin ensiksi se, millaiselle järjestelmälle ja asennusolosuhteille ohjelmaa voidaan soveltaa. Tämän jälkeen käyttöohjeeseen kirjattiin ohjelman asennukseen ja käyttöönottoon liittyvät asiat. Lisäksi käyttöohjeessa myös esitellään ohjelmassa esiintyvien värikoodien merkitykset, joiden tarkoituksena on helpottaa lasketun tuloksen havaitsemista sekä osoittaa, mihin soluun tieto on syötettävä ja onko käyttäjän itse syötettävä tieto vai suositellaanko se kopioitavaksi joltain muulta välilehdeltä. Käyttöohjeessa esitellään erikseen, mitä milläkin välilehdellä lasketaan ja se ohjeistaa tietokenttien täytössä sekä eri valintanappien vaihtoehdoista. Käyttöohjeen tarkoituksena oli, että sähköjohdon mitoituksen ja suojauksen laskentaa tekevä henkilö pystyy ohjeen luettuaan käyttämään ohjelmaa sujuvasti apunaan laskennassa.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää toimeksiantajan käyttöön laskentaohjelma helpottamaan ja nopeuttamaan johdon mitoitusta ja suojauksen määrittämistä.

Laskentaohjelman beeta-versio valmistui loppuvuodesta 2014, jolloin se otettiin koekäyttöön. Alkuvuoden 2015 aikana korjattiin löytyneet puutteet ja virheet sekä päivitettiin laskentaohjelman käyttämät arvot. Koekäytön aikana osoittautui, että laskentaohjelman avulla pystyi tekemään yksinkertaisen mitoituksen yli 600 % nopeammin verrattuna käsintehtyihin laskelmiin. Kyseinen ero saatiin esimerkkilaskelman avulla, joka on käsin laskettuna liitteessä 2 ja laskentaohjelmalla laskettuna liitteessä 3. Myöhemmin tehdyissä aikatarkasteluissa laskentaohjelman antama aikahyöty on ollut jopa parempi.

Laskentaohjelma täytti kaikki sille määritellyt vaatimukset, ja lopputulos on selkeä ja helppokäyttöinen. Laskentaohjelman ohjelmointi oli monin paikoin haastavaa ja työlästä, mutta onnistunut lopputulos oli kaiken sen vaiivan arvoista.

Myöhempiä mahdollisia kehityskohteita laskentaohjelmalle on lisätä yksivaiheisen järjestelmän laskeminen, parantaa sovellettavuutta epäsymmetrisille kuormille, lisätä asennusolosuhteita, kuten ympäristön lämpötila, ja lisätä keskuksen sulakkeen määrittelyn jälkeen mahdollisuus laskea keskusta syöttävän kaapelin johdinpoikkipinta-ala sekä tulostusmahdollisuus erilliseen dokumenttiin.

LÄHTEET

ABB Oy. 2011. Kahvasulakkeet, 2...1600 A gG ja aM –tyypit [viitattu 2.4.2015]. Saatavissa:

[http://www09.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/\\$file/1SCC317002C1801.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/$file/1SCC317002C1801.pdf)

ABB Oy. 2013. Handbook – Manual motor starters [viitattu 4.2.2015]. Saatavissa:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/74cd796359e5e996c1257bf8002fdb72/\\$file/2CDC131060M0201.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/74cd796359e5e996c1257bf8002fdb72/$file/2CDC131060M0201.pdf)

ABB Oy. 2015. Kahvasulakkeet [viitattu 20.1.2015]. Saatavissa:

<http://www.abb.fi/product/seitp329/fceafc4ae9bb5644c1256ffe0049cf6c.aspx?productLanguage=fi&country=FI>

Ahoranta, J. 2002. Sähkötekniikka. Porvoo: WSOY.

Ensto Building Technology. 2008. Oikosulkuvirta. Suomen Virtuaaliammattikorkeakoulu [viitattu 12.3.2015]. Saatavissa Ensto Pro -aineistossa:

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1210598828380/1211200962452/1211200987813.html>

Ensto Building Technology. 2012. Johdonsuojakatkaisijan toimintarajavirrat. Suomen Virtuaaliammattikorkeakoulu [viitattu 12.3.2015]. Saatavissa Ensto Pro -aineistossa:

http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/etuo tanto/0705016/5hZP4sE0P/Johdonsuojataulukko_vaaka0904.pdf

Haikala, I & Märijärvi, J. 2004. Ohjelmistotuotanto. Helsinki: Talentum Media Oy.

Halme, M. 2013. Johdon mitoitus ja suojaus. Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala. Kone- ja tuotantotekniikan opetusmateriaali.

Harsia, P. 2008a. Automaattisen poiskytkennän laskeminen. Suomen Virtuaaliammattikorkeakoulu [viitattu 12.3.2015]. Saatavissa Ensto Pro -aineistossa:

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1210598828380/1211200962452/1211201010952.html>

Harsia, P. 2008b. Johdonsuojakatkaisijat. Suomen Virtuaaliammattikorkeakoulu [viitattu 12.3.2015]. Saatavissa Ensto Pro -aineistossa:

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1210594480264/1210594509783/1210594818536.html>

Harsia, P. 2008c. Mitoituksen lähtötiedot. Suomen Virtuaaliammattikorkeakoulu [viitattu 12.3.2015]. Saatavissa Ensto Pro -aineistossa:

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1210598828380/1211201267657/1211286692882.html>

Harsia, P. 2008d. Suojien selektiivisyys. Suomen Virtuaaliammattikorkeakoulu [viitattu 12.3.2015]. Saatavissa Ensto Pro -aineistossa:

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1210594480264/1210594509783/1210594830404.html>

Harsia, P. 2009a. Sulakkeet. Suomen Virtuaaliammattikorkeakoulu [viitattu 12.3.2015]. Saatavissa Ensto Pro -aineistossa:

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1210594480264/1210594509783/1210594789763.html>

Harsia, P. 2009b. Suojajohtimen ja maadoituksen mitoituksesta. Suomen Virtuaaliammattikorkeakoulu [viitattu 7.4.2015]. Saatavissa Ensto Pro -aineistossa:

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1211459003700/1211459027717/1211459067789.html>

Harsia, P. 2009c. Ylikuormitussuojan sijoittaminen. Suomen Virtuaaliammattikorkeakoulu [viitattu 12.3.2015]. Saatavissa Ensto Pro -aineistossa:

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1210594480264/1210594928673/1211289547526.html>

Harsia, P. 2009d. Ylivirtasuojaus. Suomen Virtuaaliammattikorkeakoulu [viitattu 12.3.2015]. Saatavissa Ensto Pro -aineistossa:

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1210594480264/1210594928673/1210594967992.html>

IEC 60909-0. 2001. Short-circuit current in three-phase a.c. system – Part 0: Calculation of currents. Geneve: International Electrotechnical Commission

Meka Pro Oy. 2013. Johtokanavajärjestelmän asennus ja käyttöohje [viitattu 2.3.2015]. Saatavissa:

http://www.meka.eu/media/asennusohjeet/instal-asennusohje_2013_meka.pdf

Meka Pro Oy. 2015a. KRA Levyhyllly [viitattu 2.3.2015]. Saatavissa:

<http://www.meka.eu/tuotteet/levyhyllyt/hyllyt/kra/kra-levyhyllly.html>

Meka Pro Oy. 2015b. KS20 Hylllyt [viitattu 2.3.2015]. Saatavissa:

<http://www.meka.eu/tuotteet/tikashyllyt/hyllyt/ks20.html>

Reka Kaapeli Oy. 2014. Tuoteluettelo [viitattu 3.3.2015]. Saatavissa:

http://www.reka.fi/files/1933_REKA_2014_FI_netti.pdf

Ruppa, E. 2004. Johdon ja sen ylivirtasuojan mitoitus. Satakunnan ammattikorkeakoulu [viitattu 12.2.2015]. Saatavissa: sala-bra.tp.samk.fi/er/siirto/ylivirtasuoj.doc

SFS 6000. 2012. Pienjännitesähköasennukset. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto.

ST-kortti 51.13 Kaapelihyllyt, tikkaat ja valaisinripustuskiskot. 2014. Sähköinfo Oy.

Sähköturvallisuuden edistämiskeskus. 2015. Suojalaitteet: sulake ja sen vaihto [viitattu 19.1.2015]. Saatavissa:

http://www.stek.fi/sahkon_kaytto_kotona/kodin_sahkoverkko/fi FI/suojalaitteet_sulake_ja_sen_vaihto/

Tiainen, E. 2010. Johdon mitoitus ja suojaus. Espoo: Sähköinfo Oy.

Tiainen, E. 2013. D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähköinfo Oy.

UTU Oy. 2015. Tekniset tiedot johdonsuojakatkaisijat [viitattu 22.1.2015].

Saatavissa:

<http://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/johdonsuojakatkaisijat-tekniset-tiedot-11fi0211.pdf>

LIITTEET

LIITE 1. Sähködynamiikan taulukot

LIITE 2. Esimerkkilasku käsin

LIITE 3. Esimerkkilasku ohjelmalla

LIITE 1. Sähködynamiikan taulukot

TAULUKKO 1. Johtojen pienimmät kuormitettavuudet verrattuna ylikuormitussuojana toimivan gG-tyyppisen sulakkeen nimellisvirtaan (Tiainen 2010, 35)

Sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta (A)	Johdon sallittu kuormitusvirta vähintään (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

TAULUKKO 2. Korjauskertoimet kaapeleille, jotka on asennettu lämpöeristettyyn seinään upotettuun putkeen (Tiainen 2010, 54)

Kaapelien lukumäärä (nipussa)	Korjauskerroin
1	1
2	0,8
3	0,7
4	0,65
5	0,6
6	0,57
7	0,54
8	0,52
9	0,5
12	0,45
16	0,41
20	0,38

TAULUKKO 3. Korjauskertoimet kaapelien pinta-asennukseen (Tiainen 2010, 54)

Kaapelien lukumäärä	Nipussa pinnalla tai kivrakenteen sisällä	Yhdessä kerroksessa seinällä tai lattialla	Yhdessä kerroksessa kiinnitettynä suoraan puukaton alapuolelle
1	1	1	0,95
2	0,8	0,85	0,81
3	0,7	0,79	0,72
4	0,65	0,75	0,68
5	0,6	0,73	0,66
6	0,57	0,72	0,64
7	0,54	0,72	0,63
8	0,52	0,71	0,62
9	0,5	0,7	0,61
12	0,45	Ei korjauskertoimia useammalle kuin yhdeksälle kaapelille	
16	0,41		
20	0,38		

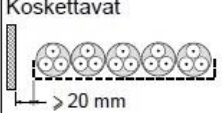
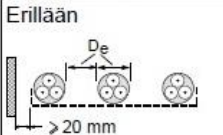
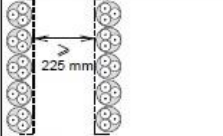
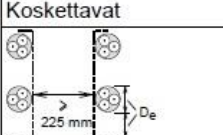
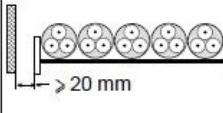
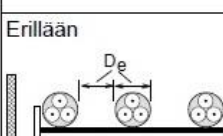
TAULUKKO 4. Maan lämpöresistiivisyydestä riippuva korjauskerroin (Tiainen 2010, 54)

Maan lämpöresistiivisyys (K*m/W)	Korjauskerroin
0,7 K*m/W, kostea savi ja hiekka	1,10
1,0 K*m/W, puolikuiva savi ja kostea sora	1,00
1,2 K*m/W, puolikuiva sora, suomuta ja hiekka, kosteus 10 %	0,92
1,5 K*m/W, kuiva sora ja savi	0,85
2,0 K*m/W	0,75
2,5 K*m/W	0,69
3,0 K*m/W, kuiva hiekka, kosteus 0 %	0,63

TAULUKKO 5. Maan lämpötilasta riippuva korjauskerroin (Tiainen 2010, 53)

Maan lämpötila (°C)	Korjauskerroin
0	1,13
5	1,09
10	1,05
15	1,00
20	0,95
25	0,90
30	0,85

TAULUKKO 6. Korjauskertoimet asennettaessa monijohdinkaapeli kaapelihyllylle tai -tikkailla. (SFS 6000-5-52 2012, taulukko B.52.20)

		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	
	Erillään 	1	1,00	0,91	0,89	0,88	0,87	–	
		2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	–	
	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	–	

TAULUKKO 7. Johtimien ominaisresistanssit ja -reaktanssit (Ω/km) 20 °C lämpötilassa. (Tiainen 2010, 112)

Johtimen poikkipinta (mm ²)	Kupari			Alumiini		
	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z
1,5	11,80	0,115	11,801			
2,5	7,07	0,110	7,071			
6	2,95	0,100	2,952			
10	1,81	0,094	1,812			
16	1,14	0,090	1,144	1,87	0,090	1,872
25	0,72	0,086	0,725	1,20	0,086	1,203
35	0,53	0,083	0,536	0,88	0,083	0,884
50	0,39	0,083	0,399	0,64	0,083	0,645
70	0,27	0,082	0,282	0,44	0,082	0,448
95	0,20	0,082	0,216	0,32	0,082	0,330
120	0,16	0,080	0,179	0,25	0,080	0,262
150	0,13	0,080	0,153	0,21	0,080	0,225
185	0,10	0,080	0,128	0,17	0,080	0,188
240	0,08	0,079	0,112	0,13	0,079	0,152
300	0,06	0,079	0,099	0,11	0,079	0,135

TAULUKKO 8. gG-tyyppisten sulakkeiden pienimmät toimintavirrat (Tiainen 2010, 92)

Mitoitusvirta (A)	Pienimmät toimintavirrat (A)	
	Toiminta-aika $\leq 0,4$ s	Toiminta-aika $\leq 5,0$ s
2	16	9
4	21	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	840	425
100	1000	580
125	1450	715
160	1600	950
200	2100	1250
250	2800	1650
315	3700	2200
400	4800	2840
500	6400	3800
630	8500	5100

TAULUKKO 9. Johdonsuojakatkaisijoiden pienimmät toimintavirrat (Tiainen 2010, 91)

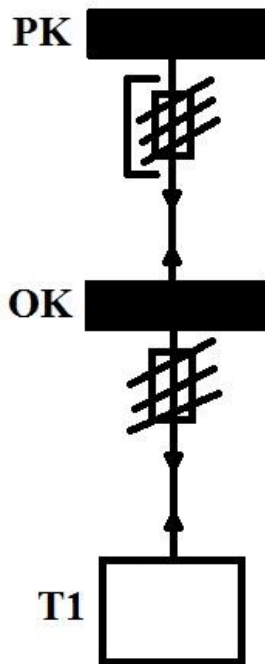
Mitoitusvirta (A)	Pienimmät toimintavirrat (A)	
	B-tyyppi $\leq 0,4$ s ja $\leq 5,0$ s	C-tyyppi $\leq 0,4$ s ja $\leq 5,0$ s
6	30	60
10	50	100
16	80	160
20	100	200
25	125	250
32	160	320
50	250	500
63	315	630
80	400	800
125	325	1250

TAULUKKO 10. Kaapeleiden impedanssit (Ω/km) johdinlämpötilalle $80\text{ }^\circ\text{C}$ (Tiainen 2010, 90)

Johtimen poikkipinta (mm^2)	Kupari			Alumiini		
	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z
1,5	14,620	0,115	14,620			
2,5	8,770	0,110	8,771			
6	3,660	0,100	3,661			
10	2,244	0,094	2,246			
16	1,415	0,090	1,418	2,324	0,090	2,326
25	0,898	0,086	0,902	1,489	0,086	1,491
35	0,652	0,083	0,657	1,086	0,083	1,089
50	0,482	0,083	0,489	0,796	0,083	0,800
70	0,336	0,082	0,346	0,551	0,082	0,557
95	0,244	0,082	0,257	0,398	0,082	0,406
120	0,195	0,080	0,211	0,316	0,080	0,326
150	0,155	0,080	0,174	0,258	0,080	0,270
185	0,125	0,080	0,148	0,207	0,080	0,222
240	0,095	0,079	0,124	0,162	0,079	0,180
300	0,078	0,079	0,111	0,133	0,079	0,155

LIITE 2. Esimerkkilasku käsin

Lasketaan luvun 2 ja liitteen 1 avulla yksinkertainen esimerkkilasku, jossa mekatroniselle työstölaitteelle ja sitä syöttävälle ohjauskeskukselle määritellään sopivan kokoiset etukojeet ja syöttökaapelit.



Pääkeskuksen I_k -arvo on 2450 A, $U = 400$ V, 50 Hz.

Pää- ja ohjauskeskuksen välinen etäisyys 45 m, maa-aines on puolikuiva sora ja maan lämpötila $+15$ °C.

Ohjauskeskus syöttää myös muuta kuormaa 15 kW, jonka $\cos\varphi$ on 0,85.

Ohjauskeskuksen ja moottorin välinen etäisyys 25 m, asennus tikashyllylle, 1 hylly jossa entuudestaan 3 kaapelia, kaapelit koskettavat toisiinsa.

T1 on mekatroninen työstölaite, jolle oletetaan oikosulkusuojauksen riittävän: $U = 400$ V, $P = 27$ kW, $\cos\varphi = 0,9$.

Lasketaan ylläolevien tietojen perusteella ohjauskeskusta ja työstölaitetta suojaavien sulakkeiden koot, sekä syöttävien kaapelien johdinkoot ja tarkistetaan valitut suojat ja kaapelit jännitteenaleneman, selektiivisyyden ja oikosulkusuojauksen osalta.

Lasketaan kaavalla 3 laitteen nimellisvirta.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi} \rightarrow \frac{27000 \text{ W}}{\sqrt{3} * 400 \text{ V} * 0,9} = 43,3 \text{ A}$$

Valitaan laitetta suojaamaan C-typin johdonsuojakatkaisija, nimellisvirran perusteella sulakekooksi tulee 50 A.

Koska suojalaitteeksi on valittu johdonsuojakatkaisija, voidaan suojalaitteen nimellisvirta jakaa asennustavasta riippuvilla korjauskertoimilla, liitteen 1 taulukosta 7 saadaan korjauskertoimeksi 0,80. Asennustavan aiheuttaman lämpenemän perusteella kaapelin on kestävä vähintään 62,5 A:n virta, jotta 50 A:n johdonsuojakatkaisija suojaa sitä tehokkaasti. Taulukosta 1 valitaan asennustapaa vastaavasta sarakkeesta lähin vähintään yhtä suuri kuormitusvirta ja sen perusteella johtimen poikkipinta.

$$50 A \rightarrow \frac{55 A}{0,80} = 62,5 A$$

$$\text{Alumiini: } 62,5 A \rightarrow 65 A \rightarrow 16 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kupari : } 62,5 A \rightarrow 63 A \rightarrow 10 \text{ mm}^2$$

Koska välimatka on lyhyt, valitaan kaapeliksi kuparinen MCMK 4x10+10.

Tarkistetaan kaapeli jännitteenaleneman osalta kaavalla 7, liitteen 1 taulukosta 7 saadaan tarvittavat resistanssin ja reaktanssin arvot. Laskussa tarvittavan $\sin\varphi$ on 0,44.

$$\sin(\cos^{-1} 0,9) = 0,44$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= I * l \sqrt{3} * (r * \cos\varphi + x * \sin\varphi) \\ &\rightarrow 44,3 A * 0,025 \text{ km} * \sqrt{3} * (1,81 * 0,9 + 0,094 * 0,44) \\ &= 3,20 V \end{aligned}$$

Jännitteenalenemasta saadaan suhteellinen jännitteenalenema kaavalla 8.

$$u[\%] = \frac{\Delta U}{U_N} * 100\% \rightarrow \frac{3,20 V}{400 V} * 100\% = 0,80\%$$

Suhteellinen jännitteenalenema on alle 4 %, joten sen osalta kaapelin valinta on kunnossa.

Seuraavaksi määritellään ohjauskeskuksen näennäisteho ja sitä suojaavan sulakkeen koko. Kaavalla 9 lasketaan yhden laitteen näennäisteho.

$$S = \frac{P}{\cos\varphi}$$

$$\text{Laitte 1: } \frac{27000 \text{ W}}{0,9} = 30000 \text{ VA}$$

$$\text{Muu kuorma: } \frac{15000 \text{ W}}{0,85} = 17650 \text{ VA}$$

Jotta noudatetaan hyviä suunnittelutapoja, lisätään laitteen ja muun kuorman päälle 30 % laajennusvaraa. Lasketaan kaikki yhteen ja saadaan ohjauskeskuksen koko näennäisteho.

$$S_{\text{kaikki}} = (30000 \text{ VA} + 17650 \text{ VA}) * 1,3 \approx 62000 \text{ VA}$$

Kaavalla 10 saadaan ohjauskeskuksen nimellisvirta määritettyä.

$$I_{\text{nim}} = \frac{S_{\text{kaikki}}}{\sqrt{3} * U_P}$$

$$\frac{62000 \text{ VA}}{\sqrt{3} * 400 \text{ V}} = 89,5 \text{ A}$$

Nimellisvirran perusteella valitaan ohjauskeskusta suojaamaan 100 A gG-kahvasulake.

Seuraavaksi valitaan ohjauskeskusta syöttävä kaapeli. Koska keskusta suojaa 100 A gG-sulake, valitaan liitteen 1 taulukosta 1 johdon vähimmäiskuormitusvirraksi 110 A. Maa-aines on puolikuiva sora, joten liitteen 1 taulukosta 4 saadaan korjauskertoimeksi 0,92. Liitteen 1 taulukosta 5 nähdään, että kun maan lämpötila on +15 °C, olisi korjauskerroin 1,00, joten se ei vaikuta kaapelin kuormitettavuuteen. Saadut korjauskertoimet kerrotaan yhteen ja niiden tulolla jaetaan 110 A, joten kaapelin on kestävä 119,6 A:n virta, jotta 100 A:n sulake suojaa sitä tehokkaasti. Taulukosta 1 valitaan asennustapaa vastaavasta sarakkeesta lähin vähintään yhtä suuri kuormitusvirta ja sen perusteella johtimen poikkipinta.

$$100 \text{ A} \rightarrow 110 \text{ A} \rightarrow \frac{110 \text{ A}}{0,92} = 119,6 \text{ A}$$

$$\text{Alumiini: } 119,6 A \rightarrow 125 A \rightarrow 35 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kupari : } 119,6 A \rightarrow 130 A \rightarrow 25 \text{ mm}^2$$

Koska välimatka ei ole kovin pitkä, niin valitaan syöttökaapeliksi MCMK 4x25+16.

Seuraavaksi tarkistetaan ohjauskeskuksen ja laitteen suojeien selektiivisyys kaavalla 11.

$$x_1 \geq 1,6 * x_2$$

$$100 A \geq 1,6 * 50 A \rightarrow 100 A \geq 80 A$$

Suojat ovat keskenään selektiivisiä.

Seuraavaksi tarkistetaan syötön nopean poiskytkennän ehtojen toteutumisen. Pääkeskuksen impedanssi saadaan kaavalla 13.

$$Z_{kv} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * I_{kv}}$$

$$\frac{0,95 * 400 V}{\sqrt{3} * 2450 A} = 0,089 \Omega$$

Lasketaan ohjauskeskusta syöttävän kaapelin impedanssi kaavalla 15, tarvittavat arvot saadaan liitteen 1 taulukosta 10.

$$Z_k = l * (Z_L + Z_{PE})$$

$$0,045 \text{ km} * (0,902 + 1,418) = 0,104 \Omega$$

Ohjauskeskuksella oleva impedanssi saadaan kaavalla 14.

$$Z_{vOK} = Z_{kv} + Z_k$$

$$0,089 \Omega + 0,104 \Omega = 0,193 \Omega$$

Lasketaan ohjauskeskuksen I_k arvo kaavalla 16 ja varmistetaan, että se on suurempi kuin ohjauskeskusta suojaavan sulakkeen pienin toimintarajavirta, joka saadaan liitteen 1 taulukosta 8.

$$I_{kRK} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * Z_{vRK}}$$

$$\frac{0,95 * 400 \text{ V}}{\sqrt{3} * 0,193 \Omega} = 1137 \text{ A}$$

$$1137 \text{ A} > 1000 \text{ A}$$

Ohjauskeskusta suojaava sulake toimii alle 0,4 s jos oikosulku tapahtuu pää- ja ohjauskeskuksen välissä.

Seuraavaksi lasketaan laitetta syöttävän kaapelin impedanssi ja lisätään se ohjauskeskuksen impedanssiin.

$$0,025 \text{ km} * (2,244 + 2,244) = 0,112 \Omega$$

$$0,193 \Omega + 0,112 \Omega = 0,305 \Omega$$

Nyt voidaan kaavalla 12 laskea laitteella olevan oikosulkuvirran arvo, jonka pitää olla suurempi kuin liitteen 1 taulukosta 9 saatava sulakkeen pienin toimintavirta.

$$I_k = \frac{c * U}{\sqrt{3} * Z}$$

$$\frac{0,95 * 400 \text{ V}}{\sqrt{3} * 0,305 \Omega} = 719 \text{ A}$$

$$719 \text{ A} > 500 \text{ A}$$

Suojaus ehdot täyttyvät.

LIITE 3. Esimerkkilasku ohjelmalla

Lasketaan Johdon suojaus ja mitoitus -ohjelmalla liitteen 3 mukainen esimerkkilasku.

Ryhmälähdön lähtöarvot

Ryhmälähdön teho (P) watteina W
 Ryhmälähdön Cosφ -arvo

Vahvista syötetyt arvot

Ryhmälähdön virta (I) A
 Laske virta-arvot

Huom! Symmetrisen kuorman virta.

<- Palaa aloitussivulle

Siirry lasketatapaan A ->
 Siirry lasketatapaan C ->
 Siirry lasketatapaan D ->
 Siirry lasketatapaan E ->

Kenttiin syötetään ryhmälähdön teho sekä $\cos\phi$, ohjelma kertoo ryhmälähdön virran.

Asennustapa E, ilma-asennus

Etäisyys tasoon vähintään 0,3x kaapelin halkaisija.

Ryhmälähdön virta: A
 Kopioi lähtöarvot

Suosittelava sulakekoko: A
 Laske sulakekoko

Asennustapa

Rei'ittämättömät kaapelihyllyt

Rei'itetty kaapelihyllyt

Pystysuorat rei'itetty kaapelihyllyt

Kaapelitikkaat, kannattimet jne.

Vierekkäin

Erillään

Vierekkäin

Erillään

Vierekkäin

Erillään

Vierekkäin

Erillään

Kaapeleiden lukumäärä						
Hyllyjen lukumäärä	1	2	3	4	6	9
1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Vahvista valinnat

Laske kaapelinkoko

Cu 4x10+10 tai 3x10+10
 Al 4x16+10 tai 3x16+10

<- Palaa lähtöarvoihin

Siirry laskemaan jännitteen alenema ->

Kopioidaan ryhmälähdön virta edelliseltä välilehdeltä ja ohjelma laskee suositeltavan sulakekoon. Tehdään asennustavan mukaiset valinnat ja ohjelma ehdottaa annettujen arvojen mukaisia kaapeleita, kaapeleiden edessä oleva ”täppä” siirretään halutun kaapelin eteen.

Jännitteenalenema

Valittu kaapeli: **Kopioi kaapelin tiedot**

Materiaali Al/Cu:

Kaapelin pituus: m

Jännitteen alenema

Voltteina:	3,20 V
Prosentteina:	0,80 %

Kopioidaan kaapelin tiedot ja syötetään kaapelin arvioitu pituus. Ohjelma laskee jännitteenaleneman voltteina ja ilmoittaa suhteellisen jännitteenaleneman.

Keskuksen tiedot

Keskuksen VA-arvo, virta ja sulake

Laite1:	<input type="text" value="27000"/> W	cosφ:	<input type="text" value="0,9"/>
Laite2:	<input type="text" value="15000"/> W	cosφ:	<input type="text" value="0,85"/>
Laite3:	<input type="text" value="1"/> W	cosφ:	<input type="text" value="1"/>
Laite4:	<input type="text" value="1"/> W	cosφ:	<input type="text" value="1"/>
Laite5:	<input type="text" value="1"/> W	cosφ:	<input type="text" value="1"/>

Laitteiden VA -arvot

Laite1:	<input type="text" value="30000"/> VA
Laite2:	<input type="text" value="17647,06"/> VA
Laite3:	<input type="text" value="1"/> VA
Laite4:	<input type="text" value="1"/> VA
Laite5:	<input type="text" value="1"/> VA
yhteensä:	<input type="text" value="47650,06"/> VA

Vara: %

Keskuksen VA:

VA

Keskuksen virta:

A

Suosittelava etusulake:

A

Syötetään kaikkien keskuksista lähtevien ryhmälähtöjen tehot ja $\cos\phi$ – arvot, ohjelma ilmoittaa jokaisen laitteen näennäistehon erikseen sekä yhteensä. Syötetään montako prosenttia halutaan jättää keskukseseen varaa, ohjelma laskee näennäistehon, nimellisvirran ja etusulakkeen koon.

Selektiivisyys

Keskuksen pääsulake: 100 A

Kopioi keskuksen sulakkeen arvo

Huom! Selektiivisyys ehdot toteutuvat kun
Kahvasulake - automaattisulake
Kahvasulake - tulppasulake

Selektiivisyys ehdot eivät täyty kun
Automaattisulake - automaattisulake

Laitteen sulake: 50 A

Kopioi sulakkeen arvo:

Tavasta A Tavasta C

Tavasta D Tavasta E

Laske selektiivisyys

Selektiivisyyden arvo: 100 $\geq 1,6^*$ 50 = (80) OK!

<- Palaa keskuksen arvoihin Siirry laskemaan suojaus ehdot ->

Kopioidaan keskuksen sekä laitteen sulakkeiden koot ja ohjelma laskee toteutuuko sulakkeiden selektiivisyys.

Jotta voidaan tarkistaa suojaus ehtojen täyttyminen, joudutaan ensin palaamaan ohjauskeskuksen syöttökaapelin määrittämiseen, sillä sen tietoja tarvitaan syötön nopean poiskytkennän toteutumisen tarkastelussa.

Asennustapa D, maa-asennus

Suoraan maahan tai maahan asennettuun putkeen.

Ryhmälähdön virta: A

Suosittelava sulakekoko: A

Maa-aines:

<input type="radio"/>	Kosteaa savi ja hiekka (0,7 Km/W)
<input type="radio"/>	Puolikuiva savi ja kostea sora (1,0 Km/W)
<input checked="" type="radio"/>	Puolikuiva sora, suomuta ja hiekka, kosteus 10% (1,2 Km/W)
<input type="radio"/>	Kuiva sora ja savi (1,5 Km/W)
<input type="radio"/>	(2,0 Km/W)
<input type="radio"/>	(2,5 Km/W)
<input type="radio"/>	Kuiva hiekka, kosteus 0% (3,0 Km/W)

Maan lämpötila: °C

Suosittavat kaapelikoot:

<input checked="" type="radio"/>	Cu	4x25+16 tai 3x25+16
<input type="radio"/>	Al	4x35+16 tai 3x35+16

Syötetään keskuksen nimellisvirta "Ryhmälähdön virta" -kenttään ja ohjelma laskee sulakekoon. Syötetään kaapelin asennussyvyys sekä maan lämpötila ja valitaan maa-aines. Ohjelma ehdottaa annettujen arvojen mukaisia kaapeleita.

Suojaus ehdot

Pääkeskus

Ohjauskeskus

Laite

Pääkeskuksen
Ik-arvo: A

Kaapeli:
materiaali: Cu
 Al
koko: mm²
pituus: m

Ohjauskeskuksen
Ik-arvo: A

Kaapeli:
materiaali: Cu
 Al
koko: mm²
pituus: m

Sulake: A

Sulakkeen tyyppi:
 B-tyyppi 0,4s ja 5,0s
 C-tyyppi 0,4s ja 5,0s
 gG-sulake 0,4s

Laitteen Ik-arvo > Sulakkeen pienin toimintavirta

Suojaus ehdot täyttyvät

Syötetään pääkeskuksen I_k -arvo sekä ohjauskeskusta syöttävän kaapelin johdinmateriaali, -poikkipinta sekä arvioitu kaapelin pituus, ohjelma laskee ohjauskeskuksen I_k -arvon. Syötetään työstölaitetta syöttävän kaapelin sekä sitä suojaavan sulakkeen tiedot ja ohjelma laskee täyttyvätkö suojausehdot.

Yhteenveto

Pääkeskuksen etusulake:	100 A	<input type="button" value="Tee yhteenveto"/>
virta:	89,41002 A	
VA-arvo:	61945,08 VA	
Ryhmälähdön teho:	27000 W	
cosφ:	0,9	
virta:	43,3 A	
sulake:	50 A	
Selektiivisyys	OK!	
Kaapelin materiaali:	Cu	
koko:	4x10+10 tai 3x10+10	
pituus:	25 m	
Jännitteen alenema:	3,20 V	
	0,80 %	
Suojaus ehdot:	Sulakkeen pienin toimintavirta	
	719,32 > 500	
	Suojaus ehdot täyttyvät	
<input type="button" value="← Palaa suojaus ehtoihin"/>		
<input type="button" value="← Palaa aloitussivulle"/>		

Yhteenvetosivulle saadaan kerättyä kaikki lasketut tiedot, josta ne on helpompi dokumentoida.