

JOHTIMIEN MITOITUS

Opetusmateriaali sähkö- ja automaatioalan perustutkintoon



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus

Syksy 2021

Terja Ahoranta

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus

Tekijä Terja Ahoranta

Työn nimi Johtimien mitoitus: Opetusmateriaali sähkö- ja automaatioalan perustutkintoon

Ohjaaja Timo Viitala

Tiivistelmä

Vuosi 2021

Tämän opinnäytetyön aiheena oli johtimien mitoitus opetusmateriaalina sähkö- ja automaatioalan perusopintoihin. Opiskelijat, joiden opetukseen materiaali laadittiin, opiskelevat sähköalan perustutkintoa ja tutkinnon nimike on sähköasentaja. Tätä opetusmateriaalia tulevat käyttämään Tampereen Aikuiskoulutuskeskus TAKK:n sähkötekniikan kouluttajat ja opettajat opetustyössään. Tämä opinnäytetyö laadittiin raportiksi varsinaisesta opetusmateriaalista, joka tehtiin PowerPoint-esitys muotoon opetustilanteisiin.

Työ käsitteli sähkölaitteistojen oikosulkuvirtojen mitoitusta, järjestelmien suojausmenetelmiä sekä asennuksessa käytettävien johtimien ja kaapeleiden poikkipintojen ja pituuksien mitoitusta. Koska kyseessä on ammatillisen perustutkinnon opetusmateriaali, ei johtimien mitoituksessaakaan vaadittu syventävää matemaattista osaamista. Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin myös SFS 6000 -standardisarjan kuormitustaulukoiden käyttöä johtimien mitoituksessa.

Sähköturvallisuudesta oli saatavilla runsaasti materiaalia ja tässäkin opinnäytetyössä aineistona käytettiin useita alan oppaita, käsikirjoja ja standardeja. Aineisto oli sekä painetussa että sähköisessä muodossa. SFS standardit haettiin pääsääntöisesti SFS online-palvelusta, joka on SFS standardien oma tietokantapalvelu. ST-kortisto sekä mm. D1-käsikirja löytyivät Sähköinfo Severi-palvelusta ja Sähköturvallisuuslaki ja -asetukset Finlex-palvelusta.

Avainsanat Sähköstandardit, oikosulkusuojaus, ylikuormitussuojaus

Sivut 35 sivua ja liitteitä 3 sivua

Electrical and Automation Engineering

Author Terja Ahoranta

Subject Conductor sizing: educational material for basic degree in electrical and automation engineering

Supervisors Timo Viitala

Abstract

Year 2021

This thesis is part of the teaching material that has been compiled for the basic degree in Electrical and Automation engineering at the Tampere Adult Education Centre (TAKK) on the topic conductor sizing. Students for whom the teaching material is aimed at, will be studying for an undergraduate degree in Electrical engineering and the degree title is Electrician. This teaching material will be used by TAKK's Electrical Engineering educators and teachers in their teaching.

The thesis is about dimensioning of short-circuit currents in electrical equipment, system protection methods and the dimensioning of cross-sections and lengths of wires and cables used in installation. As this is the teaching material for a vocational undergraduate degree, no in-depth mathematical knowledge is required.

Since there is plenty of material available on electrical safety, several industry guides, manuals, and standards have been used as material in this final project. The material has been in both print and electronic form. SFS standards are, as a rule, sought from the SFS online service, ST-card index and e.g., the D1 manual is found on the Sähköinfo Severi service. The Finnish law for the Electrical safety and the Finnish Government regulations are found in Finlex online service.

Keywords Electrical standards, short-circuit protection, overload protection

Pages 35 pages and appendices 3 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Mitoituksessa huomioitavat tekijät.....	2
2.1	Kaapelien ja johtimien valintaan vaikuttavia tekijöitä.....	2
2.2	Erilaisia suojausmenetelmiä	3
3	Ylikuormitussuojaus johdonsuojakatkaisijoilla ja varokkeilla	4
4	Nollajohtimen mitoitusperiaatteet	7
5	Oikosulkuvirran laskeminen	8
5.1	Automaattisen poiskytkennän laskeminen	9
5.2	Laskennan vaiheet VDE –likiarvomenetelmällä.....	11
5.3	Ryhmäjohton pituus	13
5.3.1	Laskuesimerkki 1	14
5.3.2	Laskuesimerkki 2	17
5.3.3	Laskuesimerkki 3	19
6	Johdon mitoitus kuormitustaulukoiden avulla.....	20
6.1	Johdinpoikkipinnan määrittäminen	21
6.2	Suojalaitteen mitoittaminen johdolle.....	22
6.2.1	Laskuesimerkki 4	22
6.2.2	Laskuesimerkki 5	28
7	Lopuksi.....	33
	Lähteet.....	34
	Kuva 1. Pienimmät toimintavirrat B- ja C-tyyppin johdonsuojakatkaisijoille.....	5
	Kuva 2. Pienimmät toimintavirrat D- ja K-tyyppin johdonsuojakatkaisijoille.....	6
	Kuva 3. gG-sulakkeiden edellyttämät pienimmät oikosulkuvirrat.	7
	Kuva 4. Vaaditut poiskytkentäajat erilaisille virtapiireille.	11
	Kuva 5. Kaapeleiden likimääräisiä impedansseja (Ω/km)..	13
	Kuva 6. Esimerkki vikasuojausehtojen toteutumisen tarkastamisesta.	15
	Kuva 7. Laskuesimerkki 2: Rivitaloyhtiö.	18
	Kuva 8. Referenssiasennustavat.....	24

Kuva 9. Taulukko B 52.10 Kuormitettavuus ampeereina Taulukon 52.1 asennustavoilla E, F ja G.....	25
Kuva 10. Vapaasti ilmassa olevien kaapelien korjauskertoimet.	26
Kuva 11. Osa B.52.20-taulukkoa. Korjauskertoimet usean monijohdinkaapelin ryhmille verrattuna yhden monijohdinkaapelin asennukseen kuormitettavuuteen vapaasti ilmassa, asennustapa E.....	27
Kuva 12. Johtimien kuormitettavuuden minimiarvot gG-sulakkeen nimellisvirroilla.....	29
Kuva 13. Maan lämpöresistiivisyyden arvoja.	30
Kuva 14. Korjauskertoimet maan lämpöresistiivisyyden arvoille.	30
Kuva 15. Maan lämpötilan korjauskertoimet.....	31
Kuva 16. Korjauskertoimet useammalle kuin yhdelle ryhmälle suoraan maahan.....	31
Kuva 17. Kuormitettavuus ampeereina.....	32
Kaava 1. Yksivaiheinen oikosulkuvirta.....	9
Kaava 2. Johdon sallittu maksimipituus.	14
Kaava 3. Tehon laskentakaava.....	21
Kaava 4. Kaapelin maksimikuormitettavuus	27

Liitteet

Liite 1 Kolmivaihevirratt

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön pohjalta luodaan opetusmateriaali opetustilanteisiin, jotka ovat valmisteltu sähkö- ja automaatioalan perusopintojen sähköturvallisuuden osioon. Johtimien ja suojalaitteiden oikeanlainen mitoitus on tärkeä osa sähköturvallisuutta.

Opinnäytetyön tilaaja, Tampereen Aikuiskoulutuskeskus (TAKK), on aikuisopiskelijoille suunnattu koulutuskeskus. Se tarjoaa ammatillisia perustutkintoja sekä laajempaa lisäkoulutusta, kuten ammatti- ja erikoisammattitutkintoja sekä ammatillista lisä- ja täydennyskoulutusta valmiille ammattilaisille yli 20 ammattialalta. Vuosittain TAKK:ssa opiskelee yli 11 000 aikuista opiskelijaa ja henkilöstöä on n. 230. Koulutuskeskusta hallinnoi Tampereen Aikuiskoulutussäätiö, joka on perustettu 1962. Sähkötekniikan osasto on koulutuskeskuksen vanhimpia osastoja. (Tampereen Aikuiskoulutuskeskus, 2021)

Suomessa sähköasennusten ja -laitteiden turvallisuutta säätelee sähköturvallisuuslaki (1135/2016). Sähköturvallisuuslain 33 §:n mukaan sähköturvallisuusviranomaisen julkaisee luettelon niistä standardeista, joita noudattaen sähkölaitteiston katsotaan täyttävän ko. lain vaatimukset. Sähköturvallisuus-lakia täydentävät Valtioneuvoston asetukset, jotka löytyvät samalta Finlexin sivustolta kuin Sähköturvallisuuslakikin. (Finlex, 2021)

Lakia ja asetuksia tarkennetaan erilaisten standardien avulla. Suomessa sähköstandardeista vastaa Suomen standardisoimisliitto ry SFS. Johtimien mitoitusta säädellään sähkö- ja elektroniikka-alan standardointijärjestö SESKO ry:n standardointikomitea SK 64:n valmistelemassa standardisarjassa SFS 6000, joka käsittelee pienjännitesähköasennuksia. Standardisarja koskee sähköasennuksia, joiden nimellisjännite on korkeintaan 1000 V vaihtojännitettä tai 1500 V tasajännitettä (SFS 6000 -standardisarja/2017).

Muita sähköasennuksia koskevia ohjeita löytyy mm. ST-kortistosta sekä laitevalmistajien asennusohjeista. ST-kortisto on Sähkötieto ry:n ylläpitämä kokonaisuus, joka koostuu ST-korteista, -käsikirjoista, -ohjeistoista, -esimerkeistä ja -raporteista alan ammattilaisille. (Sähkötieto ry, 2021)

2 Mitoituksessa huomioitavat tekijät

Jokainen sähkölaitteisto tarvitsee SFS 6000 luvun 131 mukaan vikasuojauksen.

Suojausheitojen toteutumisen varmistamiseksi tulee vikasuojauksen toimivuus ottaa huomioon ja sähkölaitteistoa suunniteltaessa. Vikasuojaus sisältää johtimen kuormitettavuuden selvittämisen sekä ylivirtasuojien mitoittamisen suunniteltuun järjestelmään. (SFS 6000 -standardisarja/2017)

Mitoittamisessa huomioitavia tekijöitä ovat mm. mitoitusarvot, oikeiden ylikuormitussuojien valinta ja johdon poikkipinta. Johdon poikkipinnan mitoittamisessa otetaan huomioon kaikki äärijohtimet, nollajohdin, suojajohdin sekä potentiaalintausjohtimet. Sähkölaitteiston mitoittamisessa tulee lisäksi huomioida oikosulkusuojauksen toimivuus sekä jännitteenalenema. (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018)

Johdon kuormitettavuus määritellään johdon suurimman sallitun lämpötilan mukaan, eli sen, kuinka paljon johto kestää virrasta aiheutuvaa lämpöä oman rakenteensa, asennustavan, ympäristön lämpötilan sekä muiden lähellä olevien johtimien lämmön mukaan. Johtimille on valmistaja määrittelyt suurimman jatkuvan virran eli lämpötilan keston. Tätä lämpötilaa ei saa ylittää, koska yllilämpötila voi aiheuttaa tulipalon rakenteiden sisällä, johon johto on asennettu. Pitkäkestoinen yllilämpötila myös lyhentää johdon käyttöikää haurastuttaen eristeitä. (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, s. 224)

Johdon kuormitettavuuteen vaikuttavat johdinmateriaali, eristemateriaali, ympäristön lämpötila, asennustapa sekä muiden virtapiirien läheisyys. Johdon kuormitettavuuden määrää sen kyky luovuttaa virran aiheuttama lämpö ympäristöön (SFS 6000 -standardisarja/2017).

2.1 Kaapelien ja johtimien valintaan vaikuttavia tekijöitä

Sähköasennukseen käytettävän kaapelin tai johtimen valintaan vaikuttavat useat seikat. SFS 6000 kohdassa 133.1 esitetään standardi kaapelin rakenteesta. Asennukseen valittavan kaapelin tai johtimen on vastattava ko. standardin vaatimuksia. Rakenne määrittelee mm.

nimellisjännitteen, jonka on oltava sopiva asennettavaan järjestelmään, johtimen poikkipinnan, jonka tulee olla riittävän suuri sekä kaapelin kestävyuden ulkoisten tekijöiden vaikutuksille. Näitä ulkoisia tekijöitä ovat esimerkiksi ympäristön lämpötila, vesi ja vieraat kiinteät aineet, korroosiota tai likaantumista aiheuttavat aineet ja mekaaniset vaikutukset (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, s. 194).

Kaapelien tyyppimerkinnät on määritelty SFS 4680 standardissa nimeltä Voimakaapelit. Voima- ja asennuskaapeleiden tyyppimerkinnät. (SFS 4680/2014). SFS 6000 standardin kohdassa 514 määritellään Suomessa sähköasennuksissa käytettävien johtimien värit sekä niiden merkitseminen.

2.2 Erilaisia suojausmenetelmiä

Pienjännitesähköasennuksissa käytetään SFS 6000 standardisarjan mukaisesti kahden tyyppistä suojausta: Perussuojaus sekä suojaus vikatilanteessa.

Perussuojaus suojaa käyttäjää sähkölaitteen ollessa ehjä ja normaalissa käytössä. Perussuojauksessa käyttäjä on suojattu sähkölaitteen jännitteisen osan suoralta kosketukselta. Tämä on usein toteutettu mm. koteloinnilla, eristämällä jännitteiset osat tai esteiden avulla.

Suojaus vikatilanteessa toteutetaan useimmiten vian nopealla poiskytkennällä. Tämä tapahtuu tavallisimmin syötön automaattisen poiskytkennän avulla. Poiskytkentä taas saadaan aikaiseksi ylivirtasuojalla. Ylivirtasuojaus jaetaan kahteen osaan:

Ylikuormitussuojaus ja oikosulkusuojaus. Ylivirtasuojauksena voi toimia yksi laite kuten sulake, johdonsuojakatkaisija tai katkaisija. (Harsia, 2013)

Ylikuormitussuojan tulee katkaista virta piiristä ennen kuin johtimen lämpötila nousee liiaksi vahingoittaen järjestelmän ja johtimien eristyksiä, jatkoksia tai liitoksia.

Nopean vian poiskytkennän lisäksi vian aikana esiintyvän kosketusjännitteen suuruutta tulee rajoittaa (SFS 6000 -standardisarja/2017). Tämä tapahtuu ns. potentiaalintasauksella.

3 Ylikuormitussuojaus johdonsuojakatkaisijoilla ja varokkeilla

Johdonsuojakatkaisijoiden tehtävä ylikuormitussuojana on suojata kaapeleita niissä kulkevan virran aiheuttamalta liialliselta lämpenemiseltä. Ylikuormitussuojat siis estävät, ettei kaapelin syöttämään ryhmään normaalissa tilanteessa kytketä liian suuritehoista kuormaa. (Harsia, 2013)

Johdonsuojakatkaisijoiden ominaisuudet määriteltiin vuoden 1992 SFS-EN 60898 - julkaisussa. Standardin mukaan johdonsuojakatkaisijoita on kolmen tyyppisiä; B-, C- ja D-tyyppiset. Näiden tyyppien ylikuormitussuojausominaisuudet ovat samanlaiset, mutta oikosulkusuojausominaisuuksiltaan ne ovat erilaisia. Tämän tyyppin johdonsuojakatkaisijoiden terminen toimintarajavirta on 1,45-kertainen suojalaitteen nimellisvirtaan nähden. Tällöin ylikuormitussuoja voitaisiin valita suoraan johdon kuormitettavuuden perusteella. SFS-EN 60898 standardi on kuitenkin kumottu 02.06.2003, eikä uutta standardia johdonsuojakatkaisijoiden ominaisuuksista löytynyt. (SFS-EN 60898/1992)

Samaa menettelytapaa voidaan käyttää myös K-tyyppisen johdonsuojakatkaisijan valinnassa. K-tyyppisellä johdonsuojakatkaisijalla terminen toimintarajavirta on 1,2 kertaa suojalaitteen nimellisvirta, joten se antaa B- ja C-tyyppistä johdonsuojakatkaisijaa paremman suojauksen ylikuormitukselta. K-tyyppisen johdonsuojakatkaisijan nimellisvirta ei kuitenkaan saa olla johdon kuormitettavuutta suurempi.

Standardisarjassa SFS 6000-4-43:2017 määritellään ylikuormitussuojauksen ominaisuuksille kaksi ehtoa, joiden tulee aina täytyä.

Nämä ehdot ovat:

- 1) $I_B \leq I_n \leq I_z$
- 2) $I_2 \leq 1,45 * I_z$

jossa:

- | | |
|-------|--|
| I_B | on piirin suunniteltu virta |
| I_z | on johtimen jatkuva kuormitettavuus (SFS 6000-5-52 luku 523) |
| I_n | on suojalaitteen mitoitusvirta |

I_2 on virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa. Virran I_2 arvo, jolla suojalaite toimii tehokkaasti, on annettu laitestandardissa tai se saadaan valmistajalta.

(SFS 6000 -standardisarja/2017)

D1-käsikirjassa esitetään taulukot johdonsuojakatkaisijoiden toimintavirtojen pienimmille raja-arvoille. Tämän opinnäytetyön

Kuva 1 on esitetty ko. käsikirjan taulukko pienimmät toimintarajavirrat B- ja C-tyyppin johdonsuojakatkaisijoille ja

Kuva 2 on kuva taulukosta pienimmät toimintavirrat D- ja K-tyyppin johdonsuojakatkaisijoille.

(Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018)

Kuva 1. Pienimmät toimintavirrat B- ja C-tyyppin johdonsuojakatkaisijoille (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, s. 93).

Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta	B-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo	C-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
6	30	37,5	60	75
10	50	62,5	100	125
13	65	81,3	130	162,5
16	80	100	160	200
20	100	125	200	250
25	125	156,3	250	312,5
32	160	200	320	400
50	250	312,5	500	625
63	315	393,8	630	787,5
80	400	500	800	1 000
125	625	781,3	1 250	1 562,5

Kuva 2. Pienimmät toimintavirrat D- ja K-tyyppin johdonsuojakatkaisijoille (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, s. 93).

Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta	D-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo	K-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
6	120	150	72	90
10	200	250	120	150
13	260	325	156	195
16	320	400	192	240
20	400	500	240	300
25	500	625	300	375
32	640	800	384	480
50	1 000	1 250	600	750
63	1 260	1 575	756	945
80	1 600	2 000	960	1 200
125	2 500	3 125	1 500	1 875

SFS-EN 60269-1 määrittelee yleiset vaatimukset pienjännitevarokkeille. Yleisimmin kotitalousrakennuksissa käytetyt varokkeet ovat gG-tyyppisiä. Sulakkeen kirjainyhdistelmä muodostuu siten, että ensimmäinen kirjain ilmaisee katkaisualueen ja toinen kirjain osoittaa käyttöluokan. Tässä tapauksessa siis gG tarkoittaa ”yleiskäyttöön tarkoitettua sulaketta, jonka katkaisukyky käsittää koko virta-alueen”. (SFS-EN 60269-1/2008)

D1-käsikirjassa on sivulla 94 esitetty gG-sulakkeiden edellyttämät pienimmät oikosulkuvirrat eli sulakkeiden toimintavirrat taulukkona. Tämä taulukko on esitetty Kuva 3.

Kuva 3. gG-sulakkeiden edellyttämät pienimmät oikosulkuvirrat (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, s. 94).

Pienimmät toimintavirrat gG-sulakkeille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta	gG-sulake 0,4 s	Vaadittu mitattu arvo	gG-sulake 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
2	16	20	9	11,3
4	32	40	18	22,5
6	46,5	58,2	28	35
10	82	102,5	46,5	58,2
16	110	137,5	65	81,3
20	145	181,3	85	106,3
25	180	225	110	137,5
32	270	337,5	150	187,5
35			165	206,3
40			190	237,5
50			250	312,5
63			320	400
80			425	531,3
100			580	725
125			715	893,8
160			950	1187,5
200			1250	1562,5
250			1650	2062,5
315			2200	2750
400			2840	3550
500			3800	4750
630			5100	6375

4 Nollajohtimen mitoitusperiaatteet

SFS 6000 standardisarjan osa 523.6 mukaisesti sähkölaitteiston virtapiirin jännitteisten johtimien poikkipinnan suuruuden määrää piirin kuormitusvirta ja se, kuinka paljon tämä kuormitusvirta lämmittää johtoa. Yksivaiheisissa virtapiireissä nollajohtimen poikkipinnan on oltava vähintään yhtä suuri kuin vaihejohtimen, koska nollajohtimen virta on yhtä suuri vaihevirran kanssa. Myös monivaihepiireissä nollajohtimen on oltava vähintään yhtä suuri kuin vaihejohtimien, jos kuparisten vaihejohtimien poikkipinta on alle 16 mm² tai alumiinisten vaihejohtimien poikkipinta on alle 25 mm².

Kun monivaiheisen piirin kuormitus on symmetrinen, ei piiriin kuuluvaa nollajohdinta tarvitse ottaa laskennoissa huomioon eli neljällä johtimella kolmivaihepiirissä on sama kuormitettavuus kuin kolmella johtimellakin, jos kaikkien vaihejohtimien poikkipinta on sama. Jos kaapelin nollajohtimessa kulkee vaihevirtojen kuormituksen epätasapainon takia virta, tasoittaa tästä virran kulusta seuraava nollajohtimen lämpeneminen vaihejohtimien vähäisempää lämpenemistä. Siksi johtimen koko tulee valita suurimman vaihevirran mukaisesti.

Nollajohdin tulee ottaa mitoituksessa huomioon, jos siinä kulkee virta ilman, että vaihejohtimien virta vastaavasti pienenee. PEN-johdin otetaan laskennoissa huomioon samalla tavalla kuin nollajohdin. Pelkästään suojajohtimena toimivaa johdinta ei oteta laskuihin mukaan. (SFS 6000 -standardisarja/2017)

Johtojen poikkipintojen mitoitusperusteina käytetään kuormitusvirtojen lisäksi johtimeen muodostuvaa lämpötilaa, johon vaikuttaa johtimen materiaalit, kuten johdin- ja eristeaine, ympäristön lämpötila, johtimen asennustapa sekä muiden kuormitettujen johtimien läheisyys. Näistä tekijöistä muodostuvat erilaiset korjauskertoimet kuormitettavuudelle. Näistä korjauskertoimista on SFS 6000 käsikirjassa kattavat taulukot.

Myös jännitteenalenema vaikuttaa mitoitukseen. SFS 6000:ssa on suositeltu, ettei jännitteenalenema olisi suurempi kuin 5 % sähkölaitteiston nimellisjännitteestä ja valaisinkuormissa maksimissaan 3 %. (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, s. 78)

Lisätietoa kolmivaihevirroista on liitteessä 1 (Harsia, 2013).

5 Oikosulkuvirran laskeminen

Oikosulkuvirtaa voidaan joko mitata tai laskea. Kolmivaiheisen oikosulkuvirran laskentamenetelmät on esitelty standardissa SFS-EN 60909-0:2016. Oikosulkuvirtaa laskettaessa voidaan tehdä yksinkertaistuksia. Menetelmän virhe on yleensä noin 10 %. Sitä voidaan kuitenkin käyttää, sillä laskettu oikosulkuvirta on pienempi kuin todellinen oikosulkuvirta. (SFS-EN 60909-0/2016)

Yksivaiheista oikosulkuvirtaa laskettaessa voidaan käyttää alla olevaa D1-käsikirjassa esitettyä kaavaa (Kaava 1).

Kaava 1. Yksivaiheinen oikosulkuvirta.

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

jossa

- I_k on pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta (ampeeria)
- c on kerroin 0,95, joka ottaa huomioon jännitteenaleneman liittimissä, johdoissa, sulakkeissa, kytkimissä jne. (PD CLC/TR 50480/2011)
- U on pääjännite (volttia)
- Z on virtapiirin kokonaisimpedanssi (Ω), joka muodostuu
- jakelumuuntajaa edeltävän verkon impedanssista
 - muuntajan impedanssista
 - muuntajan jälkeisten johtimien impedanssista.

(Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, s. 95 kaava 4.6)

5.1 Automaattisen poiskytkennän laskeminen

Automaattinen poiskytkentä on käytössä suojaustapana nykyään lähes kaikissa asennuksissa. Suojalaitteiden oikean mitoittamisen lisäksi myös vikavirtapiirin muut osat tulee mitoittaa oikein. Oikein mitoitettu suojajohdin kestää oikosulkuvirran aiheuttaman lämpenemisen siihen asti, kunnes suojalaite toimii.

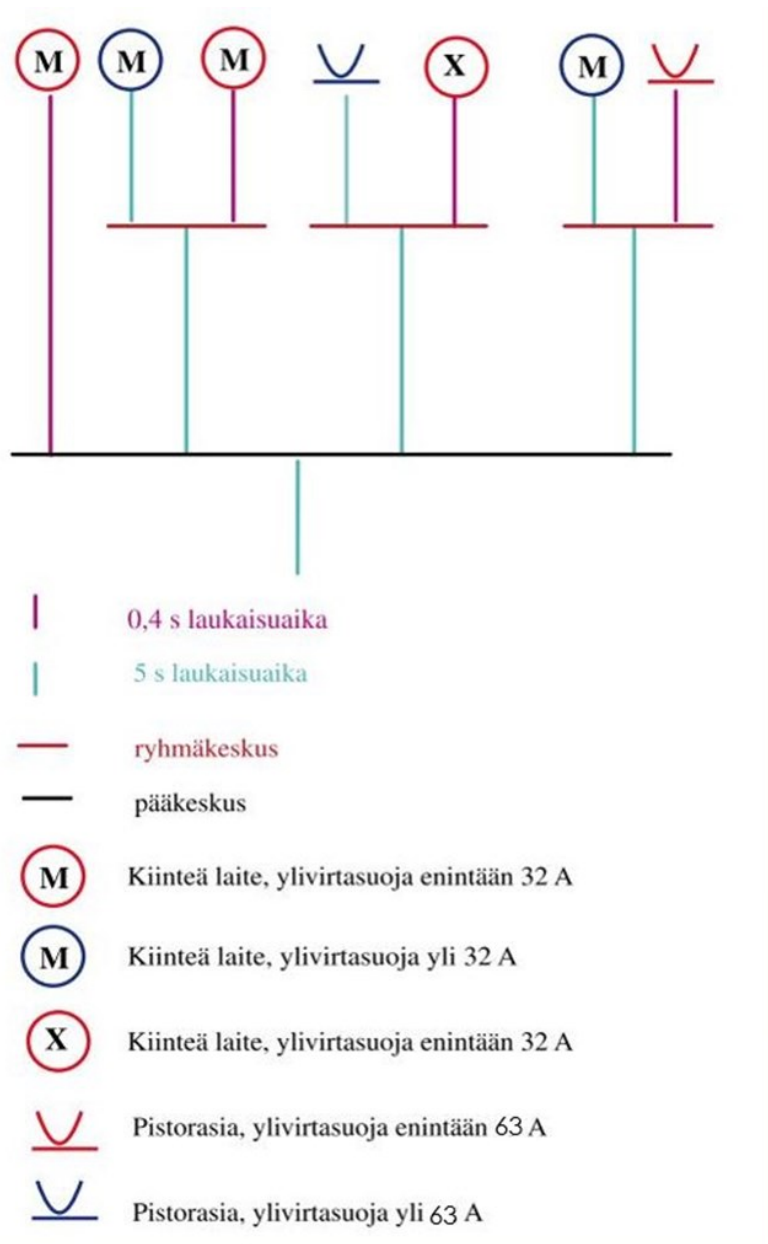
Automaattisen poiskytkennän laskennallisessa tarkastelussa tulee määrittää oikosulkuvirta vaihe- ja suojamaadoitusjohtimen välillä tapahtuvassa pieni-impedanssisessa oikosulussa. Mitoituksessa suunnittelun lähtötiedoksi on jakeluverkkoyhtiöltä selvitettävä verkon rakenne sekä pienin oikosulkuvirta liittymän luona. SFS 6000 -standardisarjan kohdassa 132.1 määritetään, että automaattisen poiskytkennän toimiminen on varmistettava jo verkon suunnitteluvaiheessa virtapiiriä mitoittaessa. Lisäksi suojauksen toiminta mitataan laitteiston käyttöönottotarkastuksessa. Laskennassa voidaan käyttää VDE:n

likiarvomenetelmää, jossa vikavirtapiirin impedanssit lasketaan aritmeettisesti yhteen. Tätä laskentatapaa ei voida käyttää muiden oikosulkuvirtojen määrittämiseen, koska saatu virta on todellisuutta pienempi.

Automaattisen poiskytkennän lisäksi SFS 6000 -standardisarja velvoittaa kohdassa 411.3.3 sekä velvoittavassa liitteessä 41X ”Lisävaatimukset pistorasioille ja ulkona käytettävien siirrettävien laitteiden syötölle”, että todennäköisesti maallikkojen käytössä olevat, mitoitusvirraltaan enintään 32 A:n vaihtosähköpistorasiat on lisäsuojattava mitoitusvirraltaan enintään 30 mA vikavirtasuojalla (SFS 6000 -standardisarja/2017).

SFS 6000 taulukossa 41.1 esitetään automaattisen poiskytkennän suurimmat sallitut ajat. Kohdassa 411.3.2.3 todetaan, että maksimissaan 5 s poiskytkentäaika on sallittu ainoastaan pääjohdoille ja piireille, joiden suojalaitteiden mitoitusvirta ei ylitä yhtä tai useampaa pistorasiaa syöttäessä 63 A tai yli 32 A syötettäessä kiinteästi asennettuja sähkölaitteita. (SFS 6000 -standardisarja/2017) Kuva 4 on havainnollistettu vaadittuja poiskytkentäaikoja erilaisille virtapiireille.

Kuva 4. Vaaditut poiskytkentäajat erilaisille virtapiireille (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, s. 92).



5.2 Laskennan vaiheet VDE –likiarvomenetelmällä

Lyhenne VDE tulee sanoista Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik. VDE on yksi Euroopan suurimmista teknologia-alan organisaatioista. Se mm. testaa, sertifioi ja standardisoi sähkölaitteistoja maailmanlaajuisesti. (VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitut GmbH, 2021). VDE muodostaa yhdessä saksalaisen standardointi-instituutin DIN:n (Deutsches Institut für Normung) kanssa DKE:n, joka on Saksan kansallinen sähkö-,

elektroniikka- ja tietotekniikkaorganisaatio ja vastaa standardien luomisesta ja ylläpidosta ko. aloilla (DKE German Commission for Electrical, Electronic & Information Technologies of DIN and VDE, 2021).

VDE-liikiarvomenetelmä automaattiseen poiskytkennän laskemiseen sisältää kolme vaihetta. Ensimmäisenä lasketaan syöttävän verkon oikosulkuvirtaa rajoittava impedanssi sähköverkkoyhtiöltä saadun verkon oikosulkuvirran I_k avulla. Oikosulkuvirtaa voidaan arvioida myös liittymän pääsulakkeiden mukaan, jos tarkkaa oikosulkuvirtatietoa ei ole saatavilla. Liittymän oikosulkuvirta tulee olla niin suuri, että pääsulakkeet toimivat alle 5 s:ssä, mikäli heti niiden jälkeen tapahtuu yksivaiheinen oikosulku (L-PE). (Tampereen ammattikorkeakoulu, 2021)

Kuten jo aiemmin, kohdassa 5, on todettu, kertoimen c arvona voidaan käyttää arvoa $c = 1 \dots 0,95$ liittymän pääkeskuksella ja muualla kiinteistön verkossa $c = 0,95 \dots 0,9$ (PD CLC/TR 50480/2011).

Seuraavassa vaiheessa lasketaan koko kiinteistön sähköverkon pääjohdot vaiheittain. Lasketaan oikosulkuvirrat jakokeskuksille ja tarkistetaan, toimivatko pääjohtoja suojaavat suojalaitteet riittävän nopeasti. Vikavirtapiirin impedanssi saadaan lisäämällä pääkeskuksella olleeseen vikavirtapiirin impedanssiin pääjohdon vaihe- ja suojajohtimen impedanssi. Tarkemmat impedanssiarvot saa kaapelivalmistajien tiedoista. (Tampereen ammattikorkeakoulu, 2021)

Kaapeleiden likimääräiset impedanssit ovat esitettyinä D1-käsikirjan sivulla 96 olevassa taulukossa. Impedanssit esitetään 80 °C lämpötilassa, koska vikatilanteessa johtojen lämpötila nousee ja näin laskettuna arvo on oikea. Taulukko on esitetty Kuva 5.

Kuva 5. Kaapeleiden likimääräisiä impedansseja (Ω/km). (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, s. 96).

Johtimien poikkipinta A/mm^2	Kupari			Alumiini		
	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z
4 × 1,5	14,620	0,115	14,620			
4 × 2,5	8,770	0,110	8,770			
4 × 4	5,480	0,107	5,480			
4 × 6	3,660	0,100	3,660			
4 × 10	2,244	0,094	2,246			
4 × 16	1,415	0,090	1,418	2,324	0,090	2,326
4 × 25	0,898	0,086	0,902	1,489	0,086	1,492
4 × 35	0,652	0,083	0,657	1,086	0,083	1,089
4 × 50	0,482	0,083	0,489	0,796	0,083	0,800
4 × 70	0,336	0,082	0,346	0,551	0,082	0,557
4 × 95	0,244	0,082	0,257	0,398	0,082	0,406
4 × 120	0,195	0,080	0,211	0,316	0,080	0,326
4 × 150	0,155	0,080	0,174	0,258	0,080	0,270
4 × 185	0,125	0,080	0,148	0,207	0,080	0,222
4 × 240	0,095	0,079	0,124	0,162	0,079	0,180
4 × 300	0,078	0,079	0,111	0,133	0,079	0,155

Kolmannessa vaiheessa lasketaan jokaisen keskuksen pisimmän ryhmän oikosulkuarvo. Näitä laskettuja arvoja sitten verrataan suojalaitteiden toiminta-aikoihin ja jos suojalaite toimii määritellyssä ajassa, on suojaus toimiva. Näin laskettu oikosulkuvirran arvo saa olla suurempi kuin keskuksen virta vain, jos ryhmä johdoissa on sähkölähteitä tai esimerkiksi suuri moottorikuorma. (Tampereen ammattikorkeakoulu, 2021)

5.3 Ryhmäjohdon pituus

Koska eri johdonsuojakatkaisijatyypin oikosulkusuojausominaisuudet poikkeavat toisistaan, tulee automaattisen poiskytkennän toimia valitun johdonsuojatyyppin magneettisen laukaisualan alueella (SFS-EN 60898/1992). Tästä johtuen erityyppisten johdonsuojakatkaisijoiden suojaamissa ryhmissä on eroja siinä, kuinka pitkä ryhmäjohto voi olla, vaikka suojan mitoitusvirta olisikin sama. Johdon maksimipituuden määrittämiseksi

tiedossa on oltava suojalaitetta edeltävän verkon impedanssi tai oikosulkuvirta. Johdon sallitun maksimipituuden laskemiseen voidaan käyttää alla olevaa Kaava 2.

Kaava 2. Johdon sallittu maksimipituus.

$$l = \frac{\frac{c \times U}{\sqrt{3} \times I_k} - Z_v}{2 \times z}$$

jossa

l on johtopituus (km)

c on kerroin 0,95 (PD CLC/TR 50480/2011)

U on pääjännite (V)

I_k on oikosulkuvirta, joka aiheuttaa automaattisen poiskytkennän vaaditussa ajassa

Z_v on impedanssi ennen suojalaitetta

z on suojattavan johtimen impedanssi (Ω/km) taulukosta (Kuva 5)

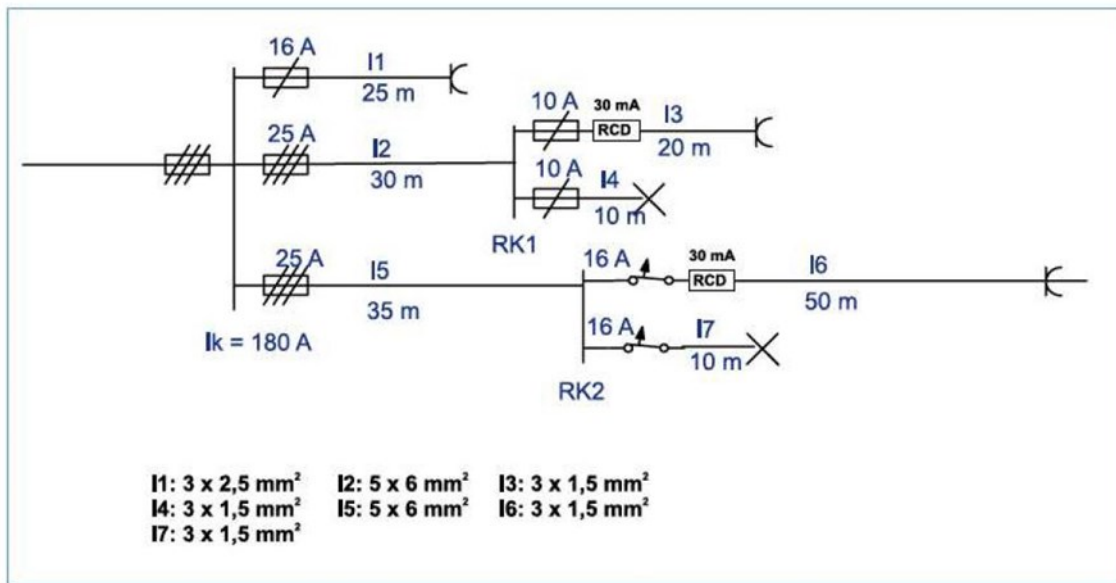
Virhe. Viitteen lähde ei löytynyt.

D1-käsikirjassa on myös esitetty suurimmat johtopituudet eri suojalaitteille ja eri laukaisuajoilla (0,4 s ja 5,0 s) taulukoina (taulukot 41.7–41.10). Taulukoiden laskennassa on käytetty em. laskentatapaa. Taulukoiden laskennan lähtökohtana on, että oikosulkuvirta ennen suojalaitetta on tiedossa. (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, ss. 97-100)

5.3.1 Laskuesimerkki 1

Laskuesimerkki on esitetty D1-käsikirjassa sivuilla 101–103. Esimerkissä kuvataan vikasuojausehtojen toteutumisen tarkistaminen laskemalla. Koska laskuesimerkki tulee opetuskäyttöön sähköalan perustutkinnon opiskelijoille, on alla olevaan esimerkkiin lisätty tekijöitä, kuten kaavoja ja selityksiä, laskun ymmärtämisen tueksi. Kuva 6 on esitetty laskuesimerkin virtapiirit ja kojeisto.

Kuva 6. Esimerkki vikasuojausehtojen toteutumisen tarkastamisesta (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, s. 101).



Pääkeskukselle on esimerkissä annettu virran oikosulkuarvoksi 180 A ($=I_k$). Tästä saadaan laskettua pääkeskuksen impedanssi käyttäen Kaava 1 yksivaiheiselle oikosulkuvirralle.

$$I_k = 180 \text{ A}$$

$$Z_v = (c \cdot U) / (\sqrt{3} \cdot I_k) \Rightarrow (0,95 \cdot 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \cdot 180 \text{ A}) = 1,22 \Omega$$

Seuraavaksi lasketaan ensimmäisen ryhmäkeskuksen (RK1) impedanssiarvo. Tämä saadaan lisäämällä jo laskettuun pääkeskuksen impedanssiin taulukosta (Kuva 5) katsottu likimääräinen impedanssi kerrottuna kahdella (L- ja PE-johtimien impedanssit), joka vielä kerrotaan annetulla johdinpituudella. Tämä pituus on esimerkissä 30 metriä ja muutettuna kilometreiksi 0,030 km.

$$Z_{v1} = Z_v + 2 \cdot z \cdot l_2 \Rightarrow 1,22 \Omega + 2 \cdot 3,66 \Omega/\text{km} \cdot 0,030 \text{ km} = 1,44 \Omega$$

Luku 3,66 Ω/km saadaan D1-Käsikirjan taulukosta 41.6 kaapeleiden likimääräisistä impedansseista johtimen poikkipinnan ollessa ilmoitettu 5 x 6 mm² (Kuva 5). Taulukosta käytetään johtimen poikkipinta 4 x 6 mm² ylempänä tässä asiakirjassa esitetyistä syistä johtuen.

Saadun ryhmäkeskuksen impedanssiarvon perusteella voidaan laskea keskuksen oikosulkuvirta:

$$I_{k1} = (0,95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 1,44 \text{ } \Omega) = 152 \text{ A}$$

Ryhmäkeskus 2 (RK2):n impedanssiarvo saadaan laskemalla samalla periaatteella kuin RK1:

$$Z_{v2} = Z_v + 2 \cdot z \cdot l_s \Rightarrow 1,22 \text{ } \Omega + 2 \cdot 3,66 \text{ } \Omega/\text{km} \cdot 0,035 \text{ km} = 1,48 \text{ } \Omega$$

Tämän jälkeen saadaan laskettua keskuksen oikosulkuvirta:

$$I_{k2} = (0,95 \cdot 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \cdot 1,48 \text{ } \Omega) = 148 \text{ A}$$

Seuraavaksi tarkistetaan poiskytkentäehtojen toteutuminen esimerkin virtapiireissä. Virtapiirien tarkastelu käydään läpi niiden numerojärjestyksessä.

Ensimmäisessä virtapiirissä I_1 on pistorasiaryhmä. Esimerkissä on annettu ryhmän johdin poikkipinnaksi $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ ja se on suojattu 16 A:n gG-sulakkeella, jonka vaadittu laukaisuaika on 0,4 s. Johdon pituudeksi on esimerkissä annettu 25 m.

Virhe. Viitteen lähde ei löytynyt. esitetystä taulukosta saadaan 16 A:n gG-sulakkeen pienimmäksi oikosulkuvirraksi 110 A. Suurin johtopituus saadaan laskettua Kaava 2.

$$l_{\max} = ((0,95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 110 \text{ A}) - 1,22 \text{ } \Omega) / (2 \times 8,77 \text{ } \Omega/\text{km}) = 44 \text{ m}$$

Esimerkissä annettu johdon pituus oli 25 m, joka on vähemmän kuin yllä laskettu suurin johtopituus, eli mitoitus on ok.

Tällä samalla periaatteella lasketaan kaikki esimerkin virtapiirit, joissa suojausmenetelmänä on varoke. Virtapiireissä I_6 ja I_7 suojausmenetelmänä esimerkissä ovat johdonsuojakatkaisijat. I_6 pistorasiaryhmässä on lisäksi 30 mA:n vikavirtasuoja.

Virtapiirin I_6 pistorasiaryhmä on johdotettu $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$ kaapelilla, joka on suojattu 16 A B-tyyppin johdonsuojakatkaisijalla. Vaadittu laukaisuaika piirille on 0,4 s (Kuva 4) ja johdon pituudeksi on annettu 50 m.

Kuva 1 taulukosta saadaan 16 A B-tyyppin johdonsuojakatkaisijalle pienimmäksi oikosulkuvirraksi 80 A. Suurin johtopituus taas saadaan Kaava 2.

$$I_{6\max} = ((0,95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 80 \text{ A}) - 1,48 \Omega) / (2 \times 14,62 \Omega/\text{km}) = 43 \text{ m}$$

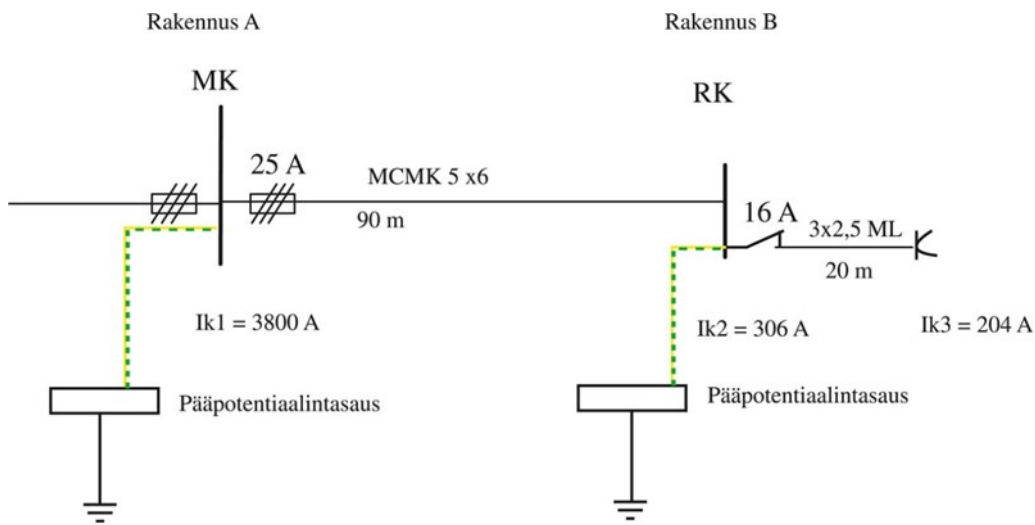
Annettu johdonpituus oli kuitenkin 50 m, joten johto on liian pitkä tälle mitoitukselle ja suojaus ei näin toteudu. Kuitenkin, koska enintään 32 A pistorasia täytyy kuitenkin suojata enintään 30 mA vikavirtasuojalla (Suomen standardisoimisliitto ry SFS, 2017), hoitaa vikavirtasuoja syötön nopean poiskytkennän ja täten piirin toimiva.

5.3.2 Laskuesimerkki 2

D1-käsikirjassa esitetty toinen laskuesimerkki on rivitaloyhtiöstä. Laskuesimerkin lähtötiedoiksi kirjassa ilmoitetaan, että oikosulkuvirta mittarikeskuksella on 3,8 kA. Huoneistojen pääsulakkeet ovat esimerkilaskussa $3 \times 25 \text{ A}$, pisin johto mittarikeskukselta huoneiston ryhmäkeskukseen on 90 m pitkä MCMK $4 \times 6 + 6$ kuparikaapeli ja pisin pistorasiaryhmäjohto on 20 m pitkä $3 \times 2,5 \text{ ML}$ -johto, jossa ylivirtasuojana on 16 A C-tyyppin johdonsuojakatkaisija.

Laskuesimerkin (Kuva 7) tehtävänä on määrittää nopean poiskytkennän toteutuminen pisimmän ryhmäjohton päässä, joka on siis piirin epäedullisin kohta. (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, s. 103)

Kuva 7. Laskuesimerkki 2: Rivitaloyhtiö.



Laskemisessa käytetään Kaava 1, joka siis on $Z_v = (c \cdot U) / (\sqrt{3} \cdot I_k)$.

Ensin lasketaan oikosulkuvirta huoneiston ryhmäkeskuksessa:

$$Z_{k1} = (0,95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 3\,800 \text{ A}) = 0,0577 \, \Omega$$

Seuraavaksi tähän saatuun tulokseen lisätään Kuva 5 taulukosta katsottu likimääräinen impedanssi 6 mm²:n kuparijohtolle kerrottuna kahdella. Lopuksi laskutoimitus kerrotaan vielä johtimen pituudella, joka on esimerkkilaskussa 90 m eli 0,090 km.

$$Z_{k2} = 0,0577 \, \Omega + 2 \times 3,66 \, \Omega/\text{km} \times 0,09 \text{ km} = 0,72 \, \Omega$$

Nyt voidaan laskea oikosulkuarvo ryhmäkeskuksella käyttäen ylempänä laskettua impedanssiarvoa:

$$I_{k2} = (0,95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 0,72 \, \Omega) = 306 \text{ A}$$

Koska kyseessä on nousujohto, niin Kuva 3 mukaan pienin toimintavirta 5 sekunnin laukaisuajalla 25 A gG sulakkeelle on 110 A, joten yllä oleva laskettu oikosulkuvirta on riittävä.

Pistorasiaryhmä oikosulkuvirta lasketaan samalla kuin ylempänä. Ensin määritellään ryhmäkeskuksen impedanssi:

$$Z_{k3} = 0,72 \, \Omega + 2 \times 8,77 \, \Omega/\text{km} \times 0,02 \, \text{km} = 1,07 \, \Omega$$

Luku 8,77 Ω/km saadaan D1-Käsikirjan taulukosta 41.6 kaapeleiden likimääräisistä impedansseista (Kuva 5) johdinpoikkipinnan ollessa ilmoitettu 2,5 mm².

Saatua tulosta hyväksikäyttäen saadaan laskettua ryhmäkeskuksen oikosulkuvirta:

$$I_{k3} = (0,95 \times 400 \, \text{V}) / (\sqrt{3} \times 1,07 \, \Omega) = 204 \, \text{A}$$

Nopean poiskytkennän ehdot toteutuvat pistorasiaryhmässä, koska D1 taulukon 41.4a (

Kuva 1) mukaan 16 A C-tyyppin johdonsuojakatkaisija edellyttää vähintään 160 A oikosulkuvirran toimiakseen 0,4 sekunnissa.

5.3.3 Laskuesimerkki 3

Kolmannessa laskuesimerkissä määritellään kaapelin suurin johtopituus asennuksessa. Lasku on ensikerran julkaistu 21.4.2016 Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukesin hallinnoiman Sähköturvallisuustutkinto 1:n kysymyssarjan toisessa osassa.

Liittymän luona on 300A oikosulkuvirtaa. Miten pitkä voi maahan 70 cm syvyyteen upotettu ryhmäkeskusta syöttävä MCMK 4x6+6 nousujohto poiskytkennän ehtojen toteutumisen kannalta olla, kun sen ylikuormitussuoja on C-tyyppin 25A johdonsuojakatkaisija? Sallitaan 5 s poiskytkentäaika. (Tukes, 2016)

Laskutehtävään käytetään kohdassa 5.3 esitettyä Kaava 2 johdon sallitun maksimipituuden laskemiseen.

Tässä esimerkkilaskussa muuttujat ovat

U on 400 V

I_k on 250 A taulukosta (

Kuva 1)

Z_v saadaan Kaava 1, eli $Z_v = \frac{0,95 \times 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \times 300 \text{ A}}$

z on 3,66 Ω/km (Kuva 5)

$$l = \frac{\frac{0,95 \times 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \times 2500 \text{ A}} - \frac{0,95 \times 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \times 300 \text{ A}}}{2 \times 3,66 \frac{\Omega}{\text{km}}} = (0,879 \Omega - 0,732 \Omega) \div \frac{7,32 \Omega}{\text{km}} = 0,020 \text{ km} = 20 \text{ m}$$

6 Johdon mitoitus kuormitustaulukoiden avulla

Johdon poikkipinnan perusmääritys tehdään ylikuormitussuojauksen perusteella hyödyntäen asennusstandardin kuormitustaulukoita. SFS 6000 standardisarjassa käsitellään johtojen kuormitettavuutta kohdassa 523. Taulukot ovat SFS 6000 standardisarjan liitteessä 52B. (SFS 6000 -standardisarja/2017). Kuormitustaulukot sisältävät kuormituskertoimet mm. kaapelin erilaisille asennustavoille ja -olosuhteille sekä ryhmäasennuksille. Suurimman jatkuvan virran, jolla johdinta voidaan kuormittaa, on oltava sellainen, ettei johto sen asennusolosuhteissa lämpene yli sallitun lämpötilan. (SFS 6000 -standardisarja/2017)

Huomioitavaa on, että PEX- ja EPR-eristeisillä kaapeleilla eristysmateriaali sallii 90 °C pitkäkestoisen lämpötilan. Maahan sijoitettavissa asennuksissa tämä saattaa aiheuttaa ympäröivän maan kuivumista ja lämmönsiirtymisen heikkenemistä. Tämän vuoksi maahan sijoitettavissa asennuksissa käytetään 65 °C johdinlämpötilaa, joka vastaa PVC-eristeisen kaapelin kuormitettavuutta. (Harsia, 2013). Johdon mitoituksessa on kuormitustaulukoiden lisäksi otettava huomioon johdotussuunnitelman taloudellisuus, piirien jännitehäviöt sekä suurin sallittu impedanssi (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, s. 224).

SFS 6000 standardisarjan osio johtimien kuormituksesta pohjautuu kansainväliseen standardiin IEC 60287, jonka mukaan kuormitettavuudet ja korjauskertoimet voidaan myös määrittää. Koska kuormitustaulukot ovat tehty tiettyihin asennusolosuhteisiin, ovat SFS 6000 standardinkin referenssilämpötilat ja lämpöresistiivisyys muuttuneet IEC 60287 standardin mukaisiksi.

Suomessa on kuitenkin IEC 60287 osan 3:1 mukaan käytössä maakohtaiset arvot, jotka voidaan toteuttaa korjauskertoimin (IEC 60287/2020). Tämä tarkoittaa sitä, että ilma-asenteisten kaapeleiden referenssilämpötila on 30 °C, mutta Suomessa käytetty lämpötila on 25 °C. Tällöin käytetään korjauskerrointa 1,06 (SFS 6000-5-52:2017, liite 52B, taulukko B.52.14). Maa-asenteisten kaapeleiden referenssilämpötila on 20 °C ja Suomessa käytetty lämpötila on 15 °C. Tällöin korjauskerroin on 1,05 (SFS 6000-5-52:2017, liite 52B, taulukko B.52.15). Lämpöresistiivisyysarvona käytetään Suomessa arvoa 1,0 K m/W referenssiarvon ollessa IEC 60287 standardin mukaisesti 2,5 K m/W. Korjauskerroin on täten 1,18 putkiin asennetuille kaapeleille ja 1,5 suoraan maahan asennetuille kaapeleille (SFS 6000-5-52:2017, liite 52B, taulukko B.52.16). (Suomen standardisoimisliitto ry SFS, 2017). D1-käsikirjan sivulla 233 on lisäksi esitetty korjauskerrointitulukoita lämpöresistiivisyysarvoille erilaisille maalajeille (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, s. 233).

Kuormitustaulukot alkavat asennustavan valinnalla. Asennustapaa käytetään taulukoitujen kuormitettavuuksien perustana. Taulukoissa on käytössä eri taulukot PVC- tai PEX- ja EPR-eristeisille kaapeleille. Taulukoiden lisäksi tulee johdon mitoitus suunniteltaessa käyttää korjauskerrointitulukoita, jotka ovat myös esitetty SFS 6000-5-52:2017 liitteessä 52B. (SFS 6000 -standardisarja/2017)

6.1 Johdinpoikkipinnan määrittäminen

Johdinpoikkipinta voidaan määrittää laskemalla, jos piirin sähkökojeen tehon tarve on tiedossa. Ensi lasketaan virtapiirin mitoitusvirta (I_B) tehotiedoista käyttäen tehon laskentakaavaa (Kaava 3):

Kaava 3. Tehon laskentakaava.

$$P = U \times I$$

Piirin mitoitusvirran perusteella voidaan määrittää johtoa suojaavan suojalaitteen mitoitusvirta (I_n) esimerkiksi D1-käsikirjassa julkaistuista taulukoista, joissa on esitetty eri suojalaitteiden pienimmät sallitut oikosulkuvirrat (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, ss. 93-

94). Tämän jälkeen voidaan määritellä johdolle vaadittava kuormitettavuus (I_z). Kohdassa 3 Ylikuormitussuojaus johdonsuojakatkaisijoilla ja varokkeilla määriteltiin johdon ylikuormitussuojauksen ominaisuuksille kaksi ehtoa, joista toinen on $I_B \leq I_n \leq I_z$, jonka johdosta johdon kuormitettavuus on oltava suojalaitteen oikosulkuvirtaa suurempi tai vähintään samansuuruinen. On siis selvitettävä laitteiston asennusolosuhteet ja asennustavat ja valittava olosuhteita vastaavat korjauskertoimet. Näin saadaan laskettua virta, joka mitoittaa johdinpoikkipinnan ($I_t = I_z/C$, josta C on taulukoiden korjauskertoimien tulo). Kuormitustaulukoista valitaan sopiva johdinpoikkipinta. (Harsia, 2013)

6.2 Suojalaitteen mitoittaminen johdolle

Joskus tilanne mitoittamisessa on se, että käytössä oleva johdin on joko jo asennettu tai ainakin tiedossa. Tällöin voidaan tarvittava suojalaite mitoittaa saman periaatteen mukaisesti kuin yllä. Mitoitus aloitetaan määrittämällä asennustavat ja asennusolosuhteet käyttäen SFS 6000 -standardisarjan 52B -liitteen taulukoita. Asennustavan ja -olosuhteiden määrittämisen jälkeen valitaan johdinpoikkipintaa vastaava johdon suurin sallittu virta (I_T) saman liitteen kuormitustaulukoista ja valitaan olosuhteita vastaavat korjauskertoimet. Tämän jälkeen kerrotaan virran arvo määritellyillä korjauskertoimilla ($I_z = I_T * C$). Näin saatu virran arvo määrittää johtoa suojaava suojalaitteen mitoitusvirran (I_n) yllä olevan, kohdassa 6.1 Johdinpoikkipinnan määrittäminen, esitetyn ehdon mukaisesti. (Harsia, 2013)

6.2.1 Laskuesimerkki 4

Tehtävänä on mitoittaa MCMK 3x120+70 -kaapelin suurin ylikuormitussuojana sallittu sulake. Esimerkissä kaapelin johtimet ovat PVC eristettyjä ja kaapeli on asennettu pääosin rei'itetylle hyllylle, jossa on 3 muuta samanlaista, toisiaan koskevaa kaapelia. Osa kaapelista on asennettu puuseinälle, pinnalla olevaan putkeen. Koko kaapeli on asennettu teollisuustilaan, jossa ilman lämpötila on 20 °C.

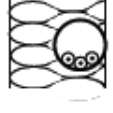
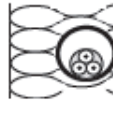



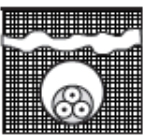
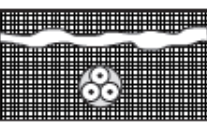

Esimerkkilaskussa on siis 5 vaihetta:

1. Määritellään asennustavat
2. Määritellään SFS 6000 -standardisarjan liitteestä 52Y kaapelin kuormitettavuus ja korjauskertoimet
3. Kerrotaan saatu virta-arvo johtimen kuormitettavuuden korjauskertoimilla
4. Valitaan pienin virta-arvo, koska sulakkeen on toimittava ennen kaapelin maksimivirtaa
5. Valitaan sulake taulukosta

Koska laskuesimerkissä on esitetty kaksi eri asennustapaa kaapelille, valitaan ensin toinen niistä mitoituksen määrittelyyn.

Ensimmäinen asennustapa on rei'itetty hylly. Tätä vastaava asennustapa on esitetty Kuva 8. Taulukosta voidaan todeta, että esimerkkilaskun ensimmäinen asennustapa on E, joka on korostettu kuvaan keltaisella korostuskynällä. Alkuperäinen taulukko löytyy SFS 6000 -standardisarjan liitteen 52B taulukosta B.52.1 (SFS 6000 -standardisarja/2017).

Kuva 8. Referenssiasiennustavat (Suomen standardisoimisliitto ry SFS, 2017).

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

Kuva 8 taulukosta voidaan nähdä, että PVC eristeisen 3 tai 4 johtimisen kuparikaapelin kuormituskertoimiin vaikuttaa myös SFS 6000 -standardisarjan liitteen 52B taulukko B.52.10.

Yllä olevassa kuvassa tämä informaatio on ympyröity punaisella. Liitteen 52B taulukosta B.52.10 määritellään kaapelin kuormitettavuus (I_t) (Kuva 9).

Kuva 9. Taulukko B 52.10 Kuormitettavuus ampeereina Taulukon 52.1 asennustavoilla E, F ja G (SFS 6000 -standardisarja/2017).

Johtimien nimellis- poikkipinta	Taulukon B.52.1 mukaiset asennustavat						
	Monijohdinkaapelit		Yksijohdinkaapelit				
	Kaksi kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta	Kaksi kuormitettua johdinta koskettavat toisiaan	Kolme kuormitettua johdinta komiossa	Kolme kuormitettua johdinta, tasossa		
					Koskettavat toisiaan	Erillään	
						Vaakatasossa	pystytasossa
mm ²	Tapa E	Tapa E	Tapa F	Tapa F	Tapa F	Tapa G	Tapa G
1	2	3	4	5	6	7	8
1,5	22	18,5	-	-	-	-	-
2,5	30	25	-	-	-	-	-
4	40	34	-	-	-	-	-
6	51	43	-	-	-	-	-
10	70	60	-	-	-	-	-
16	94	80	-	-	-	-	-
25	119	101	131	110	114	146	130
35	148	126	162	137	143	181	162
50	180	153	196	167	174	219	197
70	232	196	251	216	225	281	254
95	282	238	304	264	275	341	311
120	328	276	352	308	321	396	362
150	379	319	406	356	372	456	419
185	434	364	463	409	427	521	480
240	514	430	546	485	507	615	569
300	593	497	629	561	587	709	659
400	-	-	754	656	689	852	795
500	-	-	868	749	789	982	920
630	-	-	1 005	855	905	1 138	1 070

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

HUOM. 2 D_e on kaapelin ulkohalkaisija.

Esimerkin kaapeli on PVC eristeinen kuparikaapeli, jonka kuormitettavuus on taulukon mukaan 276 A, koska kuormitettujen johtimen poikkipinta on annettu 120 mm² ja asennustapa määriteltiin yllä olevan E, joten oikea sarake on numero 3. Tähän

taulukkuormittavuuteen vaikuttavat asennuksen olosuhteet, joille etsitään sopivat korjauskertoimet SFS 6000 -standardisarjan liitteistä.

Lämpötilan korjauskerroin löytyy taulukosta B.52.14. Taulukko on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 10). Oikea korjauskerroin löytyy kohdasta 20 °C ja PVC eristys ollen täten 1,12.

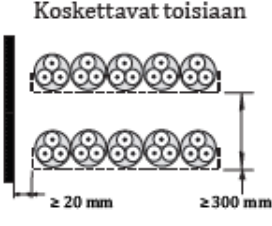
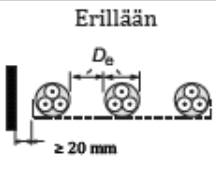
Kuva 10. Vapaasti ilmassa olevien kaapelien korjauskertoimet (SFS 6000 -standardisarja/2017).

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

^a Korkeammilla ympäristön lämpötiloilla sovelletaan valmistajan antamia arvoja.

Toinen korjauskerroin muodostuu taulukosta B52.20 rei'itetyt kaapelihyllyt. Hyllyjen lukumäärä on 1 ja hyllyllä on 4 toisiaan koskettavaa kaapelia, joten korjauskertoimeksi tulee 0,79. Kuva 11 on esitetty tarvittava osa SFS standardin taulukkoa.

Kuva 11. Osa B.52.20-taulukkoa. Korjauskertoimet usean monijohdinkaapelin ryhmille verrattuna yhden monijohdinkaapelin asennukseen kuormitettavuuteen vapaasti ilmassa, asennustapa E (SFS 6000 -standardisarja/2017).

Taulukon A.52.3 mukainen asennustapa		Hyllyjen tai tikkaiden lukumäärä	Hyllyllä tai tikkaalla olevien kaapelien lukumäärä						
			1	2	3	4	6	9	
Rei'itetyt kaapelihyllyt (HUOM. 3)	31	<p>Koskettavat toisiaan</p> 	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
			6	1,00	0,84	0,77	0,73	0,68	0,64
	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	-

Kaapelin maksimikuormitettavuus saadaan tässä tapauksessa Kaava 4.

Kaava 4. Kaapelin maksimikuormitettavuus

$$I_z = I_t \times C \times C$$

jossa

I_t on taulukossa esitetty kuormitettavuus

C on korjauskertoimet, joilla otetaan huomioon asennusolosuhteet

I_z on kaapelin maksimi kuormitettavuus näissä asennusolosuhteissa

eli $276 \text{ A} \times 0,79 \times 1,12 = 244 \text{ A}$

Toinen asennustapa esimerkissä on puuseinällä, eli taulukosta B.52.1 valitaan asennustapa B2. Kaapelin kuormitettavuus luetaan taulukosta B.52.4 sarake 5 PVC eristetty kupari kaapeli, jolloin $I_t = 206 \text{ A}$ (kuormitettujen johtimen poikkipinta on annettu 120 mm^2 , asennustapa B2 => sarake 5). Lämpötilan korjauskerroin löytyy taas taulukosta B.52.14 kohdasta 20 °C ja PVC eristys = 1,12.

Kaapelin maksimikuormitettavuus saadaan tässä tapauksessa samalla, yllä olevalla kaavalla

$$I_z = 206 \text{ A} \times 1,12 = 231 \text{ A}$$

Kaapelia voidaan kuormittaa vain heikoimman tuloksen mukaisesti, eli tässä tapauksessa 231 A (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018). Sulakkeeksi voidaan valita mitoitusvirraltaan (I_n) 200 A:n gG-tyyppin sulake SFS 6000 liitteen 52Y taulukon Y.52.1 mukaisesti. Tällöin toteutuu aiemmin esitelty mitoitusehto $I_B \leq I_n \leq I_z$.

6.2.2 Laskuesimerkki 5

Jakokeskukselta lähtevä, kuivaan hiekkaan (kosteus 0 %) asennettu, AMCMK-tyyppinen kaapeli syöttää hallin ryhmäkeskusta 140 A:n virralla. Mitoita kaapeli ja sitä ylikuormitukselta suojaavat gG-tyyppin sulakkeet, kun maan lämpötila on +10°C ja samassa kaapeliojassa on osan matkaa 2 muuta täyteen kuormitettua maakaapelia 125 mm etäisyydellä toisistaan. Ryhmäkeskuksella syöttö kulkee seinällä pinta-asennuksena, eikä viereisiä virtapiirejä ole. Ilman lämpötila on hallissa +40 °C.

Ensin valitaan sulake 140 A virralle. Valitaan sulakkeeksi seuraava suurempi eli 160 A, silloin SFS 6000 taulukon Y.52.1 mukaan kaapelilta vaaditaan vähintään 177 A kuormitettavuutta. Taulukko on esitetty Kuva 12.

Kuva 12. Johtimien kuormitettavuuden minimiarvot gG-sulakkeen nimellisvirroilla.

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

Ensimmäinen asennustapa on SFS 6000 liitteen 52B, taulukon B.52.1 (Kuva 8. Referenssiasennustavat .Kuva 8) mukaan suoraan maahan asennettujen kaapelien asennustapa on D2. Kuiva hiekka, johon kaapeli on asennettu, vaikuttaa maan lämpöresistiivisyyteen. SFS 6000 ja D1-käsikirjassa on esitetty taulukot maan lämpöresistiivisyytekijöille ja niiden korjauskertoimille. Kuivan hiekan, jonka

kosteusprosentti on 0 % lämpöresistiivisyysarvo on 3,0 Km/W (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018, s. 233 taulukko 52.10). Tämä taulukko on esitetty Kuva 13. SFS 6000 määrittelee taulukossa B.52.16 (Kuva 14) 3,0 Km/W arvolle kuormituskertoimen 0,90, kun kaapeli on asennettu suoraan maahan. Maan lämpötilan korjauskerroin on SFS 6000 taulukossa B.52.15 1,10 (Kuva 15). Ryhmästä johtuva korjauskerroin, kun kaapeliojassa on yhteensä 3 kaapelia 0,125 m etäisyydellä toisistaan, on taulukon B.52.18 mukaan 0,75 (Kuva 16). (SFS 6000 - standardisarja/2017)

Kuva 13. Maan lämpöresistiivisyyden arvoja (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018).

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

Kuva 14. Korjauskertoimet maan lämpöresistiivisyyden arvoille (SFS 6000 - standardisarja/2017).

Lämpöresistiivisyys, K·m/W	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5	3
Korjauskerroin putkiin asennetuille kaapeleille	1,28	1,20	1,18	1,1	1,05	1	0,96
Korjauskerroin suoraan maahan asennetuille kaapeleille	1,88	1,62	1,5	1,28	1,12	1	0,90

Kuva 15. Maan lämpötilan korjauskertoimet (SFS 6000 -standardisarja/2017).

Maan lämpötila °C	Eristys	
	PVC	PEX ja EPR
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
20	1,00	1,00
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	–	0,60
70	–	0,53
75	–	0,46
80	–	0,38








Kuva 16. Korjauskertoimet useammalle kuin yhdelle ryhmälle suoraan maahan (SFS 6000 -standardisarja/2017).

Piirien lukumäärä	Kaapelien välinen etäisyys ^a				
	Nolla (kaapelit kosket- tavat toisiaan)	Yksi kaapelin halkaisija	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80
7	0,45	0,51	0,59	0,67	0,76
8	0,43	0,48	0,57	0,65	0,75
9	0,41	0,46	0,55	0,63	0,74
12	0,36	0,42	0,51	0,59	0,71
16	0,32	0,38	0,47	0,56	0,68
20	0,29	0,35	0,44	0,53	0,66

Kuormitettavuusvaatimus maassa on täten $177 \text{ A} / (0,90 \times 1,10 \times 0,75) = 238 \text{ A}$

Kuva 17 on esitetty osittain SFS 6000 B.52.4 -taulukko, jossa määritellään kuormitettavuus ampeereina PVC-eristeisille kupari- tai alumiinijohtimille tai kolmelle kuormitetulle johtimelle. Johtimien referenssilämpötila taulukossa on $70 \text{ }^\circ\text{C}$, ympäristön lämpötila on $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ilmassa ja $20 \text{ }^\circ\text{C}$ maassa. Kuvasta voidaan katsoa kuormitettavuusvaatimukseen sopiva kaapelin poikkipinta. Kun kaapelin ensimmäinen asennustapa tässä esimerkissä oli D2 ja sen kuormitettavuusvaatimus on 238 A ja koska kaapelin kuormitettavuus ei saa olla tätä pienempi, selviää taulukosta, että sopivin alumiinikaapelin kuormitettavuus on 250 A ja silloin johdon poikkipinta tulee olla 240 mm^2 . (SFS 6000 -standardisarja/2017)

Kuva 17. Kuormitettavuus ampeereina (SFS 6000 -standardisarja/2017).

Johtimen nimellis- poikkipinta	Taulukon B.52.1 mukaiset asennustavat						
	A1	A2	B1	B2	C	D1	D2
mm^2							
1	2	3	4	5	6	7	8
Alumiini							
2,5	14	13,5	16,5	15,5	18,5	18,5	
4	18,5	17,5	22	21	25	24	
6	24	23	28	27	32	30	
10	32	31	39	36	44	39	
16	43	41	53	48	59	50	53
25	57	53	70	62	73	64	69
35	70	65	86	77	90	77	83
50	84	78	104	92	110	91	99
70	107	98	133	116	140	112	122
95	129	118	161	139	170	132	148
120	149	135	186	160	197	150	169
150	170	155	204	176	227	169	189
185	194	176	230	199	259	190	214
240	227	207	269	232	305	218	250
300	261	237	306	265	351	247	282

Kaapelin toinen asennustapa on seinällä pinta-asennuksena. SFS 6000 taulukon B.52.1 (Kuva 8) mukaan asennustapa on silloin C. Ilman lämpötilasta johtuva korjauskerroin lämpötilan ollessa $40 \text{ }^\circ\text{C}$ PVC-eristeiselle kaapelille on taulukon B.52.14 mukaan 0,87 (Kuva 10).

Kuormitettavuusvaatimus seinällä on siis $177 \text{ A} / 0,87 = 203 \text{ A}$

Asennustapa C määrittelee sen, että taulukon SFS 6000 B.52.4 mukaan (Kuva 17) yllä lasketun kuormitusvaatimuksen perusteella johdinpoikkipinnaksi alumiinijohtimelle voitaisiin valita 150 mm², jonka kuormitettavuus on taulukon mukaan 227 A. Kuitenkin kaapeli ja sen poikkipinta mitoitetaan aina heikoimman lasketun arvon mukaisesti, joten kaapeli valitaan maahan asennuksen arvoilla. Asennukseen mitoitettiin siis 160 A gG-tyyppin sulake ja kaapeliksi AMCMK 4x240/72.

7 Lopuksi

Sähköturvallisuutta säädellään lailla, asetuksilla ja standardeilla. Standardeilla voidaan vaatia tiettyjä sähkötekniisiä ominaisuuksia, ne voivat suositella käytettäviä sähkötekniisiä tapoja tai ne voivat olla ohjeistavia asiakokonaisuuksia.

Johtimien mitoitus on iso osa sähkötekniistä turvallisuutta ja sen tärkein tehtävä on suojata käyttäjää tai omaisuutta vikatilanteessa. Oikea johtimen mitoitus estää sen ylikuumentumisen tilanteessa, jossa johdinta kuormitetaan ylivirralla. Siksi oikeanlaisen ja poikkipinnaltaan oikean kokoisen johtimen valinta on erityisen tärkeää. (Sähköinfo Oy: Esa Tiainen, 2018) Useissa tapauksissa johtimien mitoituksesta vastaa sähkösuunnittelija, mutta myös sähköasentajan on hyvä ymmärtää johtimien mitoittamisen periaatteet ja se, miksi mitoittaminen on tärkeää. SFS 6000 standardisarja on erittäin perusteellinen kokonaisuus ja johtimien kuormittamisen laskeminen siinä olevien kuormituskerrointaulukoiden avulla on hieman selkeämpää.

Lähteet

PD CLC/TR 50480:2011. (2011). *Determination of cross-sectional area of conductors and selection of protective devices*. CENELEC.

IEC 60287:2020 (2020). *Current Capacity of Cables*. Noudettu osoitteesta <https://mycableengineering.com/knowledge-base/iec-60287-current-capacity-of-cables-introduction>

DKE German Commission for Electrical, Electronic & Information Technologies of DIN and VDE. (2021). *DKE*. Noudettu osoitteesta <https://www.dke.de/en/about-us>

Finlex. (2021). *Sähköturvallisuuslaki*. (Edita Publishing Oy) Noudettu osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161135?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=s%C3%A4hk%C3%B6#L3P31>

Harsia, P. (2013). *TAMK Talotekniikka*. Noudettu osoitteesta <https://tate.blogs.tamk.fi/sahkoinen-talotekniikka/johdon-mitoitus/ylivirtasuojaus/ylivirtasuojaus/>

SFS-EN 60898 (1992). *Johdonsuojakatkaisijat kotitalous- ja vastaaviin asennuksiin*. SFS Online.

SFS-EN 60269-1. (2008). *Pienjännitevarokkeet. Osa 1: Yleiset vaatimukset*. SFS Online.

SFS 4680. (2014). *Energiakaapelit. Voima- ja asennuskaapeleiden tyyppimerkinnot*. SFS Online

SFS-EN 60909-0. (2016). *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents*. SFS Online

SFS 6000 -standardisarja. (2017). *SFS-käsikirja 600–1: Pienjännitesähköasennukset. Osa 1. SFS 6000 -standardisarja*. SFS Online.

Sähköinfo Oy: Esa Tiainen. (2018). *D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista* (28. painos p.). Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.

Sähköinfo Oy: Esa Tiainen. (2018). *Sähköasennusopas* (Kymmenes painos p.). Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.

Sähkötieto ry. (2021). *ST-julkaisut*. Noudettu osoitteesta
<http://www.sahkotieto.fi/index.php?k=14937>

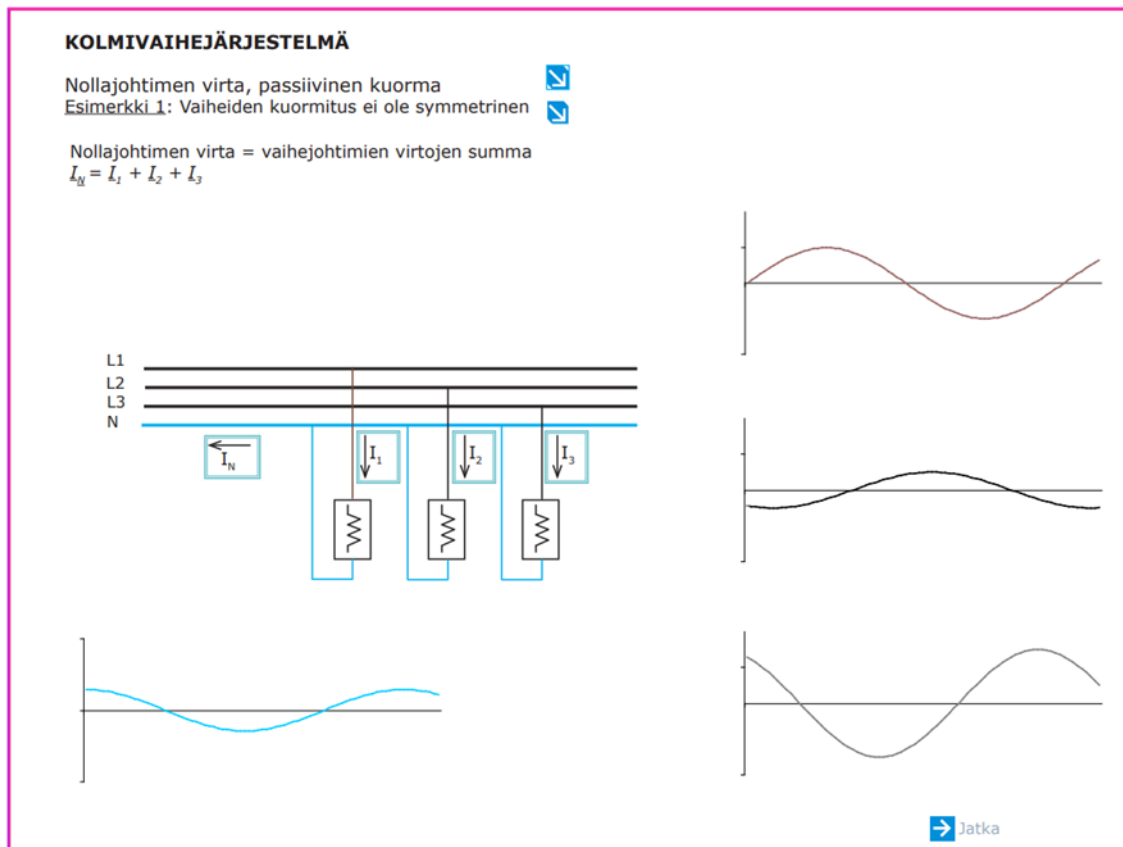
Tampereen ammattikorkeakoulu. (2021). *Sähkötekniikan verkkoaineisto*. Noudettu osoitteesta DIGMA: Sähkötekniikka: Johdon mitoitus:
<https://moodle.amk.fi/course/view.php?id=46>

Tukes. (2016). Sähköturvallisuustutkinto 1.

VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitut GmbH. (2021). *VDE*. Noudettu osoitteesta
<https://www.vde.com/tic-en/about-us>

Liite 1: Kolmivaihe virrat

Liite 1 selvittää kolmivaihejärjestelmän virtojen jakautumista johtimille syvemmin. Liite on kirjoitettu Tampereen ammattikorkeakoululle (TAMK) talotekniikan yliopettaja Pirkko Harsian toimesta (Harsia, 2013).

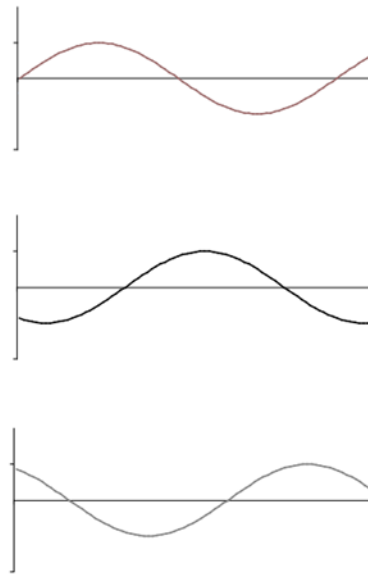
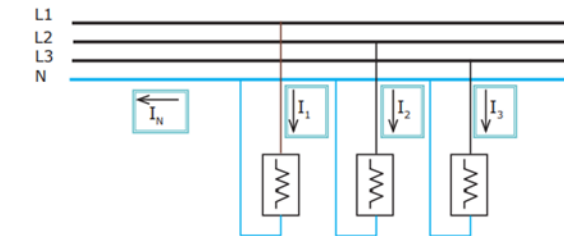


KOLMIVAIHEJÄRJESTELMÄ

Nollajohtimen virta, passiivinen kuorma
 Esimerkki 2: Vaiheiden kuormitus on symmetrinen

Nollajohtimen virta = vaihejohtimien virtojen summa
 $I_N = I_1 + I_2 + I_3 = 0$

Nollajohtimessa ei kulje virtaa



[→ Jatka](#)

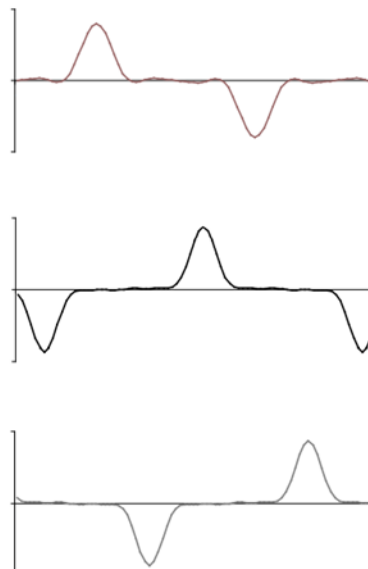
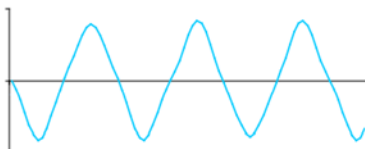
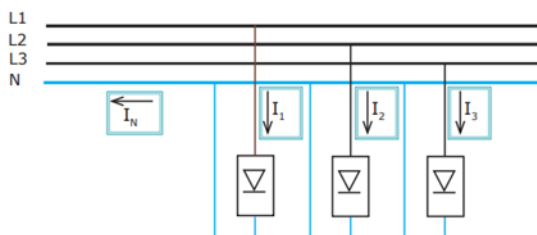
KOLMIVAIHEJÄRJESTELMÄ

Nollajohtimen virta, epälineaarinen kuorma
 Esimerkki 3: Vaiheiden kuormitus on symmetrinen

Nollajohtimen virta = vaihejohtimien virtojen summa
 $I_N = I_1 + I_2 + I_3$

Epälineaarinen kuorma aiheuttaa sen, ettei virta ole sinimuotoista

- => virrassa yliaaltokomponentteja
- => 3. yliaalto summautuu nollajohtimessa →
- => nollajohtimen virta tulee suureksi



[→ Alkuun](#)

Kolmas yliaalto (150 Hz)

Kolmas yliaalto (kuten 9., 15., jne) on samanvaiheinen kaikissa vaiheissa

=> yliaaltovirta summautuu nolajohtimessa

