



Jonne Smolander

# Sähköasentajan opas

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

20.6.2022

# Tiivistelmä

Tekijä: Jonne Smolander  
Otsikko: Sähköasentajan opas  
Sivumäärä: 40 sivua  
Aika: 20.6.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Ammatillinen pääaine: Sähkövoimatekniikka  
Ohjaajat: Lehtori Jarno Nurmio

---

Insinööriyössä perehdyttiin tavallisimmissa sähköasennuksissa käytettyihin suojalaitteisiin, kaapeleihin sekä käyttöönottomittauksiin. Työssä käytiin läpi, minkälaisia asioita tulisi huomioida ja mitä tulisi mitoittaa jo ennen itse asennustyötä. Tavoitteena on, että sähköasentaja pystyy tämän työn avulla mitoittamaan yleisimpiä sähköasennuksia siten, että ne on standardin mukaisesti tehty.

Työssä tutustuttiin suojalaitteiden osalta sulakkeisiin, johdonsuojakatkaisijoihin ja vikavirtasuojiin. Tutustuttiin suojalaitteiden eroihin, sekä tilanteisiin, jossa niitä tulee käyttää. Kaapeloinnin osalta tutustuttiin palokäyttäytymisluokkiin, tyypillisimpiin kaapeleihin sekä itse asennuksen mitoituksessa huomioitaviin asioihin, kuten asennustavat, korjauskertoimet ja kaapelin kuormitettavuus eri asennuksissa. Käyttöönottomittauksissa tutustuttiin jännitteettömiin- sekä jännitteellisiin mittauksiin, joita sähköasentajan tulee suorittaa, kun asennustöitä tehdään tyypillisessä pienjänniteverkossa olevassa kiinteistössä, jossa on käytössä TN-Järjestelmä. Lopussa on käyty läpi myös kaksi erilaista asennustilannetta, joissa sähköasentaja joutuisi itse mitoittamaan asennuksen vähäisillä lähtötiedoilla.

Insinööriyön lopputuloksena syntyi työkalu, jota sähköasentajat voivat käyttää työsäännän koko asennuksen osalta siten, että laite- sekä kaapelivalinnat, mitoitus ja käyttöönottomittaukset saadaan tehtyä vaatimusten mukaisesti.

Avainsanat: suojalaitteet, sulake, johdonsuojakatkaisija, mitoitus, asennustavat, korjauskertoimet, käyttöönottomittaukset

## Abstract

Author: Jonne Smolander  
Title: Electrician's Guide to electrical installations  
Number of Pages: 41 pages  
Date: 20 June 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Professional Major: Electrical Power Engineering  
Supervisors: Jarno Nurmio, Senior lecturer

---

This thesis concerns the most common protective devices, cables and inspection measurements for electrical installations. This study clarifies what should be taken into account and what should be dimensioned before the installation work itself. Objective is to give information that the electrician needs to be able to size cables and define protective devices on most common electrical installations so that they are made in accordance with the standard.

As concerns protective devices, this thesis explains fuses, circuit breakers, and residual-current devices. Differences of protective devices, as well as situations where they should be used, are also clarified. For cabling, CPR-classes, most used cables and matters that should be considered when dimensioning cables, such as installation arrangements, adjustment factors and how much is the cables' current-carrying capacity in different kind of installations, are handled. As concerns inspection measurements, dead- and live measurements that the electrician must perform when installation work is done in a typical low voltage property with a TN-system are explained. At the end also two different installation situations, where the electrician would have to dimension the installation with limited prior knowledge, are described.

The end result of the thesis work is information that electricians can use for the entire installation in such way that the device- and cable choices, dimensioning and inspection measurements can be made in accordance with the requirements.

Keywords: protective devices, fuse, circuit breaker, dimensioning, installation arrangements, adjustment factors, inspection measurements

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Suojalaitteet	1
2.1	Yleistä suojalaitteista	1
2.2	Selektiivisyys	2
2.3	gG-Sulakkeet	3
2.4	Johdonsuojakatkaisijat	5
2.5	Vikavirtasuojat	9
3	Kaapelin valinta	11
3.1	Kaapelien luokittelu	11
3.2	Yleisimmät kaapelit	12
3.2.1	MMJ	12
3.2.2	MCMK ja AMCMK	12
3.2.3	FRHF	13
3.2.4	AXMK	13
3.2.5	Taipuisat kaapelit	14
3.3	Asennustavat	14
3.4	Kaapelien Impedanssit	16
3.5	Korjauskertoimet	16
3.6	Kaapelien kuormitettavuus	19
4	Käyttöönottomittaukset	23
4.1	Yleistä käyttöönottomittauksista	23
4.2	Aistinvaraiset tarkastukset	25
4.3	Jännitteettömät mittaukset	25
4.3.1	Suojamaan jatkuvuus	25
4.3.2	Eristysvastus	26
4.4	Jännitteelliset mittaukset	27
4.4.1	Syötön automaattinen poiskytkentä	27
4.4.2	Vikavirtasuojien mittaukset	30
4.4.3	Kiertosuunta	31

5	Esimerkkitilanteet työympäristössä ja kaavat mitoitukseen	32
5.1	22 kW:n laitteen sähköistys	32
5.2	Maksimi kaapelin pituus UPS-keskukselta	35
5.3	Mitoituksessa hyödyllisiä kaavoja	36
5.3.1	Virta	36
5.3.2	Impedanssi	36
5.3.3	Oikosulkuvirta	37
5.3.4	Kaapelin impedanssi	37
5.3.5	Kaapelin maksimi pituus	37
6	Yhteenveto	38
	Lähteet	39

## Lyhenteet

CPR: *Construction Products Regulation*. EU:n Rakennustuoteasetus.

TN-C: *Terra Neutral Combined*. Koko järjestelmän osalta yhdistetty nolla- ja suojamaajohdin. Käytetään nimitystä PEN-johdin.

TN-S: *Terra Neutral Separated*. Koko järjestelmän osalta erillinen nolla- ja suojamaajohdin.

UPS: *Uninterruptible Power Supply*. Varavoimajärjestelmiin tai häiriöttömään sähkönsyöttöjärjestelmään tarkoitettu laite.

# 1 Johdanto

Insinööriyön aiheena oli tehdä opas sähköasentajien käyttöön. Sähköasennusalan laajuudesta johtuen sääntöjä sekä standardeja on erittäin paljon. Tässä työssä keskityttiin yleisimpiin tilanteisiin sekä kohteisiin, joissa käytetään TN-järjestelmää ja joiden parissa sähköasentajat suurimmaksi osaksi työskentelevät. Työssä oletetaan asentajan hallitsevan yleisimmät piirrosmerkit sekä kytkennät.

Sähköasennuksista löytyvän suuren tietomäärän vuoksi voi olla hankalaa löytää ohjeita yleisistä asennuksiin liittyvistä standardeista. Työn tarkoituksena olikin koota tyypillisimmät asiat ja ohjeet, joita asentaja työssään tarvitsee.

Työssä perehdytään syvällisemmin suojalaitteiden sekä kaapelien ominaisuuksiin ja minkälaisissa tilanteissa niitä tulisi käyttää. Työssä käydään myös läpi mitoituksessa huomioitavat asiat. Lopussa tutustutaan käyttöönottomittauksiin, niiden suoritustapoihin ja siihen mitkä arvot ylittävät standardissa vaaditun minimiarvon, jotta asennus voidaan ottaa käyttöön.

Viimeisenä tutkitaan kuvitteellisia tilanteita, joita asentaja saattaa työssään kohdata. Ensimmäisessä tilanteessa mitoitetaan 22 kW:n laitteelle suojalaite, kaapeli, sekä lasketaan täyttääkö se automaattisen poiskytkennän vaatimukset. Toisessa tilanteessa perehdytään kuinka mitoittaa kaapeli siten, että suojaus toimii laskennallisesti, jos sitä ei pystytä aina mittaamaan. Asentajan avuksi työhön on lisätty myös tarpeellisimmat kaavat laskentaa varten.

## 2 Suojalaitteet

### 2.1 Yleistä suojalaitteista

Suojalaitteet sähköasennuksissa ovat yleisimmin sellaisia, jotka suojaavat sekä oikosulkuvirroilta- että ylikuormitukselta. Tällaisia suojalaitteita ovat esimerkiksi gG-tyyppiset sulakkeet, jotka ovat varustettu varokkeilla tai katkaisijat, joissa on ylikuormituslaukaisija. Oikosulku- että ylikuormitusvirroilta suojaavan suojalaitteen on pystyttävä katkaisemaan ja katkaisijan myös kytkemään ylivirta sekä

prospektiivinen oikosulkuvirta, joka ilmenee suojalaitteen asennuspaikalla. Ylivirtasuojauksen yleisvaatimukset sanovat, että asennuksissa on käytettävä suojalaitteita, jotka kykenevät poiskytkemään ylivirran piirin johtimissa ennen kuin ylivirrat aiheuttavat termisiä tai mekaanisia ilmiöitä, jotka voivat aiheuttaa vaaraa vahingoittamalla liittimiä, jatkoksia, tai johtimia ympäröiviä materiaaleja. Perussuojauksen lisäksi useissa asennuksissa vaaditaan myös vikavirtasuojia. [1, s. 113–115.]

## 2.2 Selektiivisyys

Sulakkeiden tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu selektiivisyys. Verkosta on vika-tilanteessa kyettävä erottamaan vain tarpeellinen osa. Tämä tarkoittaa käytännössä vian rajoittamista pienemmälle alueelle, jotta muu osa verkosta pysyy toiminnassa ilman häiriöitä. Yleinen tilanne on esimerkiksi missä keskuksella on 250 A:n sulake, valaistus- sekä pistorasia ryhmillä omat 125 A:n etukojeet ja ryhmäjohdoilla 10-25 A:n sulakkeet. Suojauksessa on kuitenkin huomioitava, että normaalit käytössä ilmenevät ylivirrat sallitaan. [2, s. 7.]

Sulakkeiden välillä selektiivisyys varmistetaan ylikuormituksen osalta vertaamalla käytössä olevien sulakkeiden ajan sekä virran ominaiskäyriä. Kuormituksen puolella olevan sulakkeen tuotestandardin antama kokonaistoiminta-aika täytyy olla syötön puoleisen sulakkeen sulamisaikaa pienempi. Esimerkiksi gG-tyyppin sulakkeilla, joiden mitoitusvirta on minimissään 16 A:a saavutetaan täydellinen selektiivisyys, mikäli mitoitusvirtojen suhde on 1,6:1 tai suurempi. Samalla mitoitusvirtojen suhteella toimii myös sulakkeiden välinen selektiivisyys oikosulkutilanteissa.

Katkaisijoiden välillä selektiivisyys varmistetaan ylikuormituksen osalta vertaamalla käytössä olevien laitteiden ajan sekä virran ominaiskäyriä kuten sulakkeidenkin osalta. Sulamisajan sijaan katkaisijoilla vertaillaan syötön ja kuormituksen puoleisia laukaisuaikoja. Kaikilla ylikuormitusvirran arvoilla kuormituksen puoleisen laitteen maksimitoiminta-aika tulee olla pienempi kuin aika, jolla syötön puoleinen katkaisija ei laukea. Tällä alueelle selektiivisyys varmistetaan



siten, että käyrät ovat erillään sekä aika- että virta-akselilla. Valmistajan dokumentteihin tulee yleensä tehdä viittaus, kun tutkitaan katkaisijoiden välistä selektiivisyyttä oikosulkuutilanteessa. Selektiivisyyttä varmistaessa katkaisijoiden välillä tulee selvittää syötön puoleisen katkaisijan pikalaukaisun huippuarvoa vastaava virta ja mitoittaa kuormituksen puoleinen katkaisija siten, että sen rajoittama huippuvirta jää pienemmäksi. Mitoituksessa tulee huomioida, että syötön puolella voi olla katkaisija, jolla selektiivisyysraja on korkeampi, mikäli sillä on erityinen vastaava selektiivisyysominaisuus. [1, s. 332–333.]

### 2.3 gG-Sulakkeet

gG-tyyppinen sulake on yleiskäyttöön tarkoitettu suojalaite, jonka katkaisukyky kattaa koko virta-alueen ja joka sopii käytettäväksi oikosulku- sekä ylikuormitus-suojaukseen. gG-sulakkeet ovat joko tulppa- tai kahvasulakkeita.

Tulppasulakkeita käytetään usein suojaamaan ryhmätason johtimia koska niiden katkaisukyky on pienempi kuin kahvasulakkeiden sekä niitä ei saa yhtä suuressa kokoluokassa. Tulppasulakkeita on 2–63 A:n kokoluokassa ja katkaisukyky tulee standardin SFS 5855:2019 mukaan olla 50 kA:a vaihtosähköllä, kun käytetään 500 V:n sulakkeita. Tulppasulakkeita hankkiessa asentajan tulee huomioida, että keskuksissa on yleensä kahden kokoisia varokepesiä. DII-kokoluokan varokepesään sopivat 2–25 A:n sulakkeet ja DIII-kokoluokan varokepesään 35–63 A:n sulakkeet. DIII-varokepesään on satavilla tarvittaessa pienennyskansi, jolloin siinä voi käyttää myös DII-koon sulakkeita. Mikäli tulee tarve vaihtaa pohjakosketin suuremmaksi, on aina varmistuttava siitä, että varokkeeseen kytketyn ryhmän johdotuksen kuormitettavuus on riittävän suuri.

Kahvasulakkeita käytetään yleisimmin keskuksien syötöissä, etukojeissa sekä suuri virtaisissa laitteissa. Kahvasulakkeita saa laajassa kokoluokassa väliltä 2–1250 A:a. Hankittaessa sulakkeita tulee huomioida kohteen kahvavarokepohjan koko, jotta sulake sopii varokepohjaan. Kahvasulakkeita saa useassa eri koossa, jossa käytetään IEC-kokoluokkaa 000, 00, 0, 1, 2, 3, 4 ja 4a. Kahvasulakkeilla on erinomainen katkaisukyky, jonka vuoksi ne sopivat hyvin

oikosulkusuojaukseen. Katkaisukyky tulee olla vähintään 50 kA:a, mutta monilla kahvasulakkeilla suurin katkaisukyky on 100 kA:a. [3, s. 264; 4, s. 8.]

Asennuksessa tulee huomioida, että sulakkeilla on ylempi sulamisrajavirta, joka on 1,45-kertainen sulakkeen nimellisvirtaan nähden. Ylemmällä sulamisrajavirralla tarkoitetaan virtaa, jolla sulake toimii varmasti yleensä tunnissa. Tästä joh-tuen ylikuormitussuojaa valittaessa ei voida suoraan vertailla sulakekokoa ja johtimen kuormitettavuutta. Mitoituksessa tulee käyttää kaavaa 1.

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

$I_n$  on suojalaitteen nimellisvirta

$I_z$  on johtimen jatkuva kuormitettavuus

$k$  on sulakkeen ylempään sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvir-ran suhde

gG-tyypin sulakkeilla

$$k = 2,1 \text{ kun } I_n \leq 4 \text{ A}$$

$$1,9 \text{ kun } 4 \text{ A} < I_n < 16 \text{ A}$$

$$1,6 \text{ kun } I_n \geq 16 \text{ A} \text{ [3, s.137.]}$$

Asentajan työn helpottamiseksi, gG-tyyppisille sulakkeille on myös valmiiksi las-kettu, paljonko tulee johtimen minimikuormitettavuus olla tietyllä sulakkeen ni-mellisvirralla, jotka löytyvät taulukosta 1.

Taulukko 1. gG-tyyppisten sulakkeiden nimellisvirrat sekä johtimien kuormitettavuuden minimiarvot. [1, s. 291.]

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

## 2.4 Johdonsuojakatkaisijat

Sulakkeiden tapaan johdonsuojakatkaisijat ovat myös yleiskäyttöön tarkoitettuja suojalaitteita, jotka sopivat sekä oikosulku- että ylikuormitussuojaukseen. Uudemmissa keskuksissa nykyään käytetään enemmän johdonsuojakatkaisijoita kuin sulakkeita. Johdonsuojakatkaisijaa valittaessa tulee huomioida laitteen katkaisukyky, nimellisvirta, laukaisukäyrä sekä jännite. Yleisimmin johdonsuojakatkaisijoilla on 6 kA:n katkaisukyky 400 V:n jännitteellä. Tarjolla on kuitenkin myös isommalla katkaisukyvyllä olevia johdonsuojia. Asentajan tulee huomioida, että katkaisukyvyyn tulee olla suurempi kuin esiintyvä oikosulkuvirta. Mikäli

oikosulkuvirta on suurempi kuin johdonsuojakatkaisijan katkaisukyky, tulee sen edessä käyttää lisäsuojana joko sulaketta tai kompaktikatkaisijaa niiden suuremman katkaisukyvyn vuoksi. [3, s. 265.]

Toisin kuin sulakkeilla, ylikuormitussuojauksen mitoittaminen on yksinkertaisempaa, kun käytetään B-, C, ja D-tyyppisiä johdonsuojakatkaisijoita. Niiden toimintarajavirta on 1,45 kertainen suojalaitteen nimellisvirtaan nähden. Tämä tarkoittaa sitä että, ylikuormitussuoja voidaan valita suoraan kaapelin kuormitettavuuden perusteella. Mikäli kaapelin kuormitettavuus on esimerkiksi 25 A:a, voidaan ylikuormitussuojaksi valita 25 A:n johdonsuojakatkaisija. [3, s. 136.]

Kun vertaillaan johdonsuojakatkaisijoita ja sulakkeita tulee asennuksessa huomioida johdonsuojakatkaisijoiden suurempi tehohäviö verraten sulakkeisiin. Tehohäviöt nostavat johdonsuojakatkaisijan lämpötilaa, joka vaikuttaa toiminta-arvoihin ja kaapelien kuormitettavuuteen. Mikäli ryhmiä kuormitetaan lähelle nimellisvirtaansa ei niitä tulisi asentaa aivan toistensa viereen. [3, s. 266.]

Johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrään vaikuttaa suurimmaksi osin kuormitus tyyppi. Seuraavassa on erityyppisiä johdonsuojakatkaisijoita ja niiden yleisiä käyttökohteita.

**B-Tyyppi:** Resistiiviset kuormat, jossa pienet käynnistysvirrat, kuten esimerkiksi lämmitysryhmät. Valaistusryhmissä käytetään usein B-tyypin johdonsuojakatkaisijoita, mutta erityisesti nykyisten valaisimien liitäntälaitteiden suuret käynnistysvirrat tulee huomioida. Jotta ryhmiä ei tarvitse ylimitoitaa voidaan käyttää esimerkiksi nousevan nollakulman releitä.

**C-tyyppi:** Resistiiviset ja lievästi induktiiviset kuormat, kuten esimerkiksi pistoria- ja lämmitysryhmät. C-Tyypillä on parempi kyky sietää suurempia käynnistysvirtoja kuin B-tyypillä, mutta se ei suojaa kaapelia yhtä tehokkaasti oikosulkuvirroilta. Etenkin pitkissä kaapelointimatkoissa tai jos syöttävän keskuksen oikosulkuvirrat ovat pienet, on hyvä huomioida oikosulkuvirtamittausten raja-arvot

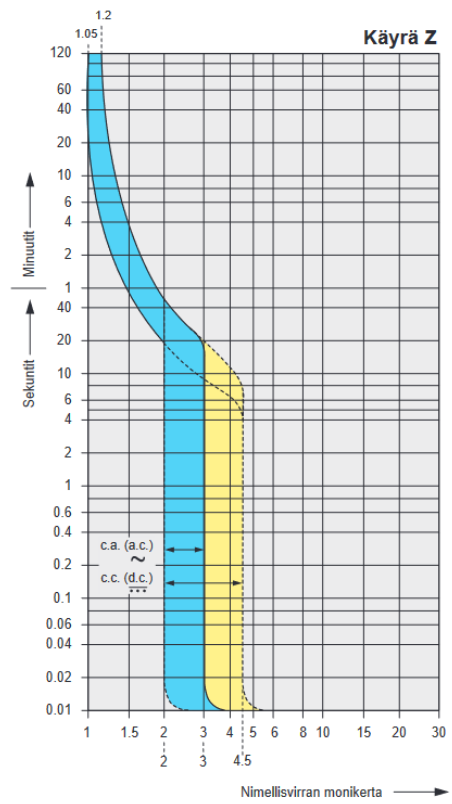
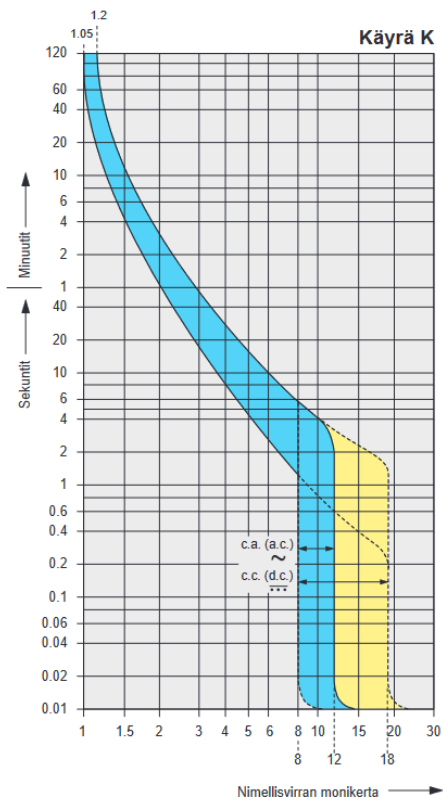
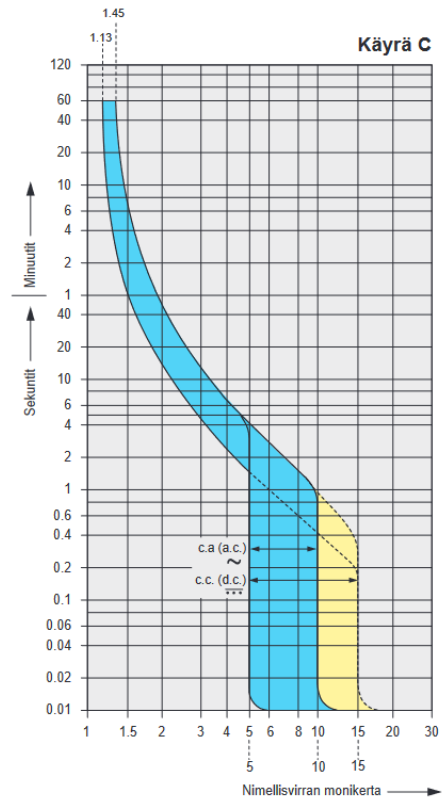
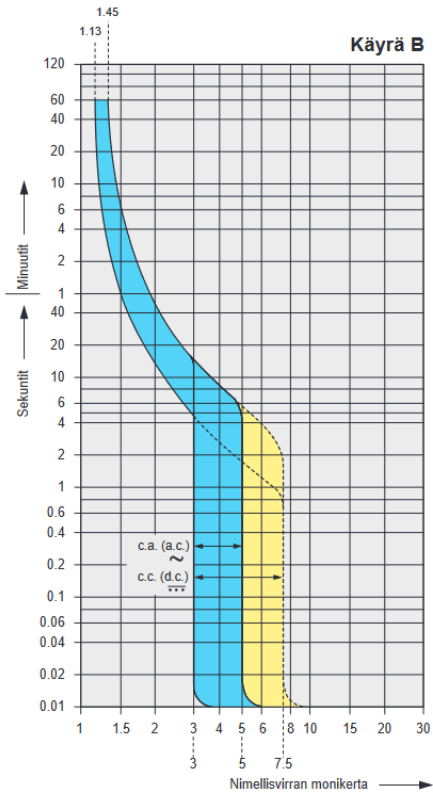
kuorman puolella. Mikäli tiedetään että kuormassa ei tule olemaan suuria käynnistysvirtoja, voidaan suoraan harkita B-tyypin käyttöä.

K-Tyyppi: Yleisiä käyttökohteita esimerkiksi moottorien ja muuntajien yhteydessä. Käytetään paljon teollisuusasennuksissa.

D-Tyyppi: Kuormille, jossa suuret käynnistysvirrat, kuten esimerkiksi suuret moottorit. Vaaditut oikosulkuvirrat tulee huomioida jo mitoitusvaiheessa. D-tyypillä on kaksinkertaiset vaatimukset oikosulkuvirran mitattuihin arvoihin verraten C-tyyppiin.

Z-Tyyppi: Yleisiä käyttökohteita virtapiirit, joissa on puolijohteita, sekä virtapiireissä, joissa oikosulkuvirta jää hyvin pieneksi. Tietyillä UPS-laitteilla voi olla erittäin pienet oikosulkuvirrat, jolloin Z-tyyppi on hyvä vaihtoehto asennukseen. [3, s. 266–267.]

Kuvasta 1 nähdään laukaisukäyriä, nimellisvirran monikerran ja ajan suhteen. Laukaisukäyriä on tarpeellista osata tulkita, mikäli taulukosta ei löydy oikosulkuvirtojen mittaavaatimuksia. Taulukoista usein puuttuu valmiit laskelmat esimerkiksi Z-tyypin johdonsuojakatkaisijalle. Kuvasta voidaan nähdä, että vaihtovirralla Z-tyypin raja-arvo on kolme 0,4 sekunnin kohdalla. Tällöin esimerkiksi Z8-johdonsuojakatkaisijan oikosulkuvirran vaadittu mittaustulos lasketaan kertomalla nimellisvirran monikerran raja-arvo suojalaitteen nimellisvirralla sekä vika-tilanteen aiheuttaman lämmön nousun kertoimella 1,25. Tässä tapauksessa vaadittu mitattu oikosulkuvirta laskettaisiin  $3 \times 8 \times 1,25$  josta saadaan 30 A:a.



Kuva 1. ABB pro M compact-johdonsuojakatkaisijoiden laukaisukäyrät. Laukaisukäyrät B-, C-, K- ja Z-johdonsuojakatkaisijoilta. [4, s. 47.]

## 2.5 Vikavirtasuojat

Vikavirtasuojat ovat automaattisesti toimivia suojalaitteita, joita käytetään perussuojauksen lisäsuojana. Vikavirtasuojaa voidaan käyttää vikasuojauksessa syötön nopeaan poiskytkentään sekä palosuojaukseen. Vikavirtasuojaa ei ole tarkoitettu käytettäväksi suojaamaan johtimia ylivirroilta. Vikavirtasuojat laukeaa esimerkiksi suojajohtimen virran vaikutuksesta tai äärijohtimen ja nollajohtimen summavirran vaikutuksesta. [3, s. 252–255.]

Vikavirtasuojaa valittaessa tulee huomioida, millaista kuormaa piiriin voidaan liittää. Vikavirtasuojat tyyppejä on A-, B-, F- sekä AC-tyyppi. Asentajalle yleisimmät vastaan tulevat tyypit ovat A- sekä B-tyyppiset vikavirtasuojat, joiden käyttöä SFS-6000 edellyttää. A-tyyppi toimii vaihtovirralla sekä pulssimaisella tasavirralla ja B-tyyppi myös puhtaalla tasavirralla. Näiden lisäksi on myös standardoitu F-tyyppi, jota käytetään erityisesti suojaamaan taajuusmuuttajalla syötetyjä piirejä vaiheen ja nollan tai vaiheen ja maadoitetun keskipistejohtimen väliltä. AC-tyyppinen vikavirtasuojat toimii vain vaihtovirralla. Tästä syystä sen käyttö on kielletty, koska useissa sähkölaitteissa vikavirta voi poiketa puhtaasta vaihtovirrasta. [3, s. 255.]

Asennustöitä tehdessä tulee huomioida SFS-6000-standardisarjassa olevat vaatimukset vikavirtasuojien käytölle. Vikavirtasuojaa tulee käyttää pistorasioissa, jotka sijaitsevat asunnoissa, liiketiloissa, toimistoissa, teollisuusrakennuksissa sekä muissa rakennuksissa sisätiloissa. Maallikoiden käyttämät tavalliset enintään 32 A:n pistorasiat tulee suojata enintään 30 mA:n vikavirtasuojalla. Asennettaessa enintään 32 A:n pistorasiaa tai siirrettävää laitetta ulkotiloihin tulee se suojata enintään 30 mA:n vikavirtasuojaa käyttäen.

Valaistuksen vikavirtasuojauksen vaatimukset koskevat tiloja, joissa maallikko vaihtaa itse valonlähteen tai liittyy itse valaisimen. Tämän tyyppisiä paikkoja on esimerkiksi normaalit asunnot ja niihin liittyvät piha-alueet. Mikäli sähköalan

ammattihenkilö tai tehtävään opastettu henkilö asentaa valaisimet tai vaihtaa valonlähteet ei vikavirtasuojaa vaadita. Tämän kaltaisia paikkoja on yleisesti ostokeskukset, hotellit ja vastaavat. [3, s. 113.]

Muutos- ja laajennustöiden osalta asentajan tulee huomioida, että kaikki tavanomaisessa käytössä olevat pistorasiat sekä asunnoissa ja piha-alueilla olevat valaisimet suositellaan suojaamaan enintään 30 mA:n vikavirtasuojalla. Mikäli töiden laajuus on suuri ja kohteessa vaihdetaan jakokeskus sekä johtojärjestelmät tulee vikavirtasuojat asentaa tilojen vaatimusten mukaisesti. Jos vain keskus uusitaan, tulee varautua vikavirtasuojien asentamiseen. Mikäli asennetaan vain yksi pistorasia tai tehdään muita yksittäisiä lisäyksiä, jossa ei uusita jakokeskusta, tulee ainakin ulos asennettavat enintään 32 A:n pistorasiat, lämmityskaapelit, lämmityselementit sekä erikoistilojen pistorasiat suojata enintään 30 mA:n vikavirtasuojalla. [6, s. 262.]

Vaatimuksista vikavirtasuojan käytölle pistorasiaryhmissä voidaan tietyillä ehdoilla poiketa, asuinrakennuksissa, toimistoissa, kouluissa, sekä vastaavissa tiloissa, joissa maallikot liittävätkin sähkölaitteita pistorasioihin. Jos kyseessä on tietyn laitteen liittämiseen tarkoitettu pistorasia, jonka syötön katkeaminen aiheuttaisi suurta haittaa, voidaan vikavirtasuojaa jättää pois. Tämän tyyppisiä laitteita ovat esimerkiksi kylmälaitteet. Pistorasia-asennuksessa tulee edellä mainitussa tapauksessa huomioida, että se tulee asentaa siten, että siihen ei ole normaalisti mahdollista liittää muita laitteita. Pistorasia tulee myös sijoittaa siten, että se ei ole käytettävissä, kun siihen kytketty laite on paikallaan. Mikäli pistorasian käyttötarkoitus ei ole selkeä, tulee käyttää opaskilpeä ilmoittamaan mille laitteelle se on ainoastaan tarkoitettu, esimerkiksi "Vain pakastimelle". On kuitenkin huomioitava, että samassa huonetilassa tulee olla myös vikavirtasuojalla suojattuja pistorasioita. Mikäli laitetta syöttävä pistorasia on ulko-, tai erikoistiloissa, pitää se suojata vikavirtasuojalla siitä huolimatta, että se olisi vain tietylle laitteelle. Tästä tyyppinen esimerkki on suihkutilassa olevalle pesukoneelle tarkoitettu pistorasia. [3, s. 113–114.]



Teollisissa ja kaupallisissa tiloissa vikavirtasuojan voi jättää pois samoilla perusteilla kuin asuinrakennuksissa. Tämän lisäksi pistorasiaa ei tarvitse suojata vikavirtasuojalla, jos tiloissa sähköasennuksia käytetään ammatti- tai opastetun henkilön valvomana, tai pistorasioiden käyttöä on rajoitettu ohjeistuksella. Yleisiä laitteita joidenka pistorasioita ei tarvitse suojata vikavirtasuojalla on esimerkiksi, tietoliikennelaitteet, palvelimet, kiinteästi asennetut moottorit tai laitteet, joissa on suuri vuotovirta. Mikäli pistorasian käyttötarkoitus ei ole selkeästi havaittavissa, tulee käyttää opaskilpeä. Huonetilassa tulee myös olla vikavirtasuojattuja pistorasioita. [3, s. 113–114.]

TN-Järjestelmässä voidaan vikavirtasuojaa käyttää syötön automaattiseen poiskytkentään. Yleisesti suojauksessa käytetään sulakkeita tai johdonsuojakatkaisijoita, mutta suojalaitteena voidaan käyttää myös vikavirtasuojaa. Tämän tyyppinen tilanne olisi, kun asennuksen pienin oikosulkuvirta maan ja vaiheen välillä ei takaa johdonsuojakatkaisijan tai sulakkeen toimintaa vaaditussa ajassa. Kun käytetään vikavirtasuojaa syötön automaattiseen poiskytkentään, tulee huomioida, että sen mitoitusvirta voi olla korkeintaan 1/5 esiintyvistä pienimmistä oikosulkuvirrasta. [1, s. 355.]

### **3 Kaapelin valinta**

#### **3.1 Kaapelien luokittelu**

EU:n rakennustuoteasetus eli CPR määrittelee perusvaatimusten mukaisen suoritustason kaapeleille. Kaapelit ovat luokiteltu standardin SFS-EN 50575 mukaan seitsemään eri luokkaan niiden palokäyttäytymisen perusteella. Palokäyttäytymisluokat ovat tärkeitä huomioida asennuksissa, koska eri tilat vaativat eri luokan kaapeleita. Luokat ovat Aca, B1ca, B2ca, Cca, Dca, Eca ja Fca jossa korkein taso on Aca. B1ca-Dca yhdistetään aina lisäluokkiin. Lisäluokat s1, s2 ja s3 määrittelevät kuinka paljon kaapelista saa vapautua savua. Lisäluokat d0 ja d1 määrittelevät, paljonko palavia pisaroita ja partikkeleita kaapelista saa pudota. Lisäluokat a1, a2 ja a3 määrittelevät kuinka paljon kaapelista saa

vapautua happoja ja syövyttäviä palokaasuja. Suomessa suositellut käyttöluokat ovat C<sub>ca</sub> -s1,d1a2; D<sub>ca</sub> -s2,d2a2; E<sub>ca</sub> ja F<sub>ca</sub>. [1, s. 287–288.]

Esimerkkeinä muutamia käyttökohteita ja niiden kaapeliluokkien vaatimukset. Lääkintätiloissa sekä uloskäytävissä tulee käyttää vähintään luokan C<sub>ca</sub> -s1,d1a2 kaapeleita. Tiloissa, joissa voi oleskella paljon henkilöitä, tulee käyttää vähintään luokan D<sub>ca</sub> -s2,d2a2 kaapeleita. Tämän tyyllisiä paikkoja ovat esimerkiksi maan alla pysäköintilaitokset tai liikuntatilat. Tyypillisiä maan päällä olevia tiloja ovat toimistot, kauppaliikkeet, hotellit sekä vastaavat. Mikäli rakennuksissa tai vastaavissa yhteiskunnallisissa rakennuskohteissa ei ole sitovia määräyksiä, käytetään vähintään E<sub>ca</sub>-luokan kaapeleita. [1, s. 288.]

## 3.2 Yleisimmät kaapelit

### 3.2.1 MMJ

MMJ on pvc-muovilla eristetty kaapeli, joka on yksi yleisimpiä kaapeleita, joita sähköasentajat käyttävät. Kaapeleita käytetään pääsääntöisesti ryhmätason asennuksiin. MMJ-kaapelin johtimen suurin sallittu lämpötila on 70 °C. Enintään viiden sekunnin vikatilanteessa johtimet kestävät 160 °C. Kaapelia käytetään sisä- ja ulkoasennuksissa, mutta ei maahan eikä suoraan betonivaluun. MMJ:n CPR-luokka on E<sub>ca</sub>. Mikäli kohteessa vaaditaan parempaa luokitusta, voidaan käyttää MMJ:n halogeenivapaita vaihtoehtoja kohteesta riippuen. [7.]

### 3.2.2 MCMK ja AMCMK

MCMK ja AMCMK ovat pvc-muovilla eristettyjä voimakaapeleita. MCMK on kuparivoimakaali ja AMCMK alumiinivoimakaapeli. Kaapeleita voidaan käyttää niin sisä-, kuin ulkoasennukseen sekä voidaan asentaa suoraan maahan. Kaapeleita käytetään paljon keskuksien syöttöinä. Kaapeleiden johtimen suurin sallittu lämpötila on 70 °C. Enintään viiden sekunnin vikatilanteessa johtimet kestävät 160 °C. Voimakaapeleita joudutaan usein käsittelemään ulkona, jossa tulee huomioida kaapelin alin käsittelylämpötila, joka on -15 °C. Kaapeleiden CPR-

luokka on Eca. Kaapeleita on myös saatavilla halogeenivapaina paremmalla luokituksella, jos käyttökohde sen vaatii. [8.] Kaapelia mitoittaessa tulee huomioida että, molemmissa kaapeleissa on konsentrinen suojajohdin, joka on kuparipalmikko kaapelin vaipan sisällä. Konsentrinen johdin on myös isommissa kaapelikokoluokissa vaihejohtimia ja nollajohdinta ohuempi. Tyypillinen esimerkki olisi AMCMK 4x185+57, jossa kolme vaihejohdinta sekä nollajohdin ovat 185 mm<sup>2</sup>:n alumiinia ja suojajohtimena 57 mm<sup>2</sup>:n konsentrinen kupari.

### 3.2.3 FRHF

FRHF on paloa kestävä halogeenivapaa kaapeli. Eristeenä käytetään usein halogeenitonta polyolefiini sekoitetta. Kaapeleita voidaan asentaa sisä- ja ulkotiiloissa, mutta ei suoraan maahan. Kaapelista on myös saatavilla vaihtoehtoja, jotka soveltuvat maa-asennukseen. Kaapelin johtimien suurin sallittu käyttölämpötila on 90 °C. Enintään viiden sekunnin vikatilanteessa johtimet kestävät 250 °C. Kaapelia käytetään suojaamaan olennaisia sähkölaitteita palon aikana. Tyypillisiä esimerkkejä olisivat turva- sekä poistumistievalaistus, hälytysjärjestelmät, savunpoistojärjestelmät, evakuointijärjestelmät ja muut vastaavat. Kun käytetään palossa kestäviä kaapeleita, tulee myös huomioida, että liitokset, kiinnikkeet, hyllyt sekä muut vastaavat tulee kestää paloa yhtä kauan kuin kaapeli. Kaapelille ei ole omaa CPR-luokitusta. Valmistaja ilmoittaa FE- tai PH-tunnuksella, sekä minuuttimäärällä kuinka kauan kaapeli kestää paloa. [9; 1, s. 426; 1, s. 432.]

### 3.2.4 AXMK

AXMK on alumiinivoimakkaapeli kiinteään sisä- ja ulkoasennukseen. Kaapeli voidaan asentaa suoraan maahan. Kaapelissa on eristeenä käytetty pex-muovia. Mitoittaessa kaapelia tulee huomioida pex- ja pvc-kaapeleiden virrankestoisuuden erot. Kaapelin johtimien suurin sallittu käyttölämpötila on 90 °C. Enintään viiden sekunnin vikatilanteessa johtimet kestävät 250 °C. Kaapelin minimi käsitelylämpötila on -20 °C, joka on hyvä tiedostaa koska kaapelin tyypillisin käyttökohde on kiinteistöjen liittymiskaapeli. AXMK-kaapeli koostuu neljästä

johtimesta, kolmesta vaihejohtimesta sekä PEN-johtimesta. Uudemmissa asennuksissa PEN-johdin jaetaan kohteen keskuksella omaksi nolaksi ja suoja-  
maaksi. Kaapelin CPR-luokitus on Eca, mutta myös tästä kaapelista on vaihto-  
ehtoja paremmalla luokituksella tarvittaessa. [10.]

### 3.2.5 Taipuisat kaapelit

Taipuisat kaapelit kuten MSK tai kumikaapelit ovat tarkoitettu- ja niitä on käytet-  
tävä siirrettävien laitteiden liitännöihin. Mikäli laitteessa johon kaapeli liitetään,  
on suurta värähtelyä, tulee tarvittaessa käyttää taipuisia johtojärjestelmiä. Ylei-  
sesti esimerkiksi moottoreiden liitosjohtona käytetään kumikaapelia. Pääsään-  
töisesti ilman tiettyjä poikkeussääntöjä taipuisia kaapeleita ei saa käyttää kiin-  
teissä asennuksissa ilman mekaanista suojausta. Asennuksissa tulee huomi-  
oida, että kaapelit ovat pidettävä mahdollisimman lyhyinä, jotta niiden riski vau-  
rioitumiselle olisi mahdollisimman pieni, sekä suojalaitteet toimivat oikosulkuvir-  
tojen osalta kuten pitää. [11, s. 8; 1, s. 226] Sähköasennuksissa liitoskaapelit  
kuten jatkojohdot ovat usein tehty yhtä kokoa pienemmällä kuin itse asennus.  
Tyypillisesti 16 A:n pistorasiaryhmään on käytetty 3x2,5S MMJ-kaapelia, mutta  
jatkojohtona on MSK 3x1,5S. Tästä johtuen usein ajatellaan, että aina kun käy-  
tetään hienompi säikeistä liitosjohtoa, voidaan kokoluokkaa pudottaa yhdellä.  
Tämä ei kuitenkaan usein pidä paikkansa etenkin suuremmilla virroilla, joten  
aina tulisi varmistaa valmistajalta käytettävän kaapelin kuormitettavuus. Yleinen  
esimerkki olisi, jos voimavirtapistorasiaa syötetään 63 A:n sulakkeilla ja mahdol-  
lisia korjauskertoimia ei huomioida, tulisi pinta-asennuksessa käyttää 16 mm<sup>2</sup>:n  
pvc-eristeistä kuparikaapelia, jonka kuormitettavuus on taulukko 7 (s. 21) mu-  
kaisesti 76 A:a. Kokoluokkaa pienempi kumikaapeli olisi 10 mm<sup>2</sup>:ä jonka kuor-  
mitettavuus on yleensä 50-60 A:a. Mikäli laitteessa itsessään on pienemmät  
etusulakkeet, voidaan mitoitus tehdä sen mukaisesti.

### 3.3 Asennustavat

Mitoituksessa tulee huomioida asennustapa, koska se vaikuttaa olennaisesti  
kaapelin kuormitettavuuteen. Kun mitoituksen laskelmia tehdään voi

asennuksessa olla useampia asennustapoja. Silloin tulee laskelmissa käyttää epäedullisinta asennustapaa, eli sitä missä kaapelin kuormitettavuus on pienin. Seuraavassa on esimerkkejä, millaiset asennukset vastaavat tiettyä asennustapaa.

**A1**-asennustapa: Eristetyt johtimet ovat asennettu putkeen, joka on lämpöeristetyt seinän sisällä tai monijohdinkaapeli asennettuna lämpöeristetyt seinän sisälle ilman putkea.

**A2**-asennustapa: Kaapeli on asennettu putkeen, joka on lämpöeristetyt seinän sisällä.

**B1**-asennustapa: Eristetyt johtimet ovat asennettu puuseinällä olevaan johtokanavaan tai putkeen puu- tai kiviseinän pinnalle.

**B2**-asennustapa: Monijohdinkaapeli asennettuna puuseinällä olevaan johtokanavaan tai putkeen puu- tai kiviseinän pinnalle.

**C**-asennustapa: Yksi- tai monijohdinkaapeli asennettuna suoraan kiinni tai enintään 0,3 x kaapelin halkaisijan etäisyydelle puuseinästä. Yksi- tai monijohdinkaapeli asennettuna suoraan kivirakenteisen tai puisen katon alapuolelle. Yksi- tai monijohdinkaapeli asennettuna rei'ittämättömälle hyllylle, esimerkiksi latuhylly.

**D1**-asennustapa: Monijohdinkaapeli asennettuna umpinaiseen putkeen tai johtokanavaan maassa tai yksijohdinkaapelit umpinaisessa johtokanavassa maassa.

**D2**-asennustapa: Vaipalliset yksi- tai monijohdinkaapelit asennettuna suoraan maahan.

**E**-asennustapa: Yksi- tai monijohdinkaapelit asennettuna, rei'itetyille hyllyille, jossa reikiä on 30 % tai enemmän hyllyn pohjan pinta-alasta. Mikäli reikiä on vähemmän, käytetään asennustapaa C. Tyypillisiä rei'itettyjä hyllyjä ovat

kaapelitikkaat, lankaverkot, kaapelikannattimet ja jos kaapeli on asennettu yli 0,3 x kaapelin halkaisijan etäisyydelle seinästä, käytetään myös asennustapaa E. [1, s. 240-245.]

### 3.4 Kaapelien Impedanssit

Kaapelia mitoittaessa, tarvitaan taulukon 2 mukaisia impedanssi arvoja, kun lasketaan esimerkiksi oikosulkuvirtaa tai kaapelin maksimi pituutta. Taulukosta löytyy myös kaapelien resistanssit sekä reaktanssit, joita tarvitaan laskettaessa jännitteenalenemaa.

Taulukko 2. Kaapeleiden likimääräisiä impedansseja ( $\Omega/\text{km}$ ) johdinlämpötilassa 80 °C. [3, s. 96.]

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

### 3.5 Korjauskertoimet

Kaapelin mitoituksessa tulee huomioida kaapelireitillä olevia muuttujia, jotka vaikuttavat kaapelin kuormitettavuuteen. Kun tiedetään paljonko kuormitusta kaapelin tulisi sulakkeiden puolesta kestää, tulee vielä laskea korjauskertoimet,

jonka avulla saadaan selvitettyä suurin mahdollinen kuormitus, jonka kaapelin tulee kestää. Alla käydään tyypillisimmät korjauskertoimet läpi arvoineen.

Kaapeloidessa kohteissa on tietyt kaapelireiitit, josta ne jakaantuvat omiin pisteisiin. Näissä kohdissa missä kaapelit koskettavat toisiaan, ne myös lämmittävät toisiaan. Tämän vuoksi tulee käyttää taulukon 3 korjauskertoimia mitoituksessa.

Taulukko 3. Korjauskertoimet ryhmille, joissa on yksi tai useampia monijohdinkaapeleita tai piirejä. [1, s. 267.]

Monijohdinkaapeleiden tai piirien lukumäärä													
Kohta	Kaapeleiden sijoitus: koskettavat toisiaan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
1	Nipussa, ilmassa, pinnalla, upotettuna tai kotelon sisällä	1,0	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
2	Yhdessä kerroksessa seinällä, lattialla tai rei'ittämättömällä kaapelihyllyllä	1,0	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Ei korjauskertoimia useammalle kuin yhdeksälle monijohdinkaapelille tai piirille		
3	Yhdessä kerroksessa kiinnitettynä suoraan puiseen alakaton pinnalle.	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61			
4	Yhdessä kerroksessa rei'itetyllä kaapelihyllyllä vaaka- tai pystysuunnassa	1,0	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
5	Yhdessä kerroksessa tikkailla, tuilla tai kiinnikkeillä jne.	1,0	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

Kaapelien ympäristö tulee myös huomioida, jotta saadaan mahdollisimman tarkka arvo, kuinka paljon kaapelia voidaan kuormittaa. Taulukosta 4 nähdään,

että alle 30 °C lämpötila kasvattaa kaapelin kuormitettavuutta, missä taas siitä lämpimämmät olosuhteet heikentävät.

Taulukko 4. Kaapelien korjauskertoimet muille ympäristön lämpötiloille kuin 30 °C. [1, s. 265.]

Ympäristön lämpötila °C	Eristys	
	PVC	PEX ja EPR
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1,00	1,00
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41
85	-	-
90	-	-
95	-	-

Lämpöeristeet nostavat kaapelin lämpötilaa, joten ne tulee huomioida mitoituksessa. Taulukossa 5 on esitetty korjauskertoimet asennustapa C mukaiselle kuormitettavuudelle. Taulukko soveltuu korkeintaan 10 mm<sup>2</sup>:n johdinpoikkipinoille ja lämmöneristeelle, joka on lämmönjohtavuudeltaan korkeampi kuin 0.0625 W/m·k. Mikäli lämmönjohtavuus on pienempi, tulee käyttää pienempiä kertoimia. Asennuksessa on myös huomioitava, että kaapelia ei saa asentaa yli 500 mm:n matkalta lämpöä eristävän materiaalin sisään.



Taulukko 5. korjauskertoimet lämpöeristeen läpäiseville kaapeleille ja asennusputkissa oleville johtimille. [1, s. 231.]

Lämpöeristeen paksuus mm	Korjauskerroin
50	0,89
100	0,81
200	0,68
400	0,55
500	0,50

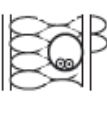
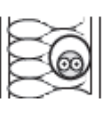



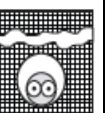
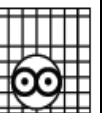

### 3.6 Kaapelien kuormitettavuus

Kun suojalaite on valittu ja asennuksen korjauskertoimet laskettu, siirrytään valitsemaan kaapelia. Kaapelin kuormitukseen vaikuttavat eriste, kuormitettujen johtimien lukumäärä sekä asennustapa. Kaapeli valitaan sen asennustavan mukaan, missä se kuormittuu eniten. Tämän jälkeen valitaan kaapeli, jonka kuormitettavuus on vähintään yhtä suuri kuin asennuksen suurin kuormitusarvo. Alla esitetyissä taulukoissa 6, 7 ja 8 on PVC-, PEX- ja ERP-eristeisille kaapeleille kuormitettavuudet eri asennustavoilla sekä kahdella ja kolmella kuormitetulla johtimella.





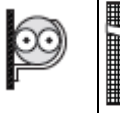
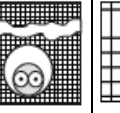
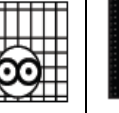

Taulukko 6. Kuormitettavuus ampeereina esitetyille asennustavoille - PVC-eristeiset kupari- tai alumiinijohtimet/kaksi kuormitettua johdinta-Johtimien lämpötila 70 °C, ympäristön lämpötila: 30 °C ilmassa, 20 °C maassa [1, s. 253; 1, s. 261–262.]

Johtimen nimellispoikkipinta	A1	A2	B1	B2	C	D1	D2	E
mm <sup>2</sup>								
<b>Kupari</b>								
1,5	14,5	14	17,5	16,5	19,5	22	22	22
2,5	19,5	18,5	24	23	27	29	28	30
4	26	25	32	30	36	37	38	40
6	34	32	41	38	46	46	48	51
10	46	43	57	52	63	60	64	70
16	61	57	76	69	85	78	83	94
25	80	75	101	90	112	99	110	119
35	99	92	125	111	138	119	132	148
50	119	110	151	133	168	140	156	180
70	151	139	192	168	213	173	192	232
95	182	167	232	201	258	204	230	282
120	210	192	269	232	299	231	261	328
150	240	219	300	258	344	261	293	379
185	273	248	341	294	392	292	331	434
240	321	291	400	344	461	336	382	514
300	367	334	458	394	530	379	427	593
<b>Alumiini</b>								
2,5	15	14,5	18,5	17,5	21	22	-	23
4	20	19,5	25	24	28	29	-	31
6	26	25	32	30	36	36	-	39
10	36	33	44	41	49	47	63	54
16	48	44	60	54	66	61	82	73
25	63	58	79	71	83	77	98	89
35	77	71	97	86	103	93	-	111
50	93	86	118	104	125	109	117	135
70	118	108	150	131	160	135	145	173
95	142	130	181	157	195	159	173	210
120	164	150	210	181	226	180	200	244
150	189	172	234	201	261	204	224	282
185	215	195	266	230	298	228	255	322
240	252	229	312	269	352	262	298	380
300	289	263	358	308	406	296	336	439

Taulukko 7. Kuormitettavuus ampeereina esitetyille asennustavoille - PVC-eristeiset kupari- tai alumiinijohtimet/kolme kuormitettua johdinta-Johtimien lämpötila 70 °C, ympäristön lämpötila: 30 °C ilmassa, 20 °C maassa [1, s. 255; 1, s. 261–262.]

Johtimen nimellispoikkipinta	A1	A2	B1	B2	C	D1	D2	E
mm <sup>2</sup>								
<b>Kupari</b>								
1,5	13,5	13	15,5	15	17,5	18	19	18,5
2,5	18	17,5	21	20	24	24	24	25
4	24	23	28	27	32	30	33	34
6	31	29	36	34	41	38	41	43
10	42	39	50	46	57	50	54	60
16	56	52	68	62	76	64	70	80
25	73	68	89	80	96	82	92	101
35	89	83	110	99	119	98	110	126
50	108	99	134	118	144	116	130	153
70	136	125	171	149	184	143	162	196
95	164	150	207	179	223	169	193	238
120	188	172	239	206	259	192	220	276
150	216	196	262	225	299	217	246	319
185	245	223	296	255	341	243	278	364
240	286	261	346	297	403	280	320	430
300	328	298	394	339	464	316	359	497
<b>Alumiini</b>								
2,5	14	13,5	16,5	15,5	18,5	18,5	-	19,5
4	18,5	17,5	22	21	25	24	-	26
6	24	23	28	27	32	30	-	33
10	32	31	39	36	44	39	-	46
16	43	41	53	48	59	50	53	61
25	57	53	70	62	73	64	69	78
35	70	65	86	77	90	77	83	96
50	84	78	104	92	110	91	99	117
70	107	98	133	116	140	112	122	150
95	129	118	161	139	170	132	148	183
120	149	135	186	160	197	150	169	212
150	170	155	204	176	227	169	189	245
185	194	176	230	199	259	190	214	280
240	227	207	269	232	305	218	250	330
300	261	237	306	265	351	247	282	381

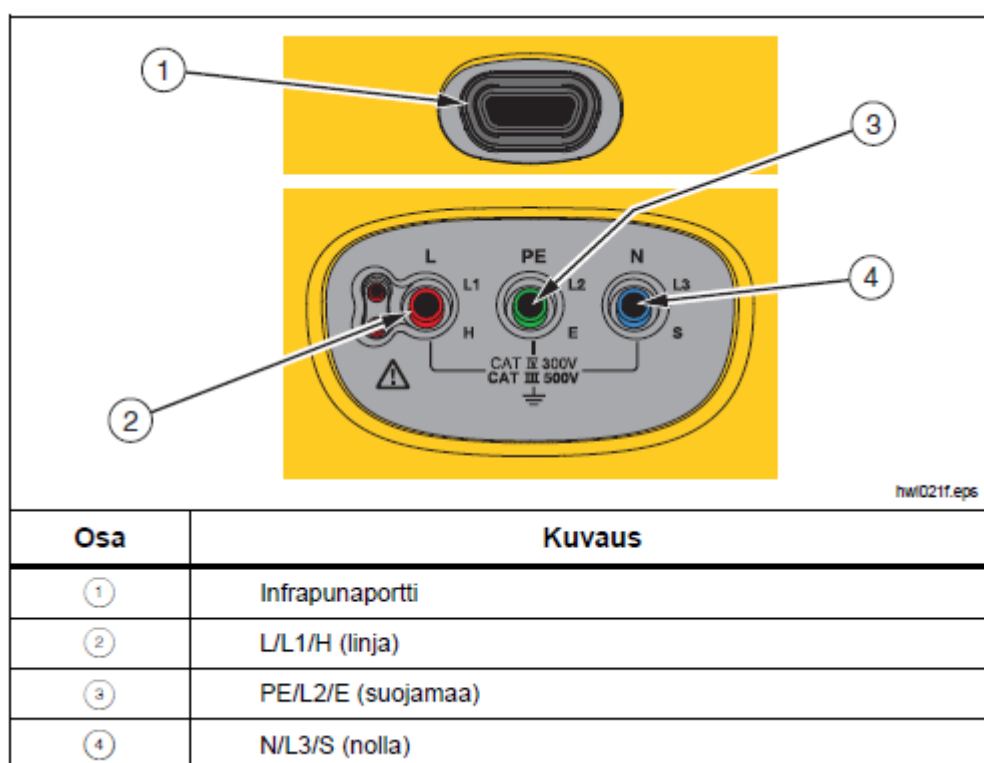
Taulukko 8. Kuormitettavuus ampeereina esitetyille asennustavoille – PEX-tai ERP-eristeiset kupari- tai alumiinijohtimet/kolme kuormitettua johdinta-Johtimien lämpötila 90 °C, ympäristön lämpötila: 30 °C ilmassa. [1, s. 256; 1, s. 263–264.]

Johtimen nimellispoikki- pinta	A1	A2	B1	B2	C	D1	D2	E
mm <sup>2</sup>								
Kupari								
1,5	17	16,5	20	19,5	22	21	23	23
2,5	23	22	28	26	30	28	30	32
4	31	30	37	35	40	36	39	42
6	40	38	48	44	52	44	49	54
10	54	51	66	60	71	58	65	75
16	73	68	88	80	96	75	84	100
25	95	89	117	105	119	96	107	127
35	117	109	144	128	147	115	129	158
50	141	130	175	154	179	135	153	192
70	179	164	222	194	229	167	188	246
95	216	197	269	233	278	197	226	298
120	249	227	312	268	322	223	257	346
150	285	259	342	300	371	251	287	399
185	324	295	384	340	424	281	324	456
240	380	346	450	398	500	324	375	538
300	435	396	514	455	576	365	419	621
Alumiini								
2,5	19	18	22	21	24	22	-	24
4	25	24	29	28	32	28	-	32
6	32	31	38	35	41	35	-	42
10	44	41	52	48	57	46	-	58
16	58	55	71	64	76	59	64	77
25	76	71	93	84	90	75	82	97
35	94	87	116	103	112	90	98	120
50	113	104	140	124	136	106	117	146
70	142	131	179	156	174	130	144	187
95	171	157	217	188	211	154	172	227
120	197	180	251	216	245	174	197	263
150	226	206	267	240	283	197	220	304
185	256	233	300	272	323	220	250	347
240	300	273	351	318	382	253	290	409
300	344	313	402	364	440	286	326	471

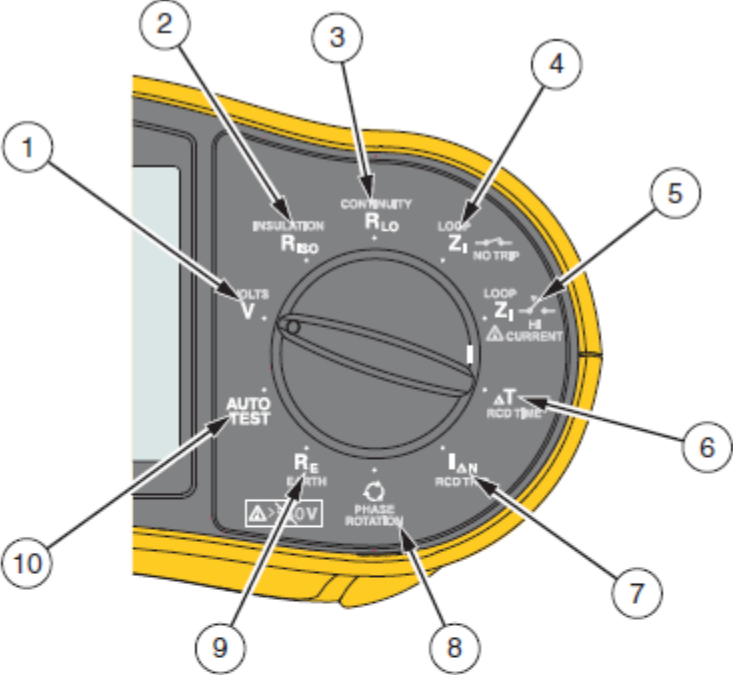
## 4 Käyttöönottomittaukset

### 4.1 Yleistä käyttöönottomittauksista

Ennen sähköasennusten käyttöönottoa on ne aina testattava ja tarkastettava. Myös muutostöiden jälkeen tulee suorittaa käyttöönottomittaukset. Tällä tavoin varmistetaan, että asennukset ovat tehty standardin mukaisesti ja ne noudattavat sähköturvallisuuslain ja valtioneuvoston asetuksia sähkölaitteiston vaatimuksista. [1, s. 25.] Käyttöönottomittaukset jaetaan yleisesti kahteen eri osioon, jotka ovat jännitteettömät- sekä jännitteelliset mittaukset. Työn aikana tulee myös suorittaa koko ajan aistinvaraista tarkastamista. Eri mittauksissa on mainittu mihin mittajohtimet kytketään sekä mikä mittausasento valitaan. Esimerkkinä käytetään Fluke 1663 mittaria, jonka mittausasennot sekä mittausjohtimien liittimet ovat esitettyinä kuvissa 2 ja 3.



Kuva 2. Mittausjohtimien liittimet [12, s. 17]. Fluke 1663 Käyttöönottomittarin porttien sijainnit sekä käyttötarkoitukset.



The diagram shows the dial of a Fluke 1663 multimeter with ten numbered callouts (1-10) pointing to specific measurement functions. The functions are: 1. Volts (V), 2. Insulation Resistance ( $R_{ISO}$ ), 3. Continuity ( $R_{Lo}$ ), 4. Loop Impedance (Z<sub>1</sub>) with 'NO TRIP' indicator, 5. Loop Impedance (Z<sub>1</sub>) with 'HI CURRENT' indicator, 6. RCD Trip Time ( $\Delta T$ ), 7. RCD Trip Current ( $I_{\Delta N}$ ), 8. Phase Rotation symbol, 9. Earth Resistance ( $R_E$ ), and 10. Auto Test function.

Osa	Symboli	Mittaustoiminto
①	V	Volts (Voltit)
②	$R_{ISO}$	Eristysvastus
③	$R_{Lo}$	Jatkuvuus
④	$Z_1$ NO TRIP	Silmukka/linjaimpedanssi – ei laukaisutilaa
⑤	LOOP $Z_1$ HI CURRENT	Silmukka/linjaimpedanssi – suuren virran laukaisutila
⑥	$\Delta T$ $\Delta$	Vikavirtasuojan laukaisuaika
⑦	$I_{\Delta N}$ $\Delta$	Vikavirtasuojaimen laukaisutaso
⑧	↻	Vaihekierto
⑨	$R_E$	Maadoitusresistanssi (vain 1663 ja 1664 FC)
⑩	AUTO TEST	Automaattinen testi (vain 1664 FC)

Kuva 3. Fluke 1663 käyttöönottomittarin kiertokytkin [12, s. 10]. Käyttöönottomittarin kiertokytkimen eri asennot ja selitykset mitä kullakin asennolla mitataan.

## 4.2 Aistinvaraiset tarkastukset

Aistinvaraiset tarkastukset suoritetaan koko työsuorituksen ajalta. Niiden laajuudesta johtuen voidaan yleisohjeena kohdentaa ne pääosin mekaaniseen ja vettä vastaan tehtyyn suojaukseen, kosketus- ja palosuojaukseen, dokumentaatioon sekä merkintöihin. Tapauskohtaisesti on myös monia muita vaatimuksia. Tyypillisessä pistorasia-asennuksessa huomioidaan, että käytetään oikeita suojalaitteita, jossa huomioidaan yhteensopivuus, selektiivisyys ja vastaavat asiat. Kaapelivalinnassa huomioidaan materiaalit sekä poikkipinnat asennustapaan verraten. Pistorasian tulee olla tilaan sopiva IP-luokituksensa puolesta. Itse kytkennässä käytetään oikeita johdinvärejä sekä varmistetaan, että liitokset on tehty oikein. Huollon ja käytön helpottamiseksi tehdään tarvittavat dokumentaatiot ja merkinnät. Esimerkiksi merkataan pistorasia, sekä suojalaite tai laitteet sekä piirretään tasokuvaan uusi asennus. [13, s. 11–13.]

## 4.3 Jännitteettömät mittaukset

### 4.3.1 Suojamaan jatkuvuus

Suojamaan jatkuvuus tulee mitata jokaisesta laitteesta erikseen. Jotta voidaan varmistua siitä, että nolla ja suojamaadoitusjohdin eivät ole vaihtuneet keskenään tulee TN-S-järjestelmässä nolla- ja suojamaadoitusjohtimen yhdistys irrottaa mittauksen ajaksi. Mikäli mittauksia tehdään ryhmäjohtotasolla, voidaan mittauksen ajaksi irrottaa keskusta syöttävän kaapelin nollajohdin. Aina ei kuitenkaan ole mahdollista toimia kuten edellä mainittiin, joten voidaan mitattavan ryhmän nollajohdin irrottaa ja näin varmistaa suojajohtimen jatkuvuus. [13, s. 19.]

Ennen mittaamista on huomioitava käytettävien mittajohtimien resistanssi. Ne voidaan joko mittarilla kompensoida tai mitataan mittajohtimien päät yhdessä ja vähennetään näiden tulos mittaustuloksesta. [13, s. 19.]

Itse mittauksessa voidaan toinen mittapää kytkeä keskuksen maadoitusrimaan ja toinen laitteen maadoituspisteeseen. Mikäli kaapelipituudet ovat suuria,

voidaan käyttää esimerkiksi yhtä vaihejohdinta mitta-apujohtimena. Kolmas yleinen tapa on käyttää asennuksen läheisyydessä jo mitattua referenssipistettä. [13, s. 21.] Kuvasta 3 nähdään että, jatkuvuusmittaus on kohdassa  $R_{Lo}$  ja kuvan 2 mukaisesti mittajohtimet kytketään L- ja PE-liittimiin.

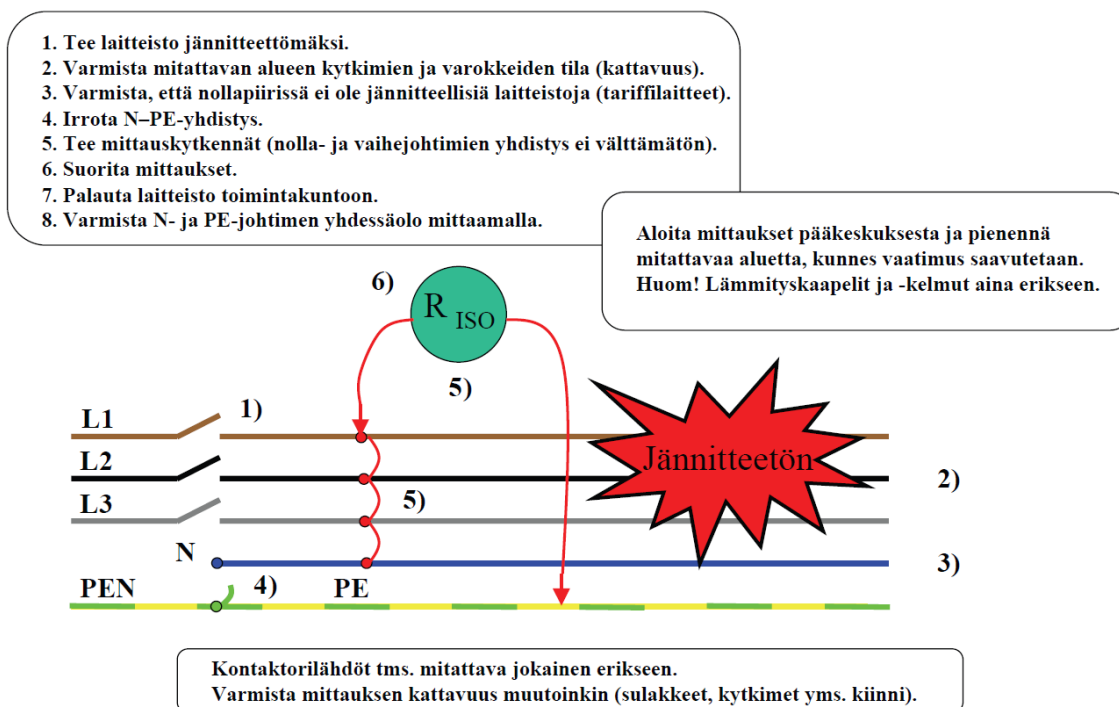
Mittaustulokset ovat jatkuvuusmittauksessa yleisesti melko pieniä. Tulokset vaihtelevat 0–2  $\Omega$ :n välillä. Eryyksen pitkillä johdonpituuksilla arvo voi ylittää 2  $\Omega$ :a. [13, s. 19.]

#### 4.3.2 Eristysvastus

Eristysresistanssimittaus tulee tehdä kaikkien jännitteisten johtimien ja maadoitusjohtimen väliltä. Tässä tulee huomioida, että TNS-S-järjestelmässä nollajohdin katsotaan jännitteiseksi johtimeksi ja TN-C-järjestelmässä PEN-johdinta pidetään osana maata. Ennen mittaamista tulee huomioida että, nolla- ja PE-johtimet ovat eriytetty toisistaan sekä mahdolliset elektroniset laitteet, ylijännitesuojat ja vastaavat ovat erotettu mitattavasta piiristä. Mikäli näitä laitteita ei voida erottaa, tulee koejännite pienentää 250 V:n tasajännitteeseen. Mittaustuloksen arvo tulee kuitenkin olla  $\geq 1$  M $\Omega$ :a. Näin meneteltäessä tulee siitä laittaa merkintä tarkastuspöytäkirjaan. Mittauksen alkuvalmisteluun sisältyy myös kaikkien johdonsuojakatkaisijoiden, sulakkeiden, vikavirtasuojakytkimien, ohjaus- ja käyttökytkimien sekä muiden vastaavien laitteiden laittaminen kiinni asentoon, kun mitataan isompaa asennuskokonaisuutta. [13, s. 23.] Mitatessa asennusta, joka lisätään vanhaan keskukseen, mitataan vain uusi asennus ennen sen kytkemistä keskukseen. Tällä tavalla voidaan varmistaa, että laajennus ei aiheuta tarpeetonta vaaraa vanhoihin asennuksiin.

Mittaaminen tapahtuu TN-järjestelmässä kytkemällä jännitteiset johtimet rinnan ja mittaamalla ne maadoitusjohdinta vasten 500 V:n tasajännitteellä. Mittaustuloksen minimiarvo on  $\geq 1$  M $\Omega$ :a. Kuvasta 3 nähdään, että eristysvastusmittaus on kohdassa  $R_{iso}$  ja kuvan 2 mukaisesti mittajohtimet kytketään L- ja PE-liittimiin. Kuvassa 4 on hyvä muistilista mittausvaiheiden järjestyksestä.





Kuva 4. Asennuksen eristysresistanssin mittaaminen [13, s. 26]. Eristysresistanssimittauksen työvaiheet järjestyksessä sekä mittausväli.

## 4.4 Jännitteelliset mittaukset

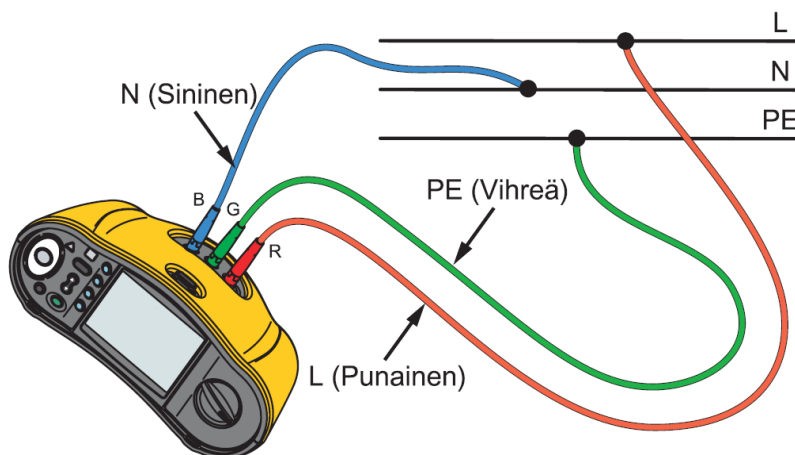
### 4.4.1 Syötön automaattinen poiskytkentä

TN-järjestelmässä syötön automaattisen poiskytkennän varmistaminen tapahtuu helpoiten mittaamalla vikavirtapiirin impedanssi. Tämän perusteella käyttöönottomittari osaa ilmoittaa oikosulkuvirran, jota verrataan suojalaitteen taulukossa vaadittuun arvoon. Mittauksia ei ole aina kuitenkaan välttämätöntä suorittaa, mikäli suojajohtimien jatkuvuudet ovat mittaamalla tarkistettu sekä vikavirtapiirien impedansseista on käytettävissä laskelmat. Tämän lisäksi tulee huomioida, että asennuksessa on käytetty laskelmissa olevia johtimien pituuksia ja poikkipintoja. Hyvänä tapana voidaan pitää sitä, että ainakin keskuksista otetaan mittatulokset, jotta voidaan varmistaa laskelmien paikkaansa pitävyyttä. [13, s. 30.]

Mittausta ei tarvitse jokaisesta pisteestä. Peruslähtökohtana mittaukset suoritetaan keskuksesta sekä siitä lähtevistä epäedullisimmista pisteistä. Tällaisia ryhmiä ovat tyypillisesti valaistusryhmät, joissa kaapelimatkat ovat pitkiä ja johdinpoikkipinnat pieniä. [13, s. 31–32.]

Vikavirtapiirin impedanssin on oltava TN-järjestelmällä sellainen, että syötön automaattinen poiskytkentä tapahtuu standardin edellyttämässä ajassa. Yleisesti toiminta-aika arvoja on kiinteistöjen pienjänniteverkossa kaksi, 0,4 s:a ja 5 s:a. Tulppa- ja kahvasulakkeilla tulee lyhyemmän toiminta-ajan oikosulkuvirta arvo olla selkeästi suurempi kuin pidemmällä toiminta-ajalla. Johdonsuojakatkaisijoilla aika-arvolla ei ole merkitystä, koska suojalaitteen vaatima oikosulkuvirta on molemmilla sama. 0,4 s:n. Laukaisuaikaa käytetään kaikkiin enintään 32 A:n ryhmäjohtoihin sekä enintään 63 A:n pistorasiaryhmiin. 5 s:n laukaisuaikaa käytetään keskuksien syöttöihin sekä yli 32 A:n kiinteiden asennusten ryhmäjohtoihin. Lisäksi tulee huomioida vikatilanteesta johtuvan lämpötilan nousu. Tämä huomioidaan siten, että mittaamalla saaduksi oikosulkuvirran arvoksi vaaditaan virta-arvo, joka on 1,25-kertainen toimintarajavirtaan verrattuna. [13, s. 32.]

Mittaaminen tapahtuu siten että, kuvan 3 mukaisesti valitaan impedanssi mittauksiin kohta  $Z_{I\ NO\ TRIP}$  ja mittajohdot kytetään kuvan 2 mukaisesti L-, N- ja PE-liittimiin. Tämän jälkeen kytke mittajohdot testattavan järjestelmän vaiheeseen, nollaan ja suojamaahan kuten kuvassa 5, tai liitä pistorasiaan pistotulpallinen mittajohdot. Mittaus tehdään väliltä L–PE. Taulukoista 9, 10 ja 11 voidaan nähdä eri suojalaitteiden toimintavirrat sekä vaaditut mitatut arvot.



Kuva 5. Mittausjohtojen kytkennät impedanssimittauksessa [12, s. 26].

Taulukko 9. Automaattien poiskytkennän takia vaadittavat oikosulkuvirrat eri suojalaitteilla [3, s. 93].

Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoilla ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta A	B-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A	C-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo 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	1000
125	625	781,3	1250	1562,5

Taulukko 10. Automaattien poiskytkennän takia vaadittavat oikosulkuvirrat eri suojalaitteilla [3, s. 93].

Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoilla ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta A	D-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo A	K-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo 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	1000	1250	600	750
63	1260	1575	756	945
80	1600	2000	960	1200
125	2500	3125	1500	1875

Taulukko 11. gG-sulakkeiden edellyttämät pienimmät oikosulkuvirrat [3, s. 94].

Pienimmät toimintavirrat gG-sulakkeille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta A	gG-sulake 0,4 s A	Vaadittu mitattu arvo A	gG-sulake 5,0 s A	Vaadittu mitattu arvo 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	315	393,8	190	237,5
50	470	587,5	250	312,5
63	550	687,5	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

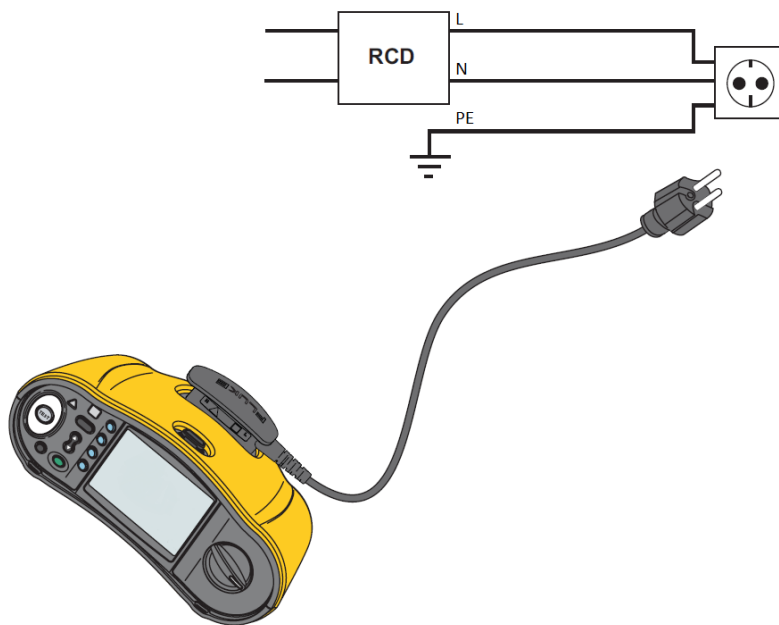
#### 4.4.2 Vikavirtasuojien mittaukset

Vikavirtasuojien tarkastukseen kuuluu testipainikkeen toiminnan testaus sekä laitteesta mitataan, että se toimii nimellistoimintavirrallaan ja poiskytkentäaika on alle vaaditun tason. [13, s. 34.]

Mittaaminen tapahtuu L–PE väliltä. Mittarissa kytketään mittajohdot kuvan 2. mukaisesti L- ja PE-liittimiin ja mitataan vikavirta vaiheen ja maadoituksen väliltä. Pistorasiaryhmissä voidaan käyttää pistotulpallista mittajohtoa kuten

kuvassa 6. Mittarista valitaan kuvan 3 mukaan  $\Delta T$  kun mitataan laukaisuaikaa tai  $I_{\Delta N}$  kun mitataan laukaisutasoa.

Laitestandardin mukaan toimintavirta tulee olla laukaisutasoa mitatessa yli 0,5- ja enintään 1-kertainen nimellistoimintavirtaansa nähden sinimuotoisella vikavirralla. Laukaisuaika tulee olla alle 300 ms:a nimellistoimintavirralla. [1, s. 353–354.] Esimerkiksi yleinen pistorasiaryhmien suojaukseen käytetty A-tyypin 30 mA:n vikavirtasuojaja tulee toimia 15–30 mA:n vikavirralla sekä laukaisuaika on oltava alle 300 ms:a.



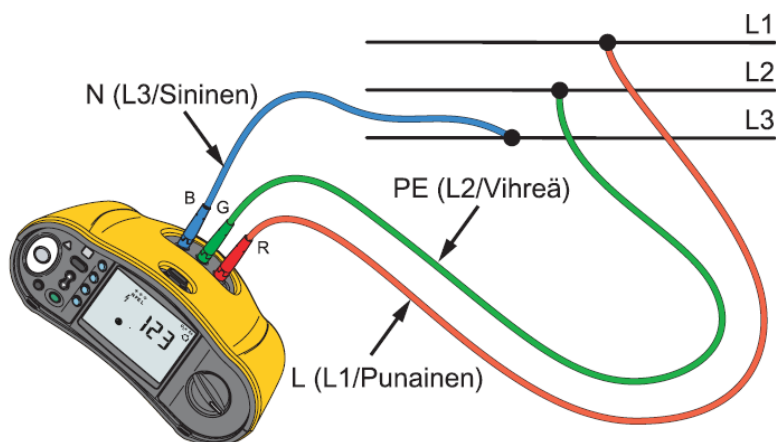
Kuva 6. Vikavirtasuojan mittaaminen pistotulpallisella mittajohdolla [12, s. 53].

#### 4.4.3 Kiertosuunta

Monivaiheisissa piireissä on tarkistettava kiertosuunta. Yleisiä asennuksia, joista kiertosuunta mitataan, olisi tyypillisesti keskukset, 3-vaiheiset pistorasiat, moottorien syötöt sekä vastaavat. Kiertosuunta on mitattava keskuksesta, vaikka siitä ei lähtisi yhtään monivaiheista ryhmäjohtoa. [13, s. 34.]

Mittaus itsessään on melko suoraviivainen. Valitaan mittarista vaihekierto, joka on esitetty kuvassa 3 ja mittariin kytketään kuvan 2 mukaisesti L-, N- ja PE-

mittajohtimet. Nämä kytketään mittarista ilmenevässä järjestyksessä asennuksen vaiheliittimiin- tai johtimiin kuten kuvassa 7. Mittaustuloksen tulisi olla 123.



Kuva 7. Kiertosuunnan mittauksen kytkennät [12, s. 54].

## 5 Esimerkkitalanteet työympäristössä ja kaavat mitoitukseen

### 5.1 22 kW:n laitteen sähköistys

Kohteeseen tulee teholtaan 22 kW:n 3-vaiheinen sähkölaite. Laitteen tehokerroin on 0,95. Tälle tulisi asentaa voimavirtapistorasiasia ja suorittaa tarvittavat mitaukset. Jotta voimme aloittaa asennuksen tulee ennen sitä selvittää mikä suojalaite ja kaapeli valitaan, jotta asennus täyttää standardin vaatimukset ja mitaustulokset ovat hyväksyttävät.

Asennusreitillä kuljetaan 32 m:ä tikashyllyä pitkin, jossa kolme muuta kaapelia. Kaapelit ovat toisissaan kiinni. Tämän jälkeen siirrytään latuhyllylle, jossa myös kolme muuta kaapelia, jotka ovat toisissaan kiinni. Latuhyllyllä kaapeli kulkee 7 m:ä. Tämän jälkeen kaapeli on seinän pinnalla alumiiniputkessa 2 m:n matkalta. Kohteen lämpötila on 25 °C koko asennuksen matkalta. Syöttävän keskuksen oikosulkuvirraksi on mitattu 1,2 kA:a. Kaapelin eriste on PVC.

Ensimmäisenä selvitetään laitteen virrat, jotta voidaan valita suojalaite. Käytetään kaavaa 2 virtojen laskemiseen:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi} = \frac{22000W}{\sqrt{3} \times 400V \times 0,95} = 33,4A \quad (2)$$

Laite kuluttaa noin 33,4 A:a virtaa. Keskuksessa on vapaana kahvalähtö ja laitteen kuluttaman virtojen perusteella voidaan valita seuraavan kulutusta suuremman sulakekoon, joka tässä tilanteessa olisi 35 A:a. Tässä kohtaa tulee myös huomioida gG-sulakkeiden tuoma lisävaatimus. Taulukosta 1 (s. 5) nähdään, että 35 A:n sulake vaatii kaapelin virrankestoksi 39 A:a.

Ennen kaapelin valitsemista tulee selvittää asennustavat ja niihin korjauskertoimet, jotta saadaan todellinen virtamäärä mikä kaapelissa maksimissaan kulkee.

Tikashylly osuus: Asennustapa E

Korjauskertoimet:

Taulukosta 4, lämpötila: 25 °C = 1,06

Taulukosta 3, muut kaapelit: 4 kuormitettua kaapelia nipussa = 0,8

Virrat kokonaisuudessaan:  $I = \frac{39A}{1,06 \times 0,8} = 46A$

Latuhylly osuus: Asennustapa C

Korjauskertoimet:

Taulukosta 4, lämpötila: 25 °C = 1,06

Taulukosta 3, muut kaapelit: 4 kuormitettua kaapelia nipussa = 0,75

Virrat kokonaisuudessaan:  $I = \frac{39A}{1,06 \times 0,75} = 50A$

Putkitusosuus: Asennustapa B2

Taulukosta 4, lämpötila: 25 °C = 1,06

$$\text{Virrat kokonaisuudessaan: } Z = \frac{39A}{1,06} = 37A$$

Kaapelin mitoitus tulee tehdä aina heikoimman tilanteen mukaan. Asennuksen heikoin osuus on se, jossa kaapeli kuormittuu eniten. Tässä esimerkissä heikoin tilanne oli asennustapa C, josta saatiin kaapelin vaatimaksi virrankestoksi 50 A:a. Tulos tulee aina pyöristää suojauksen kannalta turvallisempaan suuntaan.

Tämän jälkeen valitaan taulukosta 7 (s. 21) kaapeli, joka kestää asennuksen vaatimat virrat. Kaapeliksi voidaan valita kupari- tai alumiinikaapeli. Tässä tilanteessa tulee kuitenkin huomioida voimavirtapistorasian liittimien koko. Usein esimerkiksi jakokeskuksissa tai muissa suuri virtaisissa laitteissa käytetään alumiinia kustannussyistä. Tämän kaltaisissa pienemmissä asennuksissa usein koje mihin kaapeli kytketään ei ole tarkoitettu kovin suurelle kaapelikoolle. Tyypillisesti tämän kaltaisessa asennuksessa käytetään kuparia, joka olisi asennustavan C mukaan PVC-eristeinen MMJ 5x10 S, jossa virrankestoisuus on 57 A:a.

Kun suojalaite- ja kaapelivalinta on tehty, voidaan tarkistaa riittääkö oikosulkuvirta kulutusasteella, jotta syötön automaattinen poiskytkentä toimii vikatilanteessa. Käytetään laskentaan osiossa 5.3 olevia impedanssin- sekä oikosulkuvirran kaavoja.

Keskuksen impedanssi:

Lasketaan kaavaa 3 hyödyntäen keskuksen impedanssi, kun keskuksen oikosulkuvirta on 1,2 kA:a:

$$Z = \frac{C \times U}{\sqrt{3} \times I_k} = \frac{0,95 \times 400V}{\sqrt{3} \times 1200A} = 0,183\Omega \quad (3)$$

Kaapelin impedanssi:

Kaapelin pituus yhteensä 41 m:ä. Taulukosta 2 (s. 16) saamme MMJ 5x10S johtimien impedanssit, jotka sijoitetaan kaavaan 5:

$$Z_k = (Z_L + Z_{PE}) \times l = \left( \frac{2,246\Omega}{\text{km}} + \frac{2,246\Omega}{\text{km}} \right) \times 0,041\text{km} = 0,184\Omega \quad (5)$$



Keskuksen sekä kaapelin impedanssi yhteensä:

$$Z_{\text{keskus}} + Z_{\text{kaapeli}} = 0,183\Omega + 0,184\Omega = 0,367\Omega$$

Oikosulkuvirta:

Lasketaan pistorasiolla ilmenevä laskennallinen oikosulkuvirta kaavan 4 mukaisesti:

$$I_k = \frac{C \times U}{\sqrt{3} \times Z} = \frac{0,95 \times 400V}{\sqrt{3} \times 0,367\Omega} = 597,8 \rightarrow 597A \quad (4)$$

35 A:n gG-sulakkeen oikosulkuvirtavaatimus nähdään taulukosta 11 (s. 30), joka on mitattuna arvona 0,4 sekunnin poiskytkentäajalla 206,3 A:a. Asennuksen kulutusasteella oikosulkuvirta on 597 A:a, joten suojaus toteutuu.

## 5.2 Maksimi kaapelin pituus UPS-keskukselta

Työskentelykohteessa on UPS-laite, jossa on hyvin pienet oikosulkuvirrat. Tämän vuoksi käytetään pistorasiaryhmissä Z8-johdonsuojakatkaisijoita, joiden oikosulkuvirtavaatimus 0,4 sekunnin poiskytkentä ajalla on 30 A:a. UPS-ryhmissä tulee yleensä oikosulkuvirta laskea, koska UPS-laitteen ollessa välissä, sitä ei pystytä kunnolla mittaamaan. Tässä esimerkkitalanteessa tutkitaan kuinka pitkä MMJ 3x2,5S kaapeli voidaan maksimissaan kaapeloida pistorasiaryhmälle, siten että syötön automaattinen poiskytkentä toimii vaaditulla tavalla.

UPS-keskuksen oikosulkuvirroiksi saatiin mittaamalla 462 A:a. Tämän voimme muuttaa impedanssiksi käyttämällä kaavaa 3:

$$Z_{Rk} = \frac{C \times U}{\sqrt{3} \times I_k} = \frac{0,95 \times 400V}{\sqrt{3} \times 462A} = 0,475\Omega \quad (3)$$

Tämän jälkeen sijoitetaan tulokset kaavaan 6, jolla voidaan laskea kaapelin maksimipituus:

$$L = \frac{\frac{C \times U}{\sqrt{3} \times I_k} - Z_{Rk}}{Z_L + Z_{PE}} = \frac{\frac{0,95 \times 400V}{\sqrt{3} \times 30A} - 0,475\Omega}{8,77\Omega/km + 8,77\Omega/km} = 0,39km \rightarrow 390m \quad (6)$$

UPS-keskukselta voidaan kaapeloida maksimissaan 390 m:n pituinen 2,5mm<sup>2</sup>:n kuparinen ryhmäjohto siten, että suojaus toteutuu.

### 5.3 Mitoituksessa hyödyllisiä kaavoja

#### 5.3.1 Virta

Useasti laiteessa jolle sähköasennus tehdään, lukee arvokilvessä tai työohjeessa vain teho. Jotta päästään valitsemaan sopivaa suojalaitetta tulee laskea tehosta nimellisvirta kaavalla 2:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi} \quad (2)$$

$I$  on nimellisvirta (A)

$P$  on laitteen teho (W)

$U$  on pääjännite (V)

$\cos\varphi$  on tehokerroin [3, s. 242.]

#### 5.3.2 Impedanssi

Lähdettäessä tekemään asennusta keskukselta kulutuspaikalle tulee myös huomioida syöttävän keskuksen impedanssi. Mikäli keskukselta tiedetään oikosulkuvirta, voidaan impedanssi laskea kaavalla 3:

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

$Z$  on virtapiirin kokonaisimpedanssi ( $\Omega$ )

$C$  on kerroin 0,95, joka ottaa huomioon jännitteenalenneman asennuksessa

$U$  on pääjännite (V)

$I_k$  on pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta (A) [3, s. 101.]

### 5.3.3 Oikosulkuvirta

Kun tehdään suojalaite ja kaapelivalintoja tulee selvittää kulutusasteessa ilmevä oikosulkuvirta ja varmistua, että se on riittävän suuri valitulle suojalaitteelle. Oikosulkuvirta lasketaan kaavalla 4:

$$I_k = \frac{C \times U}{\sqrt{3} \times Z} \quad (4)$$

$I_k$  on pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta (A)

$C$  on kerroin 0,95, joka ottaa huomioon jännitteenaleneman asennuksessa

$U$  on pääjännite (V)

$Z$  on virtapiirin kokonaisimpedanssi ( $\Omega$ ) [3, s. 95.]

### 5.3.4 Kaapelin impedanssi

Kohdassa 5.3.2 selvitimme syöttävän keskuksen impedanssin, mutta jotta saamme koko asennuksen matkalta impedanssin selvitettyä, tulee myös laskea asennuksessa käytettävän kaapelin impedanssi. Kaapelin impedanssi saadaan laskettua kaavalla 5:

$$Z_k = (Z_L + Z_{PE}) \times l \quad (5)$$

$Z_k$  on kaapelin impedanssi ( $\Omega$ )

$Z_L$  on vaihejohtimen impedanssi ( $\Omega/\text{km}$ )

$Z_{PE}$  on maadoitusjohtimen impedanssi ( $\Omega/\text{km}$ )

$l$  on kaapelin pituus (km) [3, s. 104.]

### 5.3.5 Kaapelin maksimi pituus

Välillä voi olla hyödyllistä laskea kaapelin maksimi pituus ennen työn aloittamista. Tyypillisiä tilanteita olisi esimerkiksi asennukset, joissa vaaditaan suuria oikosulkuvirtoja ja kaapelointi matka on pitkä tai syöttävän keskuksen oikosulkuvirrat ovat pienet. Mikäli nämä huomioidaan ajoissa, voidaan tehdä tarvittavat muutokset heti aluksi. Kaapelin maksimi pituus lasketaan kaavalla 6:

$$L = \frac{\frac{C \times U}{\sqrt{3} \times I_k} - Z_{Rk}}{Z_L + Z_{PE}} \quad (6)$$

$L$  on johdon pituus (km)

$C$  on kerroin 0,95, joka ottaa huomioon jännitteenaleneman asennuksessa

$U$  on pääjännite (V)

$I_k$  on halutun suojalaitteen oikosukuvirta, jolla syötön automaattinen poiskytkentä toimii vaaditussa ajassa (A)

$Z_{Rk}$  on impedanssi ennen suojalaitetta, esimerkiksi syöttävä keskus ( $\Omega$ )

$Z_L$  on vaihejohtimen impedanssi ( $\Omega/\text{km}$ )

$Z_{PE}$  on maadoitusjohtimen impedanssi ( $\Omega/\text{km}$ ) [3, s. 96.]

## 6 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli koota opas, joka toimii sähköasentajilla työkaluna tilanteissa, joissa lähtötiedot asennuksesta ovat vähäiset. Työssä pyrittiin tuomaan esille keskeisimmät suojalaitteet, kuinka kaapeli vaalitaan sekä mitoitetaan oikeaoppisesti ja ohjeet lopullisen asennuksen käyttöönottomittauksiin.

Sähköalasta löytyy todella paljon kirjallisuutta, standardeja, ohjeita sekä muita vastaavia, joita tulee huomioida tavallisimmissakin sähköasennuksissa. Tästä johtuen usein voi olla haastavaa löytää juuri tiettyjä ohjeita kiireellisessä työympäristössä. Oppaan avulla sähköasentaja pystyy itsenäisesti tekemään valtaosan sähköasennuksista, siten että vähäisilläkin lähtötiedoilla pystytään suorittamaan tarvittavat laskelmat, valitsemaan kohteeseen sopivat laitteet ja tarvikkeet, sekä mittaamaan asennuksen siten, että se täyttää standardien vaatimukset tai havaitsemaan mahdolliset puutteet.

Standardit uusiutuvat ja niitä kehitetään jatkuvasti, mutta tämän oppaan avulla sähköasentaja pystyy hahmottamaan minkä tyyppisiä asioita asennuksissa tulisi aina huomioida. Tämä helpottaa tietojen päivittämistä tulevaisuudessakin. Oppaassa on tarpeelliset tiedot suureen osaan asennuksista helposti mukana pidettävässä muodossa, esimerkiksi matkapuhelimessa.

## Lähteet

- 1 SFS-käsikirja 600-1-1. 2017. Pienjännitesähkösäennukset. Yleisvaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 2 Pienjännitekojeet, Esite 0F1FI 11-09. Verkkoaineisto. ABB. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1SCC317002C1801&LanguageCode=fi&DocumentPartId=&Action=Launch>> Luettu 7.2.2022.
- 3 D1-2017. 2017. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähköinfo.
- 4 SFS 5855:2019. 2019. Pienjännitevarokkeet. Maallikoiden käyttöön tarkoitettujen varokkeiden lisävaatimukset (pääasiassa kotitalouksiin ja vastaviihin käyttöihin tarkoitettut varokkeet). D-tyyppin varokkeet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 5 Pienjännitekojeet, Esite S200\_1FI 03\_10. Verkkoaineisto. ABB. <<https://library.e.abb.com/public/6b2e3b61cdc65b49c2256e7e0026aeb4/1SCC400004C1801.pdf>> Luettu 13.2.2022.
- 6 SFS-käsikirja 600-1-2. 2017. Pienjännitesähkösäennukset. Erikoistilojen ja täydentävät vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 7 Asennuskaapelit. Verkkoaineisto. Reka. <<https://www.reka.fi/tuoteryhma/asennuskaapelit-eca/>> Luettu 19.3.2022.
- 8 Voimakaapelit. Verkkoaineisto. Reka. <<https://www.reka.fi/tuoteryhma/voimakaapelit/>> Luettu 19.3.2022.
- 9 Palossa toimivat kaapelit. Verkkoaineisto. Reka. <<https://www.reka.fi/tuoteryhma/palossa-toimivat-kaapelit/>> Luettu 20.3.2022.
- 10 Axmk. Verkkoaineisto. Reka. <<https://www.reka.fi/tuoteryhma/axmk/>> Luettu 20.3.2022.
- 11 SFS-EN 50565-1:2014. 2014. Energiakaapelit. Mitoitusjännitteiltään enintään 450/750 V (U0/U) pienjännitekaapelien käyttöohjeet. Osa 1: Yleiset ohjeet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 12 1662/1663/1664 FC Electrical installation tester. Käyttöohje. Verkkoaineisto. Fluke. <[https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/166x\\_\\_\\_\\_um-fin0100.pdf](https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/166x____um-fin0100.pdf)> Luettu 28.3.2022.

- 13 Rakennusten sähköasennusten tarkastukset. 2018. ST-Käsikirja 33. Helsinki: Sähköinfo Oy.