



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# KIINTEISTÖJEN PÄÄVIRTA- PIIRIT JA NIIDEN SÄHKÖ- TEKNISET RATKAISUT

TEKIJÄ: Juuso Rissanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Juuso Rissanen			
Työn nimi Kiinteistöjen päävirtapiirit ja niiden sähkötekniset ratkaisut			
Päiväys	11.5.2020	Sivumäärä/Liitteet	72/1
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Voimatel Oy, Harri Smolander liiketoiminnan kehityspäällikkö			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa Voimatel Oy:lle tietopaketti siitä, mitä sähkötekniisiä mitoitusperusteita tulee ottaa huomioon, kun teollisuus-, kauppa, yms. kiinteistöjen päävirtapiireihin tehdään muutoksia. Pääpainona on suurten kiinteistöjen ja teollisuuden päävirtapiireihin tehtävät muutokset. Tällaisissa virtapiireissä virrat ovat yleensä yli 800 A. Nämä siirtotiet ovat muuntajan sekä jakokeskuksen välissä. Lisäksi selvitettiin mitä asennusteknisiä asioita tulee ottaa huomioon suunniteltaessa näiden muutosten tekemistä.</p> <p>Työn tekeminen aloitettiin perehtymällä yhteen mahdolliseen muutokseen, joka tehtiin päävirtapiiriin. Tässä tapauksessa päävirtapiiri katkaistiin ja siihen kytkettiin sarjaan lisälaitte, jolla parannetaan sähkönlaatua sekä pienennetään sähkön kulutusta. Työssä tutkittiin laitteiden lisäystä yleisellä tasolla. Tämän jälkeen selvitettiin sähköturvallisuuslain sekä standardien vaatimuksia sekä ST-kortiston antamia ohjeita tällaisten muutosten tekemiseen.</p> <p>Lisättäessä päävirtapiireihin laitteita kaapelimatkat yleensä pitenevät ja verkkoon tulee kaapeleiden ja laitteiden mukana lisää vastusta. Muutosten yhteydessä tarkastetaan kiinteistön tehontarve ja sen perusteella kaapeleiden kuormitettavuudet. Muutos voi vaikuttaa ylivirtareleiden asetuksiin. Myös oikosulkusuojaukseen voi tulla muutoksia, sillä kaapeleiden ja laitteiden tuoma impedanssi pienentää oikosulkuvirtaa. Muutosten myötä on kiinteistön selektiivisen suojauksen täytyminen myös tarkastettava.</p>			
Avainsanat Päävirtapiiri, suojaus, sähkötekniinen mitoittaminen, oikosulkuvirta, selektiivisyys			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Juuso Rissanen			
Title of Thesis Electrotechnical solutions for main circuits in real estate			
Date	11 May 2020	Pages/Appendices	72/1
Client Organisation /Partners Voimatel Oy, Harri Smolander business development manager			
<p>Abstract</p> <p>The aim of the thesis was to produce an information package about different electrotechnical details should be taken into account, when making changes to the main circuits of industrial, commercial etc. estates. The main focus was on large real estates and industry where the currents used are over 800 A. The transport links are located between the transformer and the main switchgear. In addition, it was researched what kind of installation technical issues must be taken into account when planning to make these changes.</p> <p>This thesis was started by getting acquainted with one possible change which is made on the main circuit. The main circuit was cut off, and an additional device was connected in series. The purpose of this device is to improve the quality of electricity, as well as to reduce the consumption. However, the thesis examined changes at a general level by getting acquainted with the electrical safety act as well as other standard requirements.</p> <p>As a result of this thesis, it was found out that when connecting to the main circuits by adding new devices, the cable distances are getting longer, and more impedance is placed to the grid. In the context of changes, the peak power must be checked and as a result the maximum capacity of the cables must also be checked. This change can have an effect on the overload relays, as well as on the short circuit protection due to increased impedance. The selectivity of the protection must also be checked out.</p>			
<p>Keywords Main circuit, protection, electrotechnical dimensioning, short cut, selectivity</p>			

## ESIPUHE

Opinnäytetyön toimeksiantajani oli Voimatel Oy. Heidän puoleltaan vastuussa oli Harri Smolander, jolta aiheeni sain. Työni kanssa samaan aikaan oli tekeillä toinen opinnäytetyö, jossa perehdyttiin suunnitteluprosessiin, joka liittyi muutoksiin päävirtapiireissä.

Työssä tutustuttiin aluksi päävirtapiiriin kytkettävään järjestelmään, jolla on energian säästö ja laadun kannalta merkittävää vaikutusta teollisuusverkossa. Tätä kautta oli ajatuksena tutustua laitteisiin, jotka liitetään järjestelmään ja mitä siinä huomioidaan. Työn kuva muuttui matkan aikana, sillä sen oli alun perin ajatuksena saada mahdollisimman käytännön painotteinen ja keskittyä käytännön ratkaisuihin enemmän. Työn edetessä ilmeni kuitenkin Voimatel Oy:n puolelta toiveita selvittää enemmän oikosulkuvirtoihin ja niiden huomioimiseen liittyviä asioita. Toiveen mukaisesti siirryin perehtymään oikosulkulaskentaan, joka oli ennestään hieman tuntematon aihealue. Muutoksen seurauksena tutustumista oikosulkuun, ylivirtoihin ja katkaisijoihin sekä selektiivisyyteen liittyvää teoriaa ei voinut ohittaa, jotta saisi käsityksen mistä on kyse. Teoriaosuus sen myötä laajeni hyvin suureksi. Lisäksi tähän meni hyvin paljon enemmän aikaa, kuin oli suunniteltu. Muuttunut maailman tilanne koronaviruksen suhteen myös aiheutti hieman lisäharmia, kun julkiset kokoontumiset rajoitettiin ja jopa kiellettiin. Samalla osa julkisia tiloja suljettiin, kuten kirjastot.

Haluan kiittää Voimatel Oy:tä ja sieltä Harri Smolanderia sekä Arto Kettusta, jotka jakoivat tietoaan ja haastoivat muuten työtäni. Lisäksi haluan kiittää Savonia ammattikorkeakoulun yliopettaja Juhani Rouvalia ohjauksestani. Lisäksi toivon kaikille osapuolille terveyttä ja menestystä tulevaisuudessa.

Kuopiossa 11.5.2020

Juuso Rissanen

## SISÄLTÖ

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT .....	8
1 JOHDANTO .....	9
2 VOIMATEL OY .....	10
3 LAIT JA STANDARDIT .....	11
4 PÄÄVIRTAPIIRIT .....	12
4.1 Yleiset rakenteet .....	12
4.2 Muuntaja .....	13
4.3 Virtatie .....	14
4.3.1 Kaapelit .....	15
4.3.2 Kiskosilta .....	16
4.4 Jakokeskus .....	17
4.5 Katkaisijat, releet, sulakkeet .....	17
4.6 Mahdolliset muut laitteet .....	18
5 OIKOSULKU JA VIKAVIRRAT .....	19
5.1 Oikosulkuvirran laskenta .....	21
5.1.1 Kolmivaiheinen oikosulkuvirta .....	23
5.1.2 Kaksivaiheinen oikosulku .....	25
5.1.3 Yksivaiheinen oikosulku .....	26
5.2 Oikosulkupiirien komponenttien laskeminen .....	27
5.2.1 Syöttävä verkko .....	27
5.2.2 Muuntaja .....	28
5.2.3 Sarjakuristin .....	29
5.2.4 Johdot kaapelit ja kiskot .....	29
5.2.5 Epätahtimoottorit .....	30
5.3 Oikosulkuvirran laskenta Theveninin menetelmällä .....	30
5.3.1 Alkuoikosulkuvirta .....	31
5.3.2 Sysäysoikosulkuvirta .....	32
5.3.3 Terminen oikosulkuvirta .....	33
5.3.4 Jatkuvan tilan oikosulkuvirta .....	34
6 SÄHKÖTEKNINEN MITOITTAMINEN .....	35
6.1 Mitoitusteho ja mitoitusvirta .....	35

6.2	Olemassa oleva järjestelmä .....	36
6.3	Verkon suojaus .....	36
6.3.1	Ylivirtasuojaus.....	36
6.3.2	Johtimen määrittäminen ja kuormitettavuus .....	39
6.3.3	Kaapelin jännitteenalenema .....	41
6.3.4	Oikosulkusuojaus .....	42
6.3.5	Sulakkeeton suojaus.....	44
6.3.6	Johdonsuojakatkaisija.....	44
6.3.7	Pienjännitekatkaisijat.....	45
6.3.8	Katkaisijoiden mitoitusarvot ja katkaisukyvyt.....	46
6.3.9	Suojareleet .....	47
6.4	Sulakkeellinen suojaus .....	48
6.5	Selektiivisyyden tarkastelu .....	50
6.5.1	Selektiivisyys ja epäselektiivisyys.....	50
6.5.2	Aikaselektiivisyys.....	52
6.5.3	Virtaselektiivisyys .....	53
6.6	Verkon selektiivinen suojaus .....	54
6.7	Suojauksen valinta .....	55
6.8	Jakokeskuksen oikosulkusuojaus ja oikosulunkestävyys.....	56
6.9	Suojajohtimen mitoittaminen .....	58
7	LAITTEISTON ASENNUKSEN SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVAA .....	60
7.1	Laitteiston perustiedot.....	60
7.2	Sijoittaminen .....	60
7.2.1	Keskustila .....	60
7.2.2	Muuntamo-tila.....	64
7.3	Johtojärjestelmä ja asennustapa .....	64
7.3.1	Kaapelihyllyt .....	64
7.3.2	Kaapelin kiinnitys .....	65
7.3.3	Läpivientien palosuojaus.....	65
7.4	Päävirtapiiriin ja keskukseen liittyminen.....	67
7.4.1	Kaapeliliitokset.....	67
7.4.2	Kiskoliitokset.....	69
7.4.3	Liitoksissa huomioitavaa .....	70

8 YHTEENVETO.....	71
LÄHTEET .....	72
LIITE 1: KERTOIMEN K ARVO SUOJAJOHTIMEN MITOITUKSEEN.....	75

## LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

Al	Alumiini
CENELEC	European Committee for electrotechnical standardization eli sähköalan eurooppalainen standardointijärjestö
Cu	Kupari
$I^2t$	Joule-integraali
IEC	International electrotechnical commission eli sähköalan maailmanlaajuinen standardointijärjestö
$K^2A^2$	Energiakestoisuuden arvo
KJ	Keskijännite
PJ	Pienjännite
SFS	Suomen standardoimisliitto
SJ	Suurjännite



## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyöksi valikoitui kiinteistöjen päävirtapiirit sekä niiden muokkaamisessa ja suojauksessa huomioitavat asiat. Päävirtapiirit kulkevat muuntajan ja pääkeskuksen välissä ja niiden kautta kulkevat kaikki kiinteistön virrat. Pääpaino on suurvirtapiireissä, joiden virta on yli 800 A. Työssä sivuttiin aiheita, jotka ovat sovellettavissa myös päävirtapiirien ulkopuolelle. Työn pääpaino on toteutuksen sähköteknisissä mitoitusratkaisuissa ja rakenteissa. Työssä tutustutaan myös virtapiirien suojaukseen ja suojauksessa huomioitaviin asioihin.

Aihe on ajankohtainen, koska energian käytön profiileja on erilaisia. Lisäksi käytettävät päävirtapiirit tulee suunnitella ja valmistaa vastaamaan asiakkaan tarpeita. On tärkeää tietää, millaista kuormaa on tulossa uudiskohteeseen, jotta asioihin voidaan vaikuttaa mahdollisimman paljon etukäteen. Myös jo olemassa olevissa vanhoissa kohteissa sähkön laatu voi olla paikoin heikkoa ja sen parantamiseksi on pyrittävä toimimaan. Työssä esitetään yleisimpiä käytössä olevia päävirtapiiriratkaisuja sekä miten mahdollisesti niihin tehtäviä muutoksia on huomioitava sähköteknisissä mitoituksissa. Näitä muutoksia ovat esimerkiksi keskitetyn suodatuksen lisääminen päävirtapiiriin, sähkön laadun ja energiatehokkuuden parantamiseksi. Myös energiatuotantojärjestelmiä voidaan liittää päävirtapiireihin.

Aihe on mielenkiintoinen ja hyvin tulevaisuuspainotteinen, jotta kiinteistöjen sähköverkot saadaan pidettyä toimintakuntoisena ja taloudellisena jatkossakin sekä laitteiston elinkaari olisi mahdollisimman pitkä. Myös laitteiston käytettävyyden kannalta on mitoituksia tarkasteltava muutostöitä tehtäessä. Työn tarkoituksena on saada aikaan tietopaketti siitä, millaisia sähkötekniisiä mitoituksia liittyviä tekijöitä on otettava huomioon, kun rakennetaan uutta tai tehdään muutoksia olemassa oleviin järjestelmiin.

## 2 VOIMATEL OY

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Voimatel Oy. Voimatel Oy on vuonna 2001 perustettu, täysin kotimainen ja suomalaisomisteinen yritys. Sen omistaa täysin Osuuskunta KPY. Pääkonttori sijaitsee Siilinjärven Toivalassa osoitteessa Kapteeninväylä 5. Toimipisteitä on lisäksi 23:llä muulla paikkakunnalla ympäri Suomen. Voimatel Oy:n organisaatiossa on yli 900 palveluammattilaista. Voimatelilla on lisäksi tytäryhtiö BofTel, jolla on toimipisteet Viron Tallinnassa ja Puolan Szczecinissä. (Voimatel Oy, 2020)

Voimatel Oy tarjoaa tiedon ja energian liikkumiseen liittyviä palveluita. Toimintaan kuuluu sähkö- ja tietoliikenneverkkojen suunnittelu, rakentaminen, ylläpito sekä operointi. Lisäksi palveluihin kuuluu energiajärjestelmäpalvelut, joka jakautuu aurinkoenergiapalveluihin, sähköisen liikenteen palveluihin, energianvarastoinnin palveluihin sekä energian käytön optimointiin liittyviin palveluihin. (Voimatel Oy, 2020)

### 3 LAIT JA STANDARDIT

Kun suunnitellaan uutta laitteistoa tai tehdään muutoksia jo olemassa olevaan laitteistoon, sähköturvallisuuslaki 1135/2016 määrittelee sähkölaitteita ja -laitteistoja koskevat yleiset vaatimukset. Lain 6§:n vaatimukset ovat

1. Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että
  - niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa,
  - niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä,
  - niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.
  
2. Jos sähkölaite tai -laitteisto ei täytä 1 momentissa säädettyjä edellytyksiä, sitä ei saa saattaa markkinoille, luovuttaa toiselle eikä ottaa käyttöön. (Sähköturvallisuuslaki: 1135/206, 2016)

Maailmanlaajuiset standardit (IEC) ja eurooppalaiset standardit (CENELEC) ovat perusta suomalaisiin standardeihin. Standardien asema on hyvin vahva, vaikka näiden standardien noudattaminen ei kuitenkaan ole pakollista. Poikettaessa standardeista on poikkeajan pystyttävä erikseen osoitettava ratkaisujen täyttävän turvallisuusvaatimukset. Keskeiset standardit sähköalalla ovat pienjännitesähköasennuksia koskeva standardisarja SFS 6000, joka perustuu IEC:n standardisarjaan IEC 60 364. Suurjännitesähköasennuksia koskee standardi SFS 6001. Käsikirjaan D1-2017 on koottu standardin SFS 6000 pohjalta selventäviä vaatimuksia. (Sähköala.fi, Standardit)

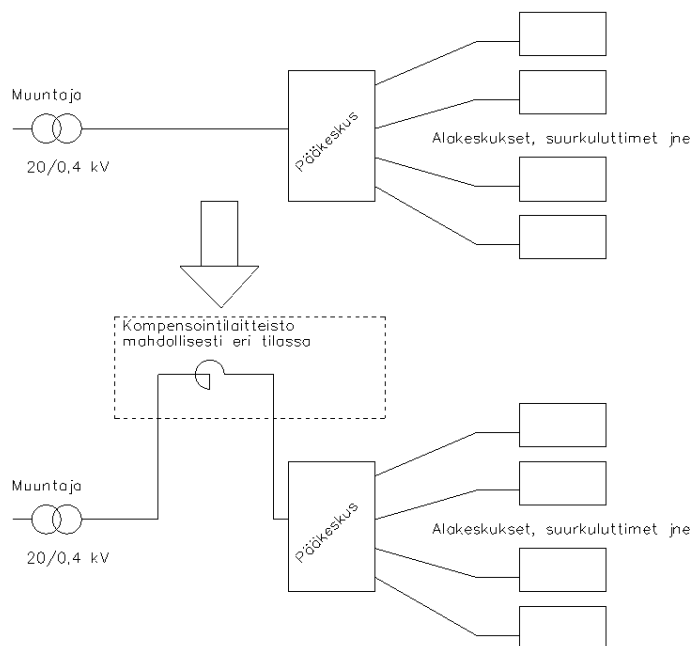
Käytännön asennusratkaisujen suunnittelemiseksi ja toteuttamiseksi on sähköalalle laadittu ohjeistoja edellä mainittujen määräysten ja standardien tueksi. Tärkeimmät näistä ovat Sähkötieto ry:n sähkötietokortisto eli ST-kortisto. Tämä kortisto kattaa sähköisen talotekniikan keskeiset osa-alueet ja sisältää yli 500 ST-korttia, 17 käsikirjaa sekä ohjeistoja ja esimerkkiä. Asennussuosituksia on saatavissa Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL:n sivuilla. Lisäksi heillä on kattava kirjasarja sähköalaan liittyen. (Sähköala.fi, Ohjeet ja lisätiedot)

## 4 PÄÄVIRTAPIIRIT

Kiinteistöissä päävirtapiirit ovat kiinteistön sähkönjakelujärjestelmän kannalta tärkeässä roolissa, sillä niiden kautta kulkee kaikki kiinteistöllä käytettävä energia. Päävirtapiirit koostuvat keskijänniteliittymän jälkeen muuntajasta, siirtotiestä sekä jako- tai pääkeskuksesta.

### 4.1 Yleiset rakenteet

Suurissa kauppakiinteistöissä ja teollisuudessa on sähkön kulutus monesti erittäin suurta. Esimerkiksi kauppakeskuksissa monet laitteet toimivat 400 V:n pääjännitteellä ja laitteita on useita. Pääjännitteen ollessa pieni, pääkeskukselle tulevat virrat ovat suuria. Monesti tällainen kiinteistö liittyy sähkönsiirtoverkkoon keskijänniteliittymällä. Tällöin kiinteistölle vaaditaan oma muuntamo tai tarpeen mukaan useampikin eripuolille kiinteistöä. Kyseessä on tällöin kiinteistömuuntamo, kun muuntamo on sijoitettu kiinteistöön. Muuntamalla muutetaan esimerkiksi kiinteistöön tuleva 20 kV:n keskijännite jokaiselle laitteelle sopivaksi käyttöjännitteeksi, esimerkiksi 0,4 kV:n pienjännitteeksi. Kuvassa 1 on esitetty periaatepiirros, millainen muutos muuntajan pääkeskuksen välille tehdään.



KUVA 1. Periaatekuva päävirtapiiriin sarjaan liitetystä lisälaitteesta.

Pienjännite siirretään muuntajalta pääkeskukselle päävirtapiiriä pitkin. Päävirtapiirit on mahdollista toteuttaa erilaisilla ratkaisuilla, kuten suurvirtakaapeleilla, rinnankytketyillä kaapeleilla tai kiskosiloilla. Piiriin liitettävä laitteisto ei aina välttämättä sovi pääkeskus- tai muuntamotilaan, tällöin reitityksen aiheuttamat lisäkaapeloinnit tulee huomioida mitoituksissa.

## 4.2 Muuntaja

Jokaisella keskijänniteliityjällä on oltava vähintään yksi oma muuntaja kiinteistössään. Tämän muuntajan avulla muutetaan kiinteistöön tuleva esimerkiksi 20 kV:n keskijännite käyttäjän vaati- malle jännitetasolle. Muuntajia voi olla kiinteistössä myös useampia ja ne voivat olla kytkettynä rin- nan, tällöin pitää varmistua muuntajien kytkentäryhmistä. Jos kiinteistössä tarvitaan useampi muun- tamo eri paikoissa kiinteistöä, voidaan ne kytkeä rengasverkkoon. Tällöin mahdollisessa vikatilan- teessa voidaan varmistaa syöttö molemmille muuntajille myös eri suunnasta.

Muuntajan toiminta perustuu useisiin kierroksiksi taivutettuihin johtimiin, joiden sisällä on rautasy- dän. Näitä kierroksia kutsutaan käämityksiksi. Muuntajia on yksi ja monivaiheisia. Muuntajissa on ensiö- ja toisiökäämitys. Muunnettaessa verkkoyhtiöltä tulevaa 20 kV:n jännitettä on käytössä yleensä kolmivaiheinen muuntaja. Taulukossa 1 on esitetty öljyeristeisten muuntajien teknisiä tie- toja. (Hietalahti, 2011)

TAULUKKO 1. Öljyeristeisten jakelumuuntajien tekniset tiedot: Häviösarja 1. Normaalihäviöt. Käämi- materiaali alumiini tai alumiini/kupari. (ABB:n TTT-käsikirja, 11 Tehomuuntajat, 2000)

Teho kVA	Muuntosuhde V/V	Kyt- kentä	$P_0$ W	$P_k$ W	$Z_k$ %	$Z_0$ %	$I_0$ %	Kok.paino kg	Öljyä kg
315	20500±2x2,5%/410	Dyn11	600	4500	4,5	4,6	0,8	1220	270
500	20500±2x2,5%/410	Dyn11	720	6600	5,0	5,2	0,7	1650	340
630	20500±2x2,5%/410	Dyn11	890	7200	5,0	5,2	0,7	1800	380
800	20500±2x2,5%/410	Dyn11	1200	8500	5,5	5,7	0,5	2240	450
1000	20500±2x2,5%/410	Dyn11	1450	10200	5,5	5,7	0,5	2640	520
1250	20500±2x2,5%/410	Dyn11	1600	11500	5,5	5,7	0,4	2955	580
1600	20500±2x2,5%/410	Dyn11	1840	14100	5,5	5,7	0,4	3680	760
2000	20500±2x2,5%/410	Dyn11	2130	16000	6,0	6,4	0,3	4200	860
2500	20500±2x2,5%/690	Dyn11	2550	18000	6,0	6,4	0,3	5150	1040

Taulukosta 1 nähdään, mitä arvoja muuntajasta valmistaja ilmoittaa. Osa arvoista on suhteellisia arvoja ja osa suurearvoja. Muuntaja esitetään yleensä verkkojen laskennassa sijaiskytkentänä oiko- sulkuiimpedanssina  $Z$ . Tämä ei kuulu suoraan ilmoitettavien suureiden joukkoon, joten se täytyy las- kea annetuista arvoista. Muuntajasta annettavat suureet ovat nimellisteho  $S_n$ , nimellisjännitteet  $U_n$  sekä suhteellinen oikosulkujännite, joka on taulukossa termillä  $u_k$  tai  $z_k$ . Lisäksi laskettaessa oikosul- kuresistanssia tarvitaan kuormitushäviön arvoa  $P_k$ . Kaavojen 1 ja 2 avulla saadaan laskettua oikosul- kuresistanssi  $R_k$ . Kaavalla 3 saadaan vastaavasti kokonaisimpedanssin  $X_k$  arvon. Impedanssikolmion perusteella voidaan laskea vielä kaavalla 4 oikosulkureaktanssin  $X_k$  arvon. (Korpinen, Sähköverkkojen laskentaa, 1998, s. 2) (Hietalahti, 2011, ss. 28-29)

$$R_k = r_k \frac{U_n^2}{S_n} \quad (1)$$

$$r_k = \frac{P_k}{S_n} \quad (2)$$

$$Z_k = u_k \frac{U_n^2}{S_n} \quad (3)$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} \quad (4)$$

Muuntajan impedanssien tietoja tarvittiin laskettaessa verkon oikosulkuvirtoja. Myös muuntajan muuntosuhdetta tarvitaan, kun muunnetaan sähkösuureita ensiö- ja toisiopuolen välillä. Tällöin saadaan yhdistettyä eri jänniteportaiden arvoja saamaan sijaiskytkentään. Esimerkiksi laskettaessa yläjännitepuolen syöttävän verkon oikosulkuimpedanssi ja määritetään sen arvo toisiopiirissä. Tätä toimenpidettä kutsutaan redusoinniksi. Muuntajan muuntosuhde  $\mu$  saadaan laskettua kaavasta 5. Muuntosuhde lasketaan jakamalla ensiöjännite toisiojännitteellä tai ensiökäämien kierrosten lukumäärä toisiokäämien lukumäärällä. (Aura & Tonteri, 2005, s. 271)

$$\mu = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (5)$$

jossa:

$E_1$	= Ensiöjännite
$E_2$	= Toisiojännite
$N_1$	= Ensiökäämien lukumäärä
$N_2$	= Toisiokäämien lukumäärä

### 4.3 Virtatie

Virtatieksi kutsutaan virtapiiriä muuntajan ja pääkeskuksen välillä. Muuntajan ja pääkeskuksen välissä voi olla seiä ja muita esteitä, jotka aiheuttavat omat päänvaivansa siirtotien toteuttamiseen. Virtatien tulee olla mitoitettu sähkötekniisesti oikein ja sen täytyy olla tukevarakenteinen ja tukevasti kiinnitetty.

Kun siirretään suuria virtoja  $I_n \geq 1000 A$  eli nimellisvirta on suurempi kuin 1000 A, vaaditaan virtapiireiltä muista virtapiireistä poiketen oleellisesti poikkeavia ratkaisuja. Virtatien toteutukseen vaikuttaa nimellis- ja oikosulkuvirrat, kohteen tärkeys ym. Näiden perusteella käytettävät vaihtoehdot ovat

- rinnankytketyt kaapelit
- suurvirtakaapelit
- avoimet tai yhtenäiskoteloidut kiskot
- vaihe-erotetut kiskostot. (ABB:n TTT-käsikirja, 19.2. Kiskostot, 2000)

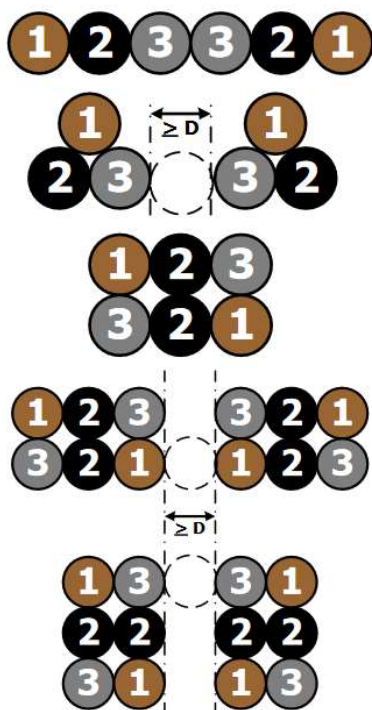
### 4.3.1 Kaapelit

Ensimmäinen vaihtoehto virtatien toteutukselle on perinteinen kaapeli. Kaapelit ovat yleensä huomattavasti ohuempia kuin kiskosillat ja etuna on niiden muokattavuus. Johdot voidaan katkaista työpisteellä oikeisiin mittoihinsa ja ne ovat yleensä paremmin taivutettavissa läpivienneistä.

Rinnankytketyt kaapelit soveltuvat pienemmille suurvirroille. Niiden käyttökohteita ovat 800–1600 A:n nimellisvirroilla kulkevat siirtotiet. Täytyy kuitenkin huomioida, ettei kaapeleille annetut oikosulkuvirta-arvot ylitä. Käyttökohteina ovat yleensä vähemmän tärkeät laitosten väliset yhdistykset. (ABB:n TTT-käsikirja, 19.2. Kiskostot, 2000)

Suurvirtakaapelit vastaavasti sopivat hyvin, kun siirrettävät virrat ovat tuhansia ampeereja. Myös riittävästi tuettuina käyttö onnistuu suurilla oikosulkuvirroillakin. Suurvirtakaapeleiden käyttökohteet ovat yleensä monimutkaiset reitit, joissa muokattavuus on kaapelilla helppoa ja yhdistettävät laitokset ovat kaukana toisistaan. (ABB:n TTT-käsikirja, 19.2. Kiskostot, 2000)

Kytettäessä kaapeleita rinnan täytyy huomioida, että käytettävät kaapelit tulisivat olla yleensä samanlaisia. Kaapelin piteuden, paksuuden ja jäähdytysolosuhteiden tulisi olla samanlaiset, jotta kaapeleiden impedanssit olisivat samat. Näin voidaan saada mahdollisimman tasaisen virranjako. Kuitenkin on mahdollista kytkeä eripoikkipinta-alaisia kaapeleita rinnan. Tällöin on mittaamalla varmistettava tasainen virranjako ennen käyttöönottoa. Kaapeleiden kokonaisvirta saadaan laskemalla tai mittaamalla rinnankytkettyjen kaapeleiden osakuormat yhteen. Kuvassa 2 on esitetty yksijohdinkaapeleille vaihtoehtoisia asennusesimerkkejä, joiden avulla päästään lähes tasaiseen virranjakoon. (Sähköinfo Oy: DI Esa Tiainen, 2017, s. 240)



KUVA 2. Rinnankytkettyjen yksivaihekaapeleiden niputusjärjestys. (Ijäs, 2019, s. 27)

Kuvassa 2 numerot kertovat mistä johtimen vaiheesta on kyse eli vaihejärjestyksen.  $D$  on puolestaan koko johtimen halkaisija. Ryhmitellessä kaapeleita niiden väliin on jätävä vähintään johtimen pak-suinen väli.

Kaapeleita hankittaessa kannattaa käyttää suosituimmuuskaapeleita, jos vain on mahdollista. Nämä kaapelit ovat poikkipinnaltaan yleisimpiä ja jatkuvasti saatavilla olevia. Kaapelit ovat kokonaisratkaisuina myös edullisimpia käytettäviksi. Etuina ovat lisäksi lyhyet toimitusajat, varastointi- ja käsittelykustannusten minimointi, työkalujen minimointi sekä töiden vakiointi ja sen johtama henkilöstön koulutusten tarpeen minimointi. Taulukossa 2 on esitetty esimerkkinä ABB:n suosituimmuuskaapelit yksijohdinkaapeleissa. Vastaavat suosituimmuuskaapelit löytyvät myös monijohdinkaapeleista. (ABB:n TTT-käsikirja 19 Sähköjohtojen mitoittaminen, 2000)

TAULUKKO 2. Suosituimmuuskaapelit yksijohdinkaapeleissa. (ABB:n TTT-käsikirja 19 Sähköjohtojen mitoittaminen, 2000)

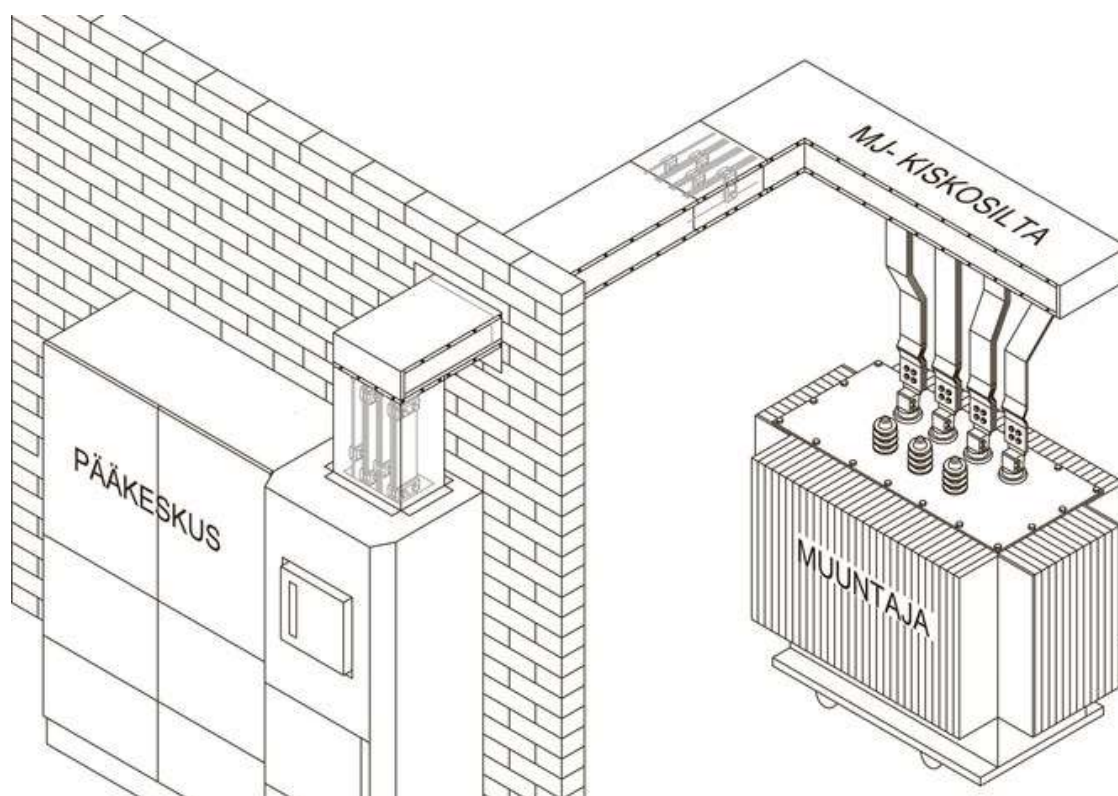
Poikkipinta mm <sup>2</sup>	$U_0 / U$				
	0,6 / 1 kV		6 / 10 kV	12 / 20 kV	
	AXMK	XMK	AHXCМК	AHXCМК	HXCМК
35					1x35
300	1x300	1x300		1x300	
800	1x800		1x800	1x800	

#### 4.3.2 Kiskosilta

Kiskosillalla voidaan toteuttaa virtatie muuntamon ja keskuksen välillä luotettavasti ja turvallisesti. Kiskosillat ovat jäykkiä ja ne koostuvat useasta eri osasta. Liitosten merkitys on hyvin suuri näissä tapauksissa. Liitokset tehdään usein pulttiliitoksilla. Joissain tapauksissa kiskosillan asentaminen on hyvin työlästä ja kallista. Myös osien saaminen ahtaisiin tiloihin voi tuottaa ongelmia, liikuteltavien elementtien ollessa suuria. Tämä voi olla ongelma varsinkin, jos päivitetään vanhaan uutta ja muutosten tekemisiin ja laajennuksiin ei ole varauduttu rakennusvaiheessa.

ABB:llä on tarjolla kiskosiltaratkaisu MDY-kisko tehojen siirtoon. Kiskosilta valmistetaan eristetystä virtakiskosta. Materiaaleina käytetään kuparia, alumiinia tai tinattua kuparia. Päälystemateriaali on halogeenivapaa muovieriste, joka suulakepuristetaan kiskon ympärille. Näin eriste kiinnittyy tiiviiksi ja saadaan hyvä kuormitettavuus. Kiskosto on tukeva ja sen oikosulkukestoisuus on erittäin hyvä koko matkan muuntajalta, pääkeskuksen kennostolle saakka. Käytettäessä eristettyä kiskorakennetta, voidaan kiskostoa käyttää avorakenteisena. Tarvittaessa kiskostoa saadaan täydellisesti vaiheeristettynä ja koteloituna. Kuvassa 3 on esitetty ABB:n kilpailijan Lapp Connecton MJ kiskosillan periaatekuva. (ABB Oy, 2011) (Lapp Connecto, 2020)





KUVA 3. Kiskosillan periaatekuva (Lapp Connecto, 2020)

#### 4.4 Jakokeskus

Siirtotie päättyy keskukseen. Tätä keskusta voidaan kutsua esimerkiksi pääkeskukseksi tai jakokeskukseksi. Jakokeskuksesta jaetaan sähkö eri alakeskuksille tai mahdollisesti suoraan eri sähkölaitteille. Pääkeskuksissa liittyminen tapahtuu pääkatkaisijaan. Voidaan sanoa, että jakokeskukset ovat keskeisimpiä laitteita luotettavan ja turvallisen sähköjakelun kannalta. Jakokeskusten rakenteelliset vaatimukset on esitetty standardisarjassa SFS-EN 61439-1. Keskuksen valmistus ja suunnittelu tulee keskusvalmistajalta. Sähkölaitteiston suunnittelijan tulee antaa tarvittavat tiedot keskusvalmistajalle, jotta se voi rakentaa kuormitettavuuden ja oikosulkuvaatimukset täyttävän keskuksen. Oikosulkuvirtojen selvittäminen on siis hyvin tärkeää etukäteen, sillä oikosulkuvirrat ovat suuria lähellä muuntajaa olevilla keskuksilla. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 129)

#### 4.5 Katkaisijat, releet, sulakkeet

Katkaisijoita, sulakkeita ja releitä on virtapiirien eri kohdissa. Niitä käytetään keskijänniteliitymissä yläjännitteellä suojaamaan muuntajaa, sekä alajännitepuolella keskusten ja muiden päävirtapiiriin liitettyjen laitteiden suojoina. Niiden tarkoituksena on suojata ihmisiä, jotka käyttävät sähkölaitteita, sekä itse sähkölaitetta ylivirtojen ja oikosulkuvirtojen aiheuttamilta suurilta virroilta. Myös kaapeleiden suojaus tapahtuu sulakkeella tai katkaisijalla. Kaapeleiden suojauksessa tärkeää on, etteivät niiden eristeet vahingoitu ja näin aiheudu lisää vahinkoa sähkölaitteistolle.

#### 4.6 Mahdolliset muut laitteet

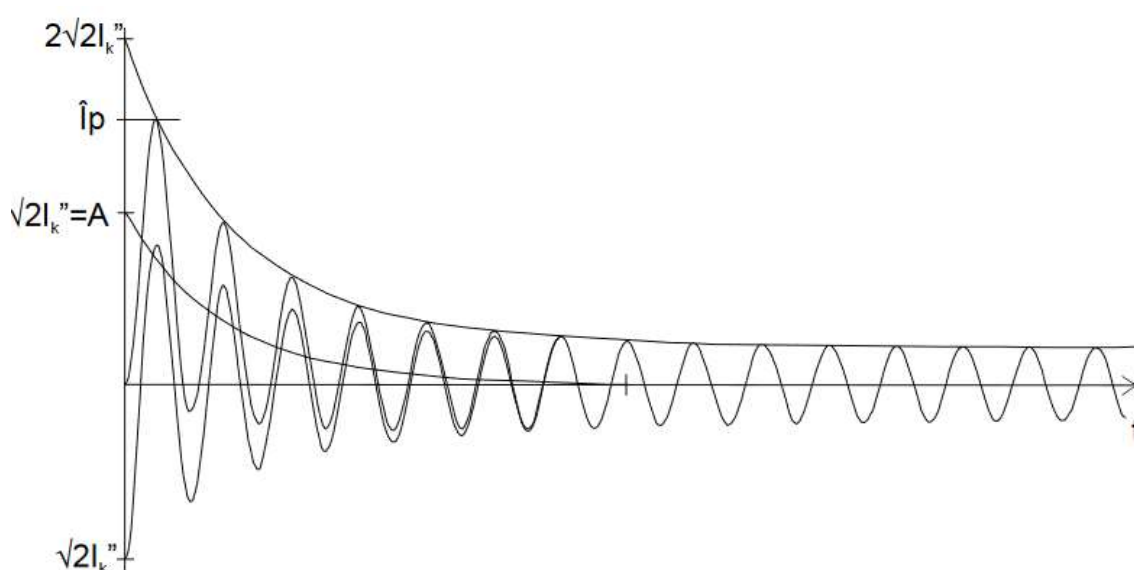
Päävirtapiiriin liitettäviä muita mahdollisia laitteita ovat energian säästöön ja sähkönlaadun parantamiseen liittyvät ratkaisut. Energian säästöön liittyviä järjestelmiä ovat erilaiset aurinkosähköjärjestelmät sekä muut energian pientuotannon järjestelmät. Lisäksi näihin liitettävät akustot ja muut energian varastointivaihtoehdot. Sähkön laatuun liittyviä ratkaisuja ovat esimerkiksi loistehon kompensoinnissa käytettävät automaattiset kompensointiparistot estokeloilla, jotka voidaan liittää pääkeskukseen omaan lähtöönsä ja sulakkeen taakse. Lisäksi yliaaltosuodattimia käytetään yhtenä vaihtoehtona. (ABB:n TTT-käsikirja 9 Loistehon kompensointi ja yliaaltosuojaus, 2000)

## 5 OIKOSULKU JA VIKAVIRRAT

Sähköverkossa on yleensä normaalitilanteen kuormitus. Kuormitus kuitenkin voi kasvaa tahattomasti tai tahallisesti. Tahattomat viat aiheutuvat yleensä vikojen ja häiriöiden seurauksena. Nämä viat ja häiriöt tulee pyrkiä poistamaan mahdollisimman nopeasti. Moni vika olisi kuitenkin mahdollista poistaa jo ennakoimalla.

Oikosulku on SFS 6000 standardin määrittelyjen mukaan vahingossa tai tahallisesti tapahtuva yhden tai useamman johtavan osan välillä tapahtuva yhdistyminen. Yhdistymisen seurauksena näiden yhdistyvien johtimien potentiaalierot pakotetaan nollaan tai lähelle nollaa. Jännitteen ollessa vakio ja impedanssin ollessa pieni syntyy ohmin lain mukaan suuri virta, koska virta kasvaa impedanssin pienetessä. Vikatyyppejä on yksi-, kaksi- tai kolmevaiheisia. Laskettaessa oikosulkuvirtoja halutaan yleensä tietää verkon pienin sekä suurin oikosulkuvirta. Verkon pienin oikosulkuvirta on yksivaiheinen oikosulkuvirta, joka syntyy kaukana suojalaitetta. Verkon suurin oikosulkuvirta on kolmivaiheinen oikosulun aiheuttama oikosulkuvirta ja esiintyy yleensä heti suojalaitteen jälkeen sen liittimissä. Nämä oikosulkuvirtojen arvot ovat tärkeimpiä laitteiston mitoituksen kannalta. Suurin oikosulkuvirta antaa vaatimuksen laitteiston kestolle suurissa oikosuluissa, jotka tapahtuvat heti suojalaitteen liittimissä. Kun taas pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran perustella varmistutaan, että laitteisto haavautuu ja toimii myös pienissä oikosulkuvirroissa, jotka tapahtuvat suojattavan johdon suojalaitteen kaukaisimmassa päässä. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 83) (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017)

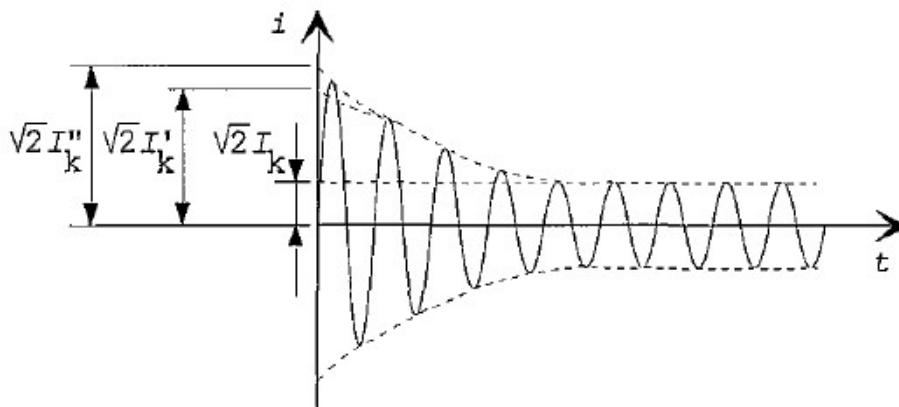
Mitoitettaessa verkon eri suojalaitteita, on oikosulkusuojauksen tarkastelu erittäin tärkeässä roolissa. Oikosulkuvirtojen hallinta tuo verkon käytön turvalliseksi vikatilanteiden tapahtuessa. Oikosulkuvirta-arvojen tietäminen eri verkon osissa ja erilaisissa tilanteissa on tärkeää. Verkon komponenttien on kestävä oikosulun aikaiset dynaamiset ja termiset rasitukset. Oikosulkuvirran käyrämuoto on kuvan 4 mukainen. (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000, s. 1)



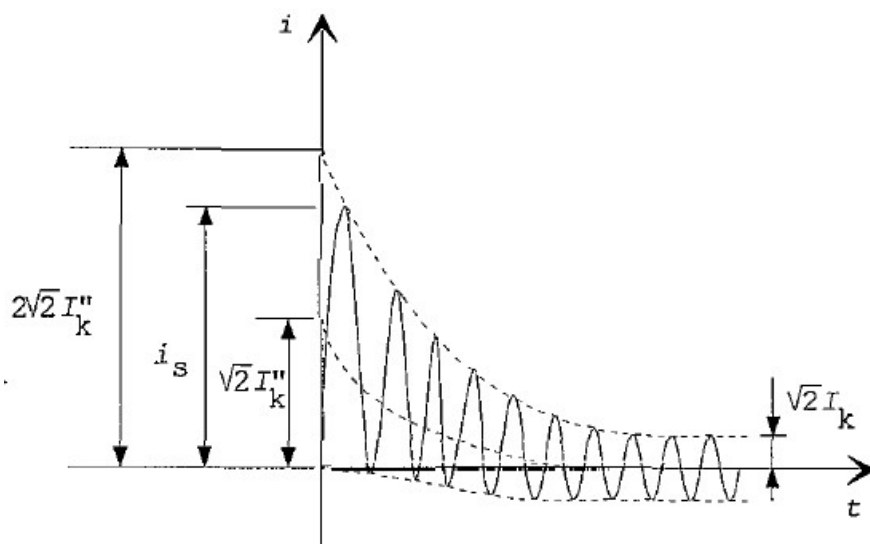
KUVA 4. Oikosulkuvirran käyrämuoto (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000, s. 1)

Oikosulkuvirrassa on mukana vaimentava tasakomponentti, joka on käyrä *A* kuvassa 4. Tasakomponentin suuruus riippuu suoraan oikosulun syntyhetkestä sekä vaimenemisnopeus piirin resistanssin ja reaktanssin suhteesta ( $R/\lambda$ ). Tasakomponenttia ei synny verkkoon, kun oikosulku tapahtuu hetkellä, jolloin jännitteen ja verkon impedanssien vaihekulmien erotus on  $0^\circ$  tai  $180^\circ$ . Piirissä on myös vaihtovirtakomponentti, joka sisältää mahdollisen vaimeneva osan. Kun tasavirtakomponenttia ei ole, määrittää vaihtovirtakomponentti oikosulkuvirran suuruuden. Oikosulkuvirta on myös tällöin symmetrinen. Kuvaajassa on myös generaattoreiden reaktansseja vian alkuhetkellä kuvaava vaihtovirran tehollisarvoinen komponentti, tätä kutsutaan alkuoikosulkuvirraksi  $I_k''$ . Sysäysoikosulkuvirta  $I_p$  on oikosulkuvirran ensimmäisen huipun hetkellisarvo, johon huomioidaan tasavirtakomponentti *A*.  $I_k$  on oikosulkuvirran jatkuvuustila, jonne kasvavat reaktanssit virran vaimentavat. (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000, s. 1) (Salminen, 2009)

Symmetrinen oikosulku on esitetty graafisesti kuvassa 5. Tässä tilanteessa ei ole ollenkaan mukana tasavirtakomponenttia. Kuvassa 6 vastaavasti on esitetty epäsymmetrinen oikosulku. Tällöin tasavirtakomponentti aiheuttaa vian epäsymmetrisyyden. Tasavirtakomponentin suurin mahdollinen arvo esiintyy, kun jännitteen ja verkon impedanssien vaihekulmien erotus on  $\pm 90^\circ$ . Tästä voimme havaita vian syntyhetken vaikutuksen. Kuvissa 5 ja 6  $I_k''$  on alkuoikosulkuvirta,  $I_k'$  on muutosoikosulkuvirta,  $I_k$  on jatkuvan tilan oikosulkuvirta ja  $i_s$  on sysäysoikosulkuvirta. (Huotari & Partanen, 1998, ss. 3-4)



KUVA 5. Tahtigeneraattorin syöttämä symmetrinen oikosulkuvirta (Huotari & Partanen, 1998, s. 4)



KUVA 6. Tahtigeneraattorin syöttämä epäsymmetrinen oikosulkuvirta (Huotari & Partanen, 1998, s. 4)

### 5.1 Oikosulkuvirran laskenta

Työssä esitetään oikosulkuvirran laskenta pienjänniteverkolle, eli muuntajasta eteenpäin viimeiselle pistorasialle saakka. Työssä tarkastellaan kiinteistöä, jossa vikavirtaa syöttää vain yksi muuntaja. Sivusyöttöjä esimerkiksi aurinkopaneeleiden invertterien tuottamaa vikavirtaa sekä muualta tulevia esimerkiksi pyörivien koneiden aiheuttamia vikavirtoja ei huomioida laskelmissa. (Rouvali & Rissanen, Opinnäytetyön Teams-palaveri, 2020)

Kolmivaiheinen oikosulku on symmetrinen. Symmetrialla tarkoitetaan tilannetta, jossa vaihejännitteet ovat samansuuruiset sekä jännitteiden vaihe-ero on  $120^\circ$ , lisäksi vaihejärjestys on L1-L2-L3. Vaihejärjestyksestä voidaan myös käyttää sarjaa R-S-T. Sama pätee myös vaihevirroille. Osoitin suureena tämä tarkoittaa: (Rouvali, 2014, s. 1)

$$\begin{aligned}\underline{U}_{L1} &= \underline{U}_R = 230 \angle 0^\circ V \\ \underline{U}_{L2} &= \underline{U}_S = 230 \angle -120^\circ V \\ \underline{U}_{L3} &= \underline{U}_T = 230 \angle +120^\circ V\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\underline{I}_{L1} &= \underline{I}_R = 10 \angle 0^\circ A \\ \underline{I}_{L2} &= \underline{I}_S = 10 \angle -120^\circ A \\ \underline{I}_{L3} &= \underline{I}_T = 10 \angle +120^\circ A\end{aligned}$$

(Rouvali, 2014, s. 1)

Jos ehdot eivät täyty on kyseessä epäsymmetrinen järjestelmä. Epäsymmetrinen järjestelmä syntyy kuormittamalla vaiheita epätasaisesti tai vikatilanteen aikana. Yksi- ja kaksivaiheiset viat ovat epäsymmetrisiä vikoja. Epäsymmetriset jännitteet ja virrat korvataan kahdella kolmivaihejärjestelmällä; myötäjärjestelmällä (merkitään alaindeksillä 1), ja vastajärjestelmällä (alaindeksi 2). Lisäksi tulee

yksivaiheinen nollajärjestelmä (alaindeksi 0), joka on kaikille saman suuntainen. Järjestelmissä osoittimet pyörivät yhden kierroksen positiiviseen suuntaan jaksoa kohden. Myötäjärjestelmällä vaihejärjestys on L1-L2-L3 (R-S-T) ja vastajärjestelmällä L1-L3-L2 (R-T-S). Epäsymmetriset vaihesuureet ovat näiden komponenttien osoittinsummia. Jolloin saadaan jännitteelle summat: (Rouvali, Sähköjaketekniikka (Pienjänniteverkko) opetusmoniste, 2014, s. 1)

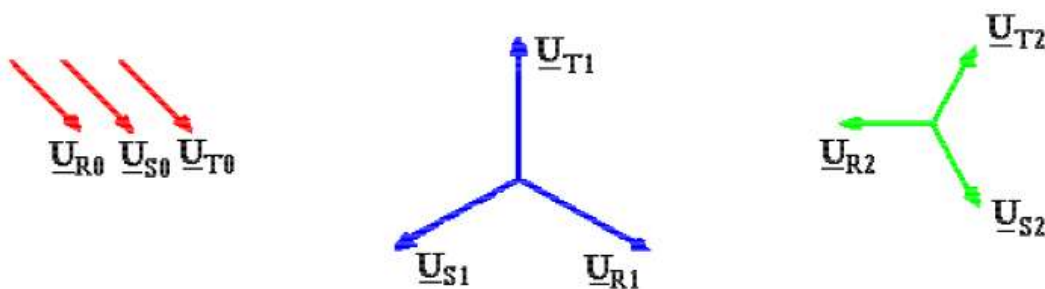
$$\underline{U}_R = \underline{U}_{R0} + \underline{U}_{R1} + \underline{U}_{R2}$$

$$\underline{U}_S = \underline{U}_{S0} + \underline{U}_{S1} + \underline{U}_{S2}$$

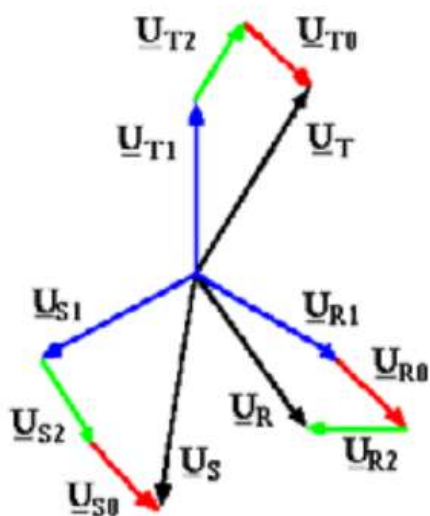
$$\underline{U}_T = \underline{U}_{T0} + \underline{U}_{T1} + \underline{U}_{T2}$$

(Rouvali, Sähköjaketekniikka (Pienjänniteverkko) opetusmoniste, 2014, s. 2)

Epäsymmetrisen järjestelmän komponentit osoitinpiirroksena ovat esitetty kuvassa 7. Punaiset osoittimet esittävät nollaverkon osoittimia, siniset osoittimet ovat myötäverkon vaiheosoittimia ja vihreät ovat vastaverkon vaiheosoittimia. Kuvassa 8 on esitetty osoittimien yhteen laskeminen osoittimilla. (Korpinen, Vikatilanteet, 2008, s. 9)

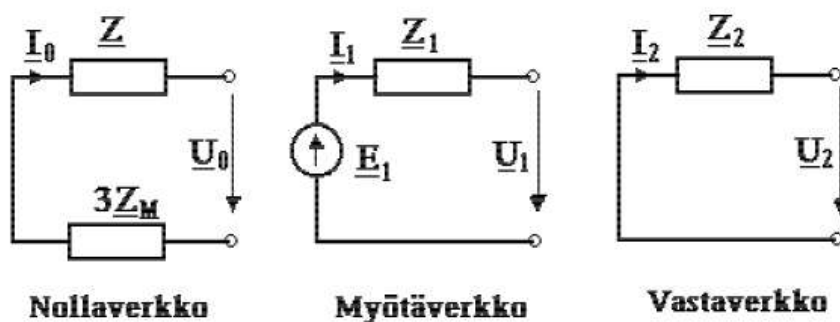


KUVA 7. Epäsymmetriaverkon komponentit (Korpinen, Vikatilanteet, 2008, s. 9)



KUVA 8. Epäsymmetrisen verkon osoittinsuureiden muodostuminen komponenteista. (Korpinen, Vikatilanteet, 2008, s. 10)

Jokaiselle virtakomponentille on verkossa oma impedanssinsa: nollakomponentille on nollaimpedanssi, myötäkomponentille myötäimpedanssi sekä vastakomponentille vastaimpedanssi. Impedanssien perusteella puhutaan nolla-, myötä- ja vastaverkosta. Komponenttiverkot on esitetty kuvassa 9. Kuvasta näemme, että myötä- ja vastaverkon impedanssit ovat yhtä suuret  $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}$ . Tämä olisi tällöin verkon impedanssi symmetriselle kolmivaihevirrälle tarkastelupisteestä syötettäessä. Nollaverkon impedanssi on tällöin  $\underline{Z}_0 = \underline{Z} + 3\underline{Z}_M$ . Tämä on verkon impedanssi, jos verkkoon syötetään tarkastelupisteestä yhtä suuri ja samanvaiheinen virta. (Rouvali, Sähköjaketekniikka (Pienjänniteverkko) opetusmoniste, 2014, s. 7)

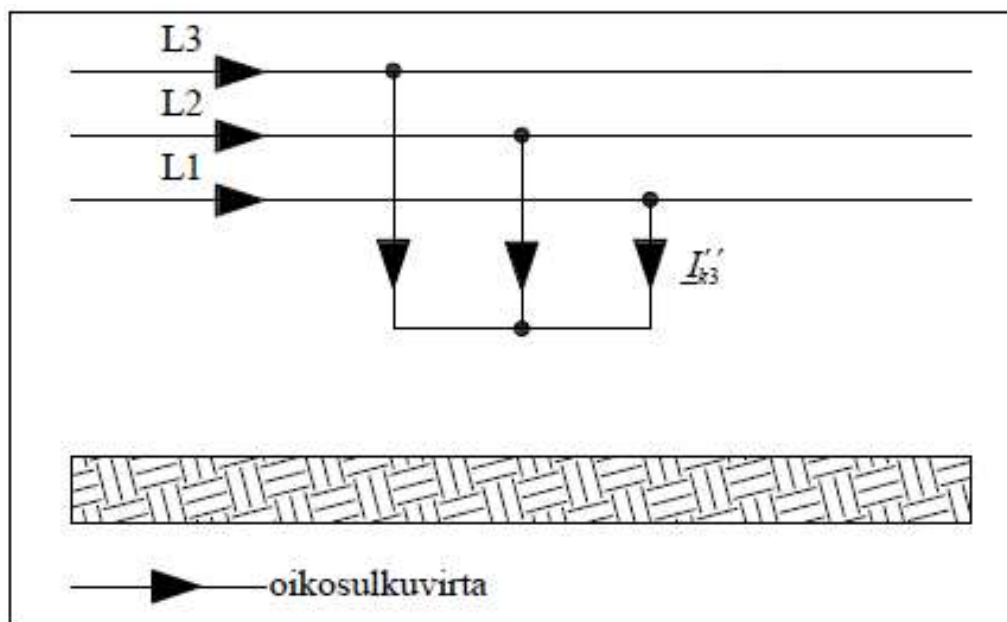


KUVA 9. Komponenttiverkot (Korpinen, Vikatilanteet, 2008, s. 11)

Myötä- ja vastaimpedanssit ovat käytännössä samansuuruiset johdoilla ja muuntajilla. Tahtikoneilla vastaimpedanssi on selvästi pienempi. Nollaimpedanssit tulee huomioida tapauksissa, joissa nollavirralla on paluureitti muuta, kuin vaihejohtinta pitkin, esimerkiksi maa tai nollajohdin. Tällöin nollaimpedanssit kuvautuvat kolminkertaisina. (Rouvali, Sähköjaketekniikka (Pienjänniteverkko) opetusmoniste, 2014, s. 7)

### 5.1.1 Kolmivaiheinen oikosulkuvirta

Kolmivaiheinen oikosulku on perustapaus, joka syntyy, kun kaikki jännitteiset vaiheet kytkeytyvät keskenään toisiinsa. Kolmivaiheisessa oikosulussa syntyy yleensä suurin oikosulkulaskennan perusteena käytettävä oikosulkuvirta  $\underline{I}_{k3}''$ . Syntyvä oikosulku on symmetrinen ja sen vuoksi laskenta on myös epäsymmetrisiä vikoja helpompaa. Kolmivaiheisessa oikosulussa laskennassa voidaan käyttää komponenttien normaaleja impedansseja eli myötäimpedansseja. Kuvassa 10 on esitetty kolmivaiheinen oikosulku. (Salminen, 2009, s. 4) (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000)



KUVA 10. Kolmivaiheinen oikosulku virtoineen. Virtojen suunnat valittu mielivaltaisesti (Salminen, 2009, s. 5), muokattu

Kaavassa 6 on esitetty kolmivaiheisen oikosulkuvirran laskukaava

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_1} \quad (6)$$

jossa:

$I''_{k3}$  = Kolmivaiheinen oikosulku

$c$  = Taulukon 3 mukainen jännitekerroin

$U_n$  = Syöttävän verkon jännite

$Z_1$  = Myötäkomponenttiverkon impedanssi (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000, s. 2)

TAULUKKO 3. IEC 60909 -mukainen jännitekerroin (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000, s. 2)

Nimellisjännite $U_n$	Maksimioiko- sulkuvirta $C_{max}$	Minimioiko- sulkuvirta $C_{min}$
pienjännite 100 V – 1000 V		
a) 230 V / 400 V	1.00	0.95
b) muut jännitteet	1.05	1.00
keskijännite 1 kV - 35 kV	1.10	1.00
suurjännite 35 kV - 230 kV	1.10	1.00



## 5.1.2 Kaksivaiheinen oikosulku

Kaksivaiheista alkuoikosulkua kuvataan termillä  $I_{k2}''$ . Kaksivaiheisen oikosulkuvirran suuruus on lähes aina kolmivaiheista oikosulkuvirtaa pienempi. Kaksivaiheinen oikosulku muodostuu myötä-, vasta- ja nollakomponenttiverkkojen avulla. Nollakomponentin kytkeytyminen on riippuvainen muuntajan kytkentäryhmästä. Muuntajilla, johdoilla ja ei-pyörivillä koneilla myötä- ja vastaimpedanssit ovat samansuuruiset. (Salminen, 2009) (Huotari & Partanen, 1998)

Kaksivaiheinen oikosulku voidaan esittää kolmivaiheisen oikosulun avulla kaavoilla 7 ja 9:

$$I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3}}{1 + \frac{Z_1}{Z_2}} \cdot I_{k3}'' \quad (7)$$

(ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000)

Myös laskemalla kaavalla 8 on mahdollista.

$$I_{k2}'' = \frac{c \cdot U_n}{|Z_1 + Z_2|} \quad (8)$$

(ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000)

Kaukana generaattorista, jolloin  $Z_1 \sim Z_2$ , kaava saadaan muotoon

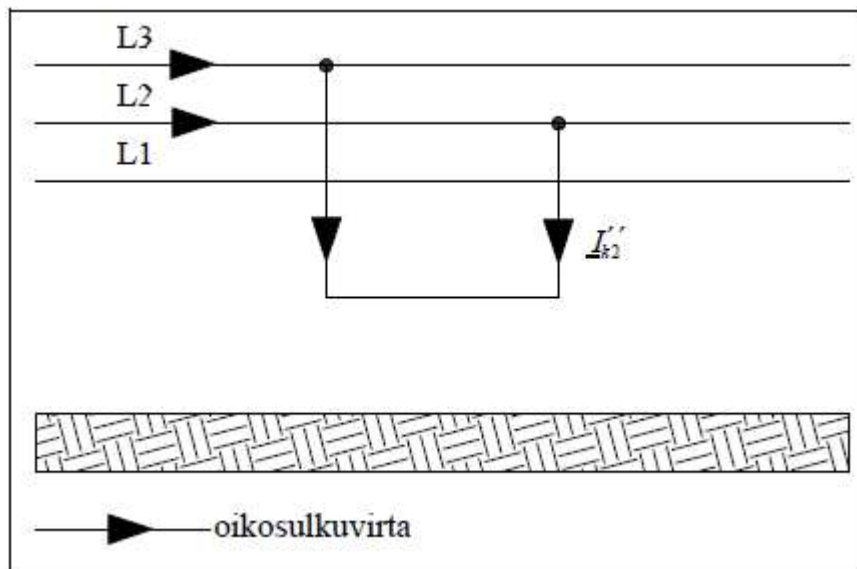
$$I_{k2}'' = \frac{c \cdot U_n}{2|Z_1|} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{k3}'' \sim 0,87 \cdot I_{k3}'' \quad (9)$$

(ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000)

Kaavoissa 7–9 käytetyt termit:

$c$	= Taulukon 3 mukainen kerroin
$U_n$	= Syöttävän verkon jännite
$Z_1$	= Myötäkomponenttiverkon impedanssi
$Z_2$	= Vastakomponenttiverkon impedanssi

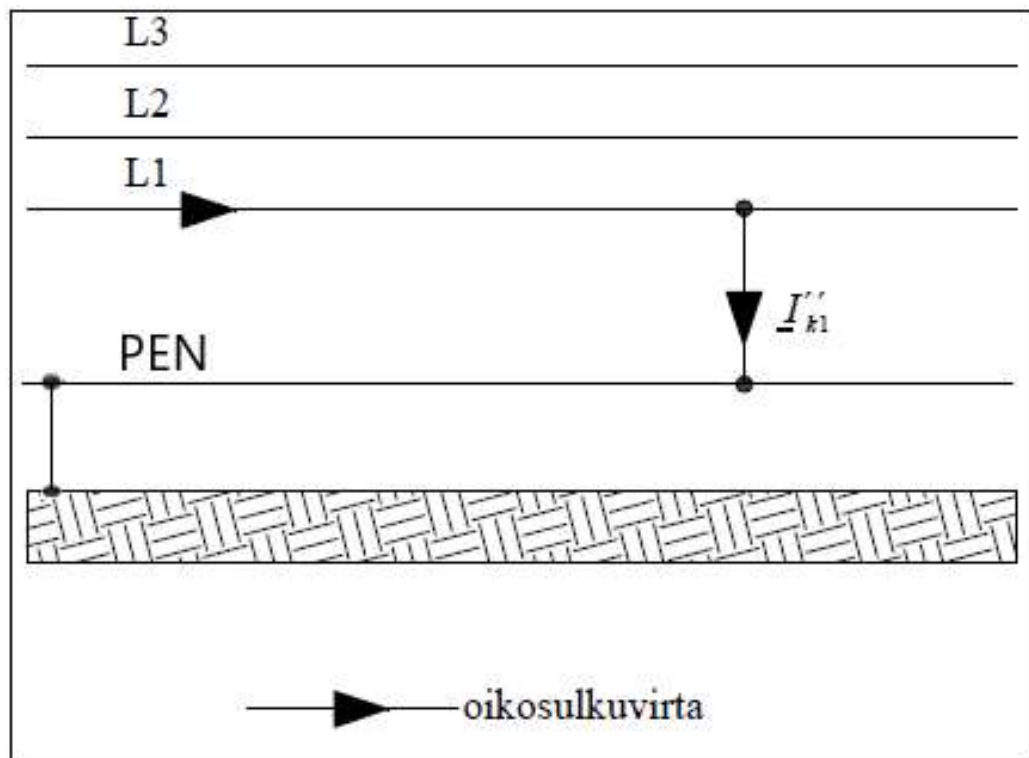
Kuvassa 11 on esitetty kaksivaiheinen oikosulku ilman maakosketusta.



KUVA 11. Kaksivaiheinen oikosulku vikavirtoineen. Virtojen suunnat valittu mielivaltaisesti (Salminen, 2009, s. 7), muokattu

### 5.1.3 Yksivaiheinen oikosulku

Yksivaiheisessa oikosulussa  $I''_{k1}$  yksi vaihe kytkeytyy suoraan maahan tai nolajohtoon. Kuvassa 12 on esitetty vaiheen kytkeytyminen maahan.



KUVA 12. Maasulku vikavirtoineen. Virtojen suunnat on valittu mielivaltaisesti. (Salminen, 2009, s. 8), muokattu

Yksivaiheisen oikosulun laskennassa kiinteistöihin, voidaan tehdä pieniä yksinkertaistuksia, joilla virhe pysyy pienempänä kuin 10 %. Marginaali on suuntaan, jossa laskennallinen virta on suurempi. Tällä tavalla ei voida kuitenkaan laskea oikosulkuvirtoja suojalaitteiden kannalta, sillä virrat ovat pienempiä. Laskennassa lasketaan osaimpedanssit aritmeettisesti yhteen, jolloin todellinen impedanssi on pienempi. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 97)

$$I_{k1}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (10)$$

Yksivaiheisen oikosulkuvirran laskeminen onnistuu myös kaavalla 11

$$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3}cU_n}{|Z_1 + Z_2 + Z_0|} \quad (11)$$

Generaattorista kaukana oleva oikosulku, jolloin  $Z_1 \sim Z_2$ , kaava 11 muuttuu muotoon

$$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3}cU_n}{|2Z_1 + Z_0|} \quad (12)$$

## 5.2 Oikosulkupiirien komponenttien laskeminen

Jokaiselle oikosulkupiirissä olevalle komponentille laskettiin impedanssiarvot, jotka yhteen laskemalla saadaan verkon kokonaisimpedanssi.

### 5.2.1 Syöttävä verkko

Laskettaessa oikosulkuvirtoja tarvitaan tietoja syöttävästä verkosta. Yleensä tiedetään syöttävästä verkosta sen alkuoikosulkuvirta tai näennäinen alkuoikosulkuteho, joka saadaan verkkoyhtiöltä. Kun tiedossa on verkon oikosulkuvirta tai oikosulkuteho, saadaan verkon alkuoikosulkuimpedanssi laskettaessa kaavan 13 avulla seuraavasti. (Huotari & Partanen, 1998)

$$Z_{kv} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{kv}''} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{kv}''} \quad (13)$$

jossa:

$I_{kv}''$	= Alkuoikosulkuvirta
$c$	= Taulukosta 3 katsottava jännitekerroin
$U_n$	= Syöttävän verkon jännite
$Z_{kv}$	= Impedanssi vikapaikasta katsottuna
$S_{kv}''$	= Alkuoikosulkuteho

Oikosulun tapahtuessa lähellä muuntajaa voidaan syöttävä verkko unohtaa pienjänniteverkon oikosulkuvirtaa laskiessa. Verkko voidaan unohtaa, kun seuraava ehto täyttyy:  $S_{kv}'' > 400S_n$ . Tämä tarkoittaa sitä, että alkuoikosulkutehon ollessa suurempi kuin 400-kertainen nimellisteho voidaan syöttävä verkko unohtaa. Syöttävän verkon alaindeksinä voi olla V, N tai Q. (Huotari & Partanen, 1998)

### 5.2.2 Muuntaja

Kaksikäämi muuntajan kilpiarvoista voimme laskea oikosulkusuureet kohdassa 4.2 esitettyjen kaavojen 1–4 avulla. ABB:n TTT antaa muuntajille seuraavat kaavat oikosulkuimpedanssi, -reaktanssi ja resistanssi laskennalle, jotka ovat myös käytettävissä laskennassa. Muuntajalla käytetään eri alaindeksiä, kuin syöttävällä verkolla. Alaindeksi voi olla esimerkiksi T tai M. Muuntajille ilmoitettuja arvoja löytyy taulukosta 1. Suurilla muuntajilla resistanssi on hyvin pieni, jolloin oikosulkuimpedanssi voidaan korvata oikosulkureaktanssilla. (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000) (Salminen, 2009)

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100\%} = \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} \quad (14)$$

$$R_T = \frac{u_{Rr}}{100\%} \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{krT}}{3I_{rT}^2} \quad (15)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (16)$$

jossa:

$u_{kr}$	= Oikosulkujännite
$U_{rT}$	= Nimellisjännite
$S_{rT}$	= Nimellisteho
$R_T$	= Nimellinen resistanssi
$P_{krT}$	= Kuormitushäviöt
$I_{rT}$	= Nimellisvirta
$u_{Rr}$	= Resisttiivinen oikosulkujännite

### 5.2.3 Sarjakuristin

Sarjakuristimen oikosulkuimpedanssi saadaan kaavan 17 avulla. Kuristinta käsitellään laskelmissa kuten muuntajaa, jonka muuntosuhde on yksi. (Huotari & Partanen, 1998)

$$Z_R = \frac{\Delta u_n}{100\%} \frac{U_{rR}}{\sqrt{3}I_{rR}} = \frac{\Delta u_n}{100\%} \frac{U_{rR}^2}{S_{rR}} \quad (17)$$

jossa:

$\Delta u_n$  = Nimellinen suhteellinen jännitteenalenema

$U_{rR}$  = Nimellisjännite

$S_{rR}$  = Nimellisteho

$I_{rR}$  = Nimellisvirta (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000)

### 5.2.4 Johdot kaapelit ja kiskot

Kaapeleille, johdoille ja johtimille on olemassa halkaisijasta ja materiaalista riippuen omat arvot, jotka annetaan valmistajan luettelossa. Ilmoitettavat arvot ovat resistanssi ja reaktanssi pituusyksikköä kohden. Kaapelin impedanssia  $Z_j$  voidaan laskea kaavan 18 avulla (Huotari & Partanen, 1998, s. 20)

$$\underline{Z}_j = (r + jx) \cdot l \quad (18)$$

jossa:

$r$  = Resistanssi pituusyksikköä kohden

$x$  = Reaktanssi pituusyksikköä kohden

$l$  = Kaapelin pituus

### 5.2.5 Epätahtimoottorit

Epätahtimoottorit on otettava laskennassa huomioon laskettaessa kolmevaiheisia alku-, sysäys- ja katkaisuvirtaa sekä kaksivaiheisia oikosulkuvirtoja. Epätahtimoottorin vaikutus oikosulkuvirtaan on suurentava symmetrisissä vioissa alkuoikosulku-, sysäysoikosulku- ja katkaisuvirtaan sekä epäsymmetrisissä vioissa myös pysyvän tilan oikosulkuvirtaan. Oikosulkuimpedanssi saadaan seuraavalla kaavalla. (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000) (Huotari & Partanen, 1998)

$$Z_M = \frac{1}{\frac{I_{LR}}{I_{rM}}} \frac{U_{rM}}{\sqrt{3}I_{rM}} = \frac{1}{I_{rM}} \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} \quad (19)$$

jossa:

$I_{LR}$  = Lukitun roottorin virta ( $\cong$ käynnistysvirta)

$I_{rM}$  = Moottorin nimellisvirta

$U_{rM}$  = Moottorin nimellisjännite

$S_{rM}$  = Moottorin nimellinäennäisteho (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000)

Oikosulkuimpedanssi voidaan jakaa resistanssiksi ja reaktanssiksi taulukon 5'4 mukaan.

TAULUKKO 4. Epätahtimoottoreiden  $R_m/X_m$  ja  $X_m/R_m$  suhteita.  $U_n$  on moottorin nimellisjännite,  $P_n$  on moottorin nimellispätehe ja  $p$  on moottorin napapariluku. (Huotari & Partanen, 1998, s. 20)

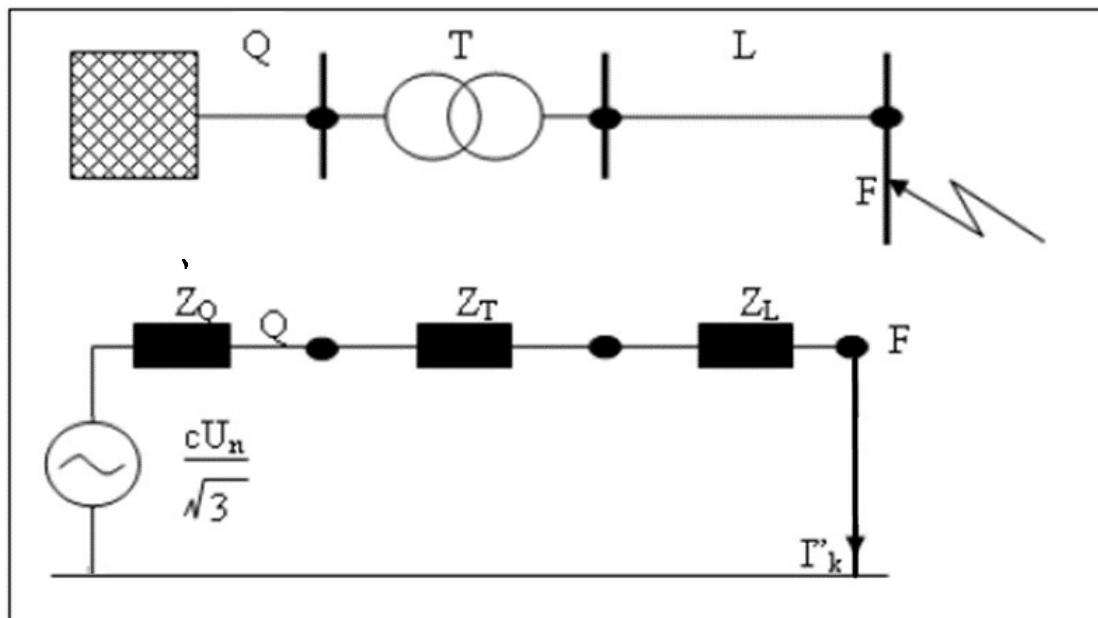
$U_n/\text{kV}$	$P_n/p/\text{MW}$	$R_m/X_m$	$X_m/Z_m$
$\geq 1$	$\geq 1$	0,10	0,995
$\geq 1$	$< 1$	0,15	0,989
$< 1$	kaikki	0,42	0,922

Pienjännitemoottoreilla on merkitystä erityisesti teollisuusverkossa, tällöin voidaan suuremmat ryhmät esittää ekvivalenttisenä moottorina, esimerkiksi muuntajakohtaisesti. Tällöin käytettävä koko moottoriryhmän teho on moottoriryhmän summanimellisteho ja  $I_{LR} = 5$ . (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000, s. 6)

### 5.3 Oikosulkuvirran laskenta Theveninin menetelmällä

Oikosulkuvirran laskeminen Theveninin menetelmällä on yksi hyvä tapa. Se soveltuu hyvin teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen määrittämiseen. Menetelmän yksivaiheisessa sijaiskytkennässä komponentit ja lähteet korvataan oikosulkuimpedansseilla ja vikapaikkaan sijoitettavalla ekvivalenttilla jännitelähteellä. Kuvassa 13 on esitetty periaatekuva Theveninin oikosulkulaskennasta. Yläpuolella on tarkasteltava piiri, jossa tapahtuu kolmivaiheinen vastukseton oikosulku kohdassa F. Muut termit kohdassa ovat Q eli syöttävä verkko ja T muuntaja. Alapuolella, on vastaavasti piirretty

tilanteesta yksivaiheinen sijaiskytkentä.  $Z_Q'$ ,  $Z_T$  ja  $Z_L$  ovat verkon oikosulkuimpedanssit. Vikapaikka on ilmoitettu F:llä.  $I_k''$  kuvaa piirin alkuoikosulkuvirtaa. Oikosulkuvirtaan vaikuttavat edeltävä verkko ja kaikki sen komponentit. Jos muutetaan johtopituuksia ja poikkipinta-aloja, muuttuvat myös johtojen impedanssit. (Huotari & Partanen, 1998, s. 8)



KUVA 13. Vikaantuneen verkon sijaiskytkentä. (Salminen, 2009, s. 34), muokattu

### 5.3.1 Alkuoikosulkuvirta

Alkuoikosulkuvirta kuvaa oikosulkuvirran tehollisarvoa oikosulun syntymishetkellä. Kuvassa 13 esitetty alkuoikosulkuvirta on tärkein ja kaiken mitoituksen perustana käytetty arvo. Tämän pohjalta lasketaan muut verkon oikosulkuvirrat. Sellaisenaan sille ei ole käyttöä laskennassa. Alkuoikosulkuvirta  $I_k''$  saadaan kaavasta 20. (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000, s. 1)

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (20)$$

jossa:

- $c$  = Taulukosta 3 katsottava jännitekerroin
- $U_n$  = Syöttävän verkon jännite
- $Z_k$  = Impedanssi vikapaikasta katsottuna
- $R_k$  = Verkon yhteenlaskettu oikosulkuresistanssi vikapaikasta katsottuna
- $X_k$  = Verkon yhteenlasketut oikosulkureaktanssit

## 5.3.2 Sysäysoikosulkuvirta

Sysäysoikosulkuvirta  $I_p$  on suurin mahdollinen oikosulkuvirran hetkellisarvo. Arvo saavutetaan noin 10 ms kuluttua oikosulun syntyhetkestä. Sysäysoikosulkuvirran arvo saadaan ratkaistua kaavan 21 avulla säteittäisissä verkoissa. (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000)

$$I_p = k\sqrt{2}I_k \quad (21)$$

Kaavassa  $k$  on sysäyskerroin, joka on piirin  $R/X$  suhde. Suurjänniteverkossa  $k$  on yleensä alle 1,8 ja vastaavasti pienjänniteverkossa alle 1,44. Suurjänniteverkossa saadaan silloin suurimmaksi sysäysoikosulkuvirran  $I_p$  arvoksi kaavan 19 avulla karkeasti: (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000)

$$I_p = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_k = 2,545 \dots \cdot I_k \approx 2,5 \cdot I_k$$

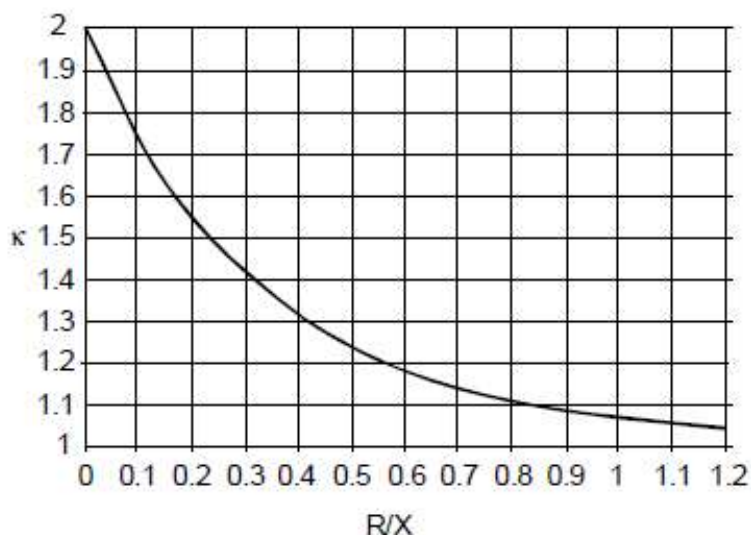
Pienjännitteellä vastaavasti maksimiarvoksi saadaan laskettua:

$$I_p = 1,44 \cdot \sqrt{2} \cdot I_k = 2,036 \dots \cdot I_k \approx 2 \cdot I_k$$

Tarkempi arvo sysäyskerroimelle voidaan laskea kaavan 22 avulla, jossa  $R$  on verkon resistanssi ja  $X$  verkon reaktanssi.

$$k = 1,02 + 0,98e^{-\frac{3R}{X}} \quad (22)$$

Vaihtoehtona on myös määrittää sysäyskerroimen  $k$  arvo kuvassa 14 olevasta kuvaajasta. (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000)



KUVA 14. Sysäyskerroimen riippuvuus oikosulkuvirtapiiriin  $R/X$ - suhteesta (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000)



Lisäksi sysäysoikosulkuvirran kerroin  $k$  voidaan määrittää pienjännitteelle taulukosta 5.

TAULUKKO 5. Pienjänniteverkon sysäysoikosulkuvirran suhde oikosulkuvirran tehollisarvoon.

(Huotari & Partanen, 1998, s. 24)

$I_k''/kA$	$\kappa$	$\cos\varphi$
$\leq 10$	1,2	0,5
$\leq 20$	1,4	0,3
$\leq 50$	1,5	0,25
$> 50$	1,6	0,2

### 5.3.3 Terminen oikosulkuvirta

Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta  $I_{th}$  saadaan kaavan 23 avulla.

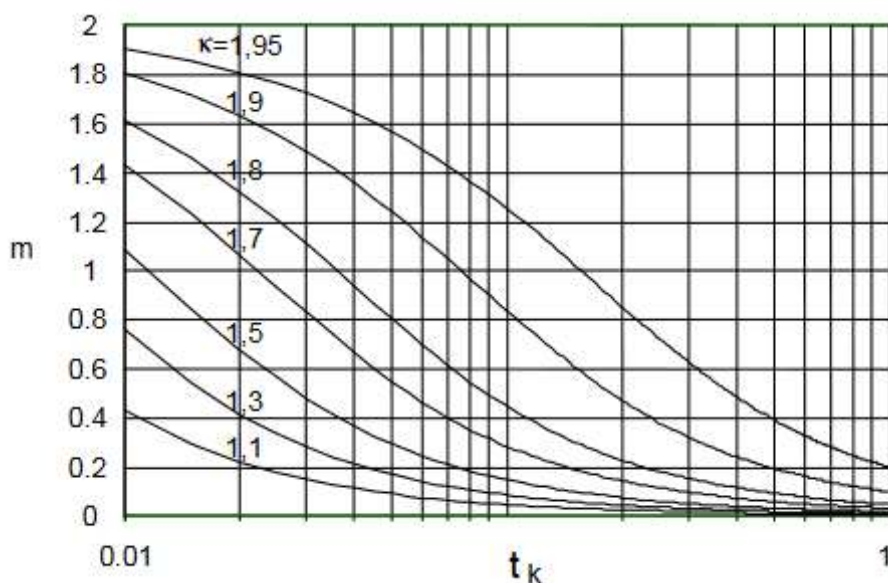
$$I_{th} = I_k'' \sqrt{m+n} \quad (23)$$

jossa:

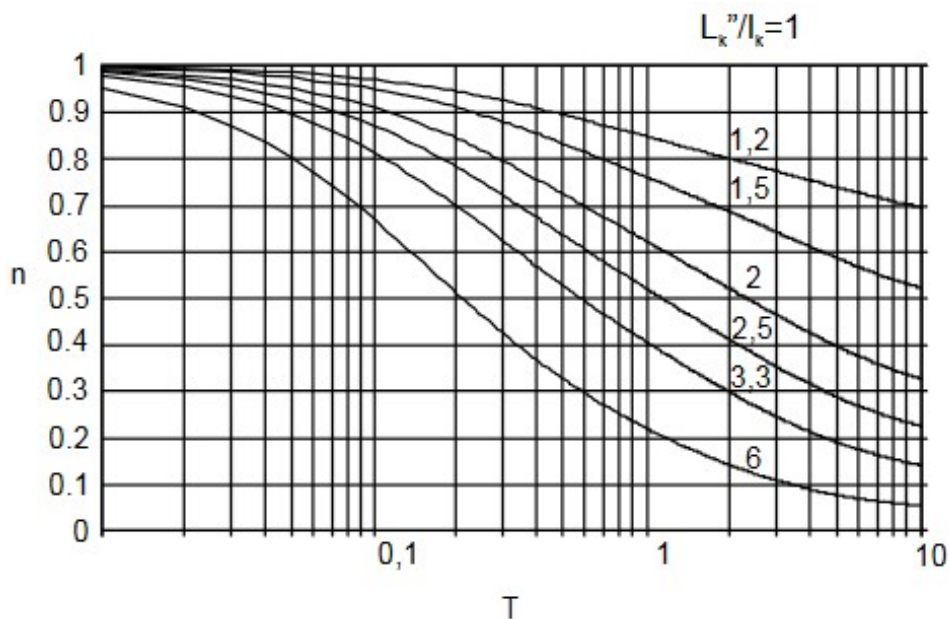
$m$  = Vaimenevan tasavirtakomponentin arvon vaikutus.

$n$  = Vaimenevan vaihtovirtakomponentin arvon vaikutus.

Arvot saamme seuraavista kuvista. Tasavirtakomponentin  $m$  arvo saadaan kuvasta 15 ja vaihtovirtatekijän  $n$  arvo kuvasta 16.



KUVA 15 Tasavirtatekijän  $m$  riippuvuus oikosulkuvirran sysäyskertoimesta ja oikosulun kestoajasta (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000, s. 8)



KUVA 16. Vaihtovirtatekijän  $n$  riippuvuus oikosulkuvirran alkuarvon ja pysyvän arvon suhteesta.  $I_k''/I_k$ . (ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus, 2000, s. 9)

Oikosulun tapahtuessa kaukana generaattorista ja vian kesto aika ylittää 0,5 sekuntia, voidaan laskelmissa olettaa suureiden  $m + n$  tuloksen olevan 1. Tällöin kaavasta saadaan  $I_{th} = I_k''$  (Hirvonen, 2010, s. 11)

#### 5.3.4 Jatkuvan tilan oikosulkuvirta

Jatkuvan tilan oikosulkuvirrassa  $I_k$  ovat kaikki muutosilmiöt vaimentuneet. Tälle arvolle ei voida laskea tarkkaa arvoa kuten alkuoikosulkuvirralla. Jatkuvan tilan oikosulkuvirta on riippuvainen mm. tahvikoneiden magnetointitavasta ja -säädöistä, generaattoreiden ja koneiden automaattisista jännitteensäädöistä sekä verkon kytkentälaitteiden muutoksista oikosulun aikana. Mitoituksen kannalta on määrittää suurin mahdollinen jatkuvan tilan oikosulkuvirran arvo. Pienimmällä ei yleensä ole vaikutusta, sillä suojalaite yleensä ehtii toimia. (Salminen, 2009, s. 25)

## 6 SÄHKÖTEKNINEN MITOITTAMINEN

Mitoituksen aluksi on tärkeää selvittää lähtöarvot mahdollisimman tarkasti. Standardisarjan SFS 6000 kohdan 311 mukaan suurimman kuormituksen määrittäminen on tärkeää, jotta asennus voidaan suunnitella taloudelliseksi ja luotettavaksi sallittujen lämpenemien ja jännitteen alenemien mukaisesti. Määrittämisessä voidaan kuitenkin huomioida kuormien eriaikaisuus eli tasaus. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 15)

Alkutietojen jälkeen täytyy tietää mihin ko. laitteet on suunniteltu sijoitettavan. Laitteiden sijoituksen perusteella suunnitellaan eri komponenttien välille vaatimat johdot. Johtojen pituudet ja paksuudet vaikuttavat suoraan käytettävään laskentaan. Laskennalla varmistamme komponenttien ja johtojen varman riittävyden ja toimivuuden niin peruskäytössä, ylikuormituksessa kuin myös vikatilanteissa.

### 6.1 Mitoitusteho ja mitoitusvirta

Kiinteistössä olevilla laitteilla on suuri merkitys kuorman laadun määrittämisessä, onko kyseessä kapasitiivinen vai induktiivinen kuorma. Nämä tiedot vaikuttavat suoraan tehokertoimeen  $\cos \varphi$ . Kiinteistön huipputehon perusteella valitaan kiinteistöön sopivat laitteet kuten muuntajat, keskuskeskukset ja kaapelit. Energiatohokkuusluokalla on myös suuri vaikutus rakennuksen energiatohokkuuteen. Sähkölaitteille on myös määritelty energiatohokkuusluokka ja näitä noudattamalla saadaan haluttu energiatohokkuus pysymään haluttuna. Sähköliittymän tehontarpeen mitoitus voidaan teollisuudessa ja muissa esimerkiksi toimisto ja koulurakennuksissa tarkastella seuraavan kaavan 24 avulla. (Sähkötieto ry, 2018, s. 6)

$$P_M = 1,3 \cdot (P_{LVIA} + P_{valaistus} + P_{laitteet} + P_{SLK} + P_{muut}) \quad (24)$$

jossa:

$P_M$	= Mitoitava sähköteho
$P_{LVIA}$	= Yhteenlaskettu sähköteho, joka saadaan LVIA-kojeluetelosta (LVIA-suunnittelija)
$P_{valaistus}$	= Yhteenlaskettu teho saadaan valaisinluettelosta (sähkösuunnittelija)
$P_{laitteet}$	= Yhteenlaskettu teho saadaan laiteluettelosta
$P_{SLK}$	= Sähkölämmitysten tehon tarve
$P_{muut}$	= Mahdolliset muut suuren tehon omaavat kuormitukset
1,3	= Kerroin, jolla on varauduttu tulevaisuuden järjestelmällisyyksiin ja muuhun sähkötehon tarpeen 30 %:n nousuun. (Sähkötieto ry, 2018, s. 6)

Mitoitusvirta saadaan laskettua kolmivaiheisen tehon kaavalla,

$$P_M = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_B \cdot \cos \varphi \Rightarrow I_B = \frac{P_M}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (25)$$

jossa:

$I_B$  = Mitoitusvirta

$U$  = Nimellispääjännite

Työssä ei perehdytä tehojen mitoitukseen enempää. Tarkempaa tietoa pienjänniteliittymän tehojen mitoituksesta löytyy esimerkiksi ST-kortiston kortista 13.31.

## 6.2 Olemassa oleva järjestelmä

Kun muutosten suunnittelu aloitetaan jo valmiina olevaan kohteeseen, tarvitaan siitä hyvät perustiedot. Perustiedot voivat olla viimeksi päivitettyt sähkökuvat ja muut siihen liittyvät laskentatiedot. Näiden perustietojen tulisi olla hyvin saatavissa kiinteistön haltijalta tai käytönjohtajalta. Tärkeimpiä tietoja olisivat mitoituksissa käytetyt tehot ja niiden kautta lasketut virrat, lisäksi verkkoyhtiöltä saatava oikosulkuimpedanssi tai oikosulkuteho liittymispisteessä. Lisäksi viimeisimmät kuvat päävirtapiireistä olisi hyvä saada, sillä näistä kuvista tulisi selvitä jo käytössä olevat keskkukset ja niiden väliset johtimet sekä katkaisimet, kytkimet ja releet. Näissä kuvissa tulisi olla myös merkintä katkaisijoiden ja kytkimien virta- ja aika-asetteluista. Näiden tietojen pohjalta pystyisi jo aloittamaan muutosten laskemisen.

## 6.3 Verkon suojaus

Perinteinen keskijänniteliittymän verkko on esitelty periaatteeltaan kohdassa 4.1 yleiset periaatteet. Suojauksia on verkolle useammassa kohdassa. Suojauksissa täytyy huomioida ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus. Ylikuormitussuojaus on yleensä asennettu kohtaan, jossa tulee muutoksia verkkoon. Tällaisia ovat esimerkiksi johtojen pinta-alojen muutokset, johtotyyppien muutokset tms. Periaatteessa siis kohta, jossa pienennetään johtimen kuormitettavuutta. Standardissa on myös esitetty ehdot, jolloin ylikuormitussuojaus voidaan jättää pois. Oikosulkusuojauksen tarkoituksena on kytkeä oikosulku pois verkosta, ennen kuin johtimen lämpötila nousee liian suureksi ja johtimen eristeet sulavat. Vikasuojauksessa on selkeät säännöt, sillä maksimissaan 32 A ryhmäjohdolla vian maksimi poiskytkentäaika on 0,4 sekuntia. Tätä suuremmilla johdoilla sekä pääjohdoilla sallittu vian poiskytkentäaika on maksimissaan 5 sekuntia. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015)

### 6.3.1 Ylivirtasuojaus

Laitteistot suunnitellaan jatkuvasti käytettäväksi tietyllä virralla eli mitoitusvirralla. Ylikuormitusvirta on ylivirta piirissä muuna kuin vian aikana, kun taas ylivirta on virta, mikä on suurempi kuin mitoitusvirta. Ylivirtasuojauksen tarkoitus on estää johtimen lämpötilan nousu, ennen kuin sen eristykset,

liitokset, jatkokset tai ympäröivä ympäristö kärsii vahinkoja. Yleisimmät ylikuormitussuojat ovat sulakkeet, johdonsuojakatkaisija sekä katkaisijat. Sairaalaolosuhteissa, jossa virran katkeaminen voi aiheuttaa laitteiden sammumisen takia henkilövahinkoja, voidaan käyttää hälyttävää suojausta. Lisäksi on tapauksia, jossa voidaan suojaus jättää kokonaan pois. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 29)

Ylikuormitussuojalle on määritelty standardissa kaksi erilaista ominaisuutta, joiden on ehdottomasti täyttyvä:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (26)$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \quad (27)$$

jossa:

$I_B$  = Piirin suunniteltu virta eli mitoitusvirta. On myös äärijohtimen suunniteltu virta tai nollajohtimen virta, jos se kolmansien yliaaltojen takia on suurempi kuin äärijohtimen virta.

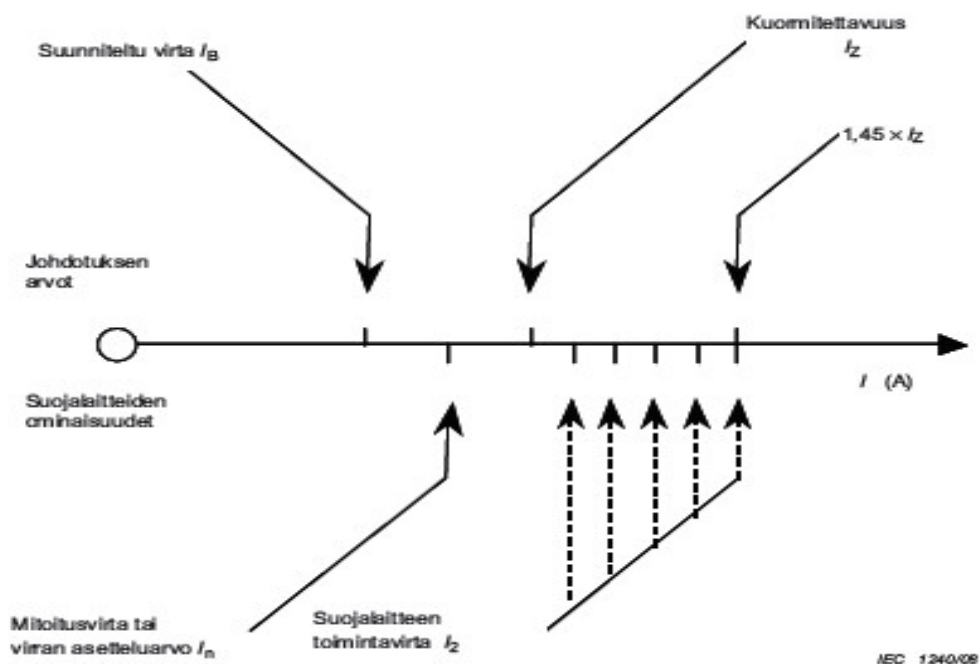
$I_Z$  = Johtimen jatkuva kuormitettavuus,

$I_n$  = Suojalaitteen mitoitusvirta tai säädettävässä releessä asetusarvo

$I_2$  = Suojalaitteen toimintarajavirta eli virta, joka varmistaa suojalaitteen toimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa. On määritelty laitestandardeissa ja arvon saa valmistajalta. (Sähkötieto ry, 2015, s. 2)

On myös muistettava, että suojaus ei välttämättä toimi, jos ylivirta on pitkän aikaa pienempi, kuin virta  $I_2$ . Siksi piirit tulee suunnitella siten, ettei pitkäaikaisia pieniä virtoja esiinny. (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017, s. 116)

Kuvassa 17 on esitetty yhtälöiden 26 ja 27 sovellutus graafisesti samalle janalle. Kuvasta nähdään samalle janalle aseteltuna, että ylikuormitussuojan nimellisvirran  $I_n$  tulee siis olla vähintään yhtä suuri, kuin jatkuva kuormitusvirta  $I_B$ . Johdon kuormitettavuuden  $I_Z$  tulee myös olla vähintään yhtä suuri, kuin johdon ylikuormitussuojan nimellisvirta  $I_n$ . Suojalaitteen täytyy myös toimia ylivirran ollessa 1,45-kertainen johdon kuormitettavuuteen verrattuna, viimeistään tunnin kuluessa. Tämän yhtälön perusteella johdolla voi olla myös ylikuormitusta ja ylikuormitussuojaus ei toimi. (Sähkötieto ry, 2015, s. 30)



KUVA 17. Ehtojen soveltaminen (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017, s. 128)

Mitoitusvirran määrittäminen voi olla joissain tapauksissa hankalaa. Mitoitusvirta määritetään joko tunnetun tai arvioidun kuormituksen mukaan. Yksittäisen laitteen mitoitusvirran määrittäminen on helppoa, kun tiedossa on hyvät ja selkeät laitekohtaiset tiedot. Vastaavasti kiinteistöjen liittymistehon arviointi voi olla jo hyvinkin paljon haastavampaa. Liittymätehot monesti lasketaan kokemusperusteisten laskentamallien avulla. Kappaleessa 6.1 mainittu kaava 25 on hyvä työkalu teollisuus yms. kiinteistön tehojen mitoitukseen. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 29)

### 6.3.2 Johtimen määrittäminen ja kuormitettavuus

Standardi SFS-6000-1 antaa peruseriaatteet johtojen poikkipintojen määrittelymiselle.

*”Johtimien poikkipinnat määritetään seuraavien tekijöiden perusteella sekä normaalissa käytössä että vikatilanteessa:*

- a) suurin sallittu lämpötila*
- b) sallittu jännitteen alenema*
- c) oikosulku- ja maasulkuvirtojen todennäköisesti aiheuttamat mekaaniset rasitukset*
- d) johtimiin kohdistuvat muut mekaaniset rasitukset*
- e) vikavirtojen suojauksen toiminnan kannalta suurin sallittu impedanssi*
- f) asennustapa.”*(SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017, s. 22)

Mitoitusvirran jälkeen lasketaan johtimen kuormitettavuus, joka esiintyy ylempänä  $I_n$ . Jännitteisen johtimen poikkipinta-alan määrää yleensä ensin kuormitusvirta ja sen aiheuttama johtimen lämpötila. Tämä lämpötila määrää johtimelle suurimman kuormituksen, jota ei saa ylittää, sillä se voi aiheuttaa tulipalon tai lyhentää eristeiden heikentymisen takia johtimen käyttöikä. Määräävä tekijä kuormitettavuudelle on johtimen kyky luovuttaa virran aiheuttama lämpö ympäröivään ympäristöön. Kuormitettavuuteen vaikuttaa seuraavat tekijät:

- johdinmateriaali
- eristemateriaali
- ympäristön lämpötila
- asennustapa
- muiden virtapiirien läheisyys (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015)

Johtimien kuormitettavuuteen vaikuttaa sähköjärjestelmän mitoitusvirta. Kuten edellä huomattiin, tulee suojauksen olla suurempi tai yhtä suuri kuin mitoitusvirran. Sulakkeellisessa suojauksessa valitaan kuormituksesta seuraava sulakekoko suojaksi. Esimerkiksi gG-sulakkeille on taulukossa 6 esitetty johtimien vaadittu kuormitettavuuden arvo. Tämän jälkeen on selvitettävä asennuksen matkalle tulevat korjauskertoimet. Nämä kertoimet löytyvät standardista SFS 600-1-1 liitteestä 52B, joka käsittelee kaapeleiden kuormitettavuutta. Korjauskertoimiin vaikuttaa yllä mainitut kuormitettavuustekijät. Periaatteena on, että jokainen normaaleista olosuhteista poikkeava asennustapa heikentää lämmön johtavuutta, tällöin kaapelilta tarvitaan enemmän kuormituskykyä. Laskettua kaapeleiden kuormitusvirrat korjauskertoimien avulla, voidaan valita tarvittavan kaapelin materiaalin ja poikkipinta-alan yllä mainitun liitteen taulukoista. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015)

TAULUKKO 6. Johtimien kuormitettavuuden minimiarvot erilaisilla sulakkeen nimellisarvoilla (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017, s. 291)

<b>gG tyyppisen sulakkeen nimellisvirta A</b>	<b>Johtimen kuormitettavuuden minimiarvo A</b>
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

Johtimen asennustapa vaikuttaa johtimen kykyyn luovuttaa lämpöä. Asennustavat on jaoteltu karkeasti neljään eri luokkaan:

- A, eristetyt johtimet tai monijohdinkaapelit lämpöeristetyssä seinässä, upotetussa putkessa
- C, yksi- tai monijohdinkaapelit seinällä
- D, monijohdinkaapelit maassa
- E, yksi- tai monijohdinkaapelit ilmassa (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 51)

Tarkka mitoitus ei aina ole perusteltua. Jos siihen kuitenkin päädytään, voidaan taulukosta 7 katsoa johtojen kuormitettavuudet suoraan. Taulukot pätevät yllä mainituille asennustavoille. Esitetyt arvot ovat PVC-eristetyille kolmivaihepiireille. Niitä voidaan myös käyttää yksivaiheisille piireille sekä PEX-eristeisille kaapeleille. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 50)



TAULUKKO 7. Johtimien kuormitettavuudet eri asennustavoille. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 51)

Johtimen poikkipinta-ala [mm <sup>2</sup> ]	SFS 6000:n mukaiset asennustavat			
	A uppo	C pinta	D maa	E ilma
<b>Kupari</b>				
1,5	14	18,5	26	19
2,5	19	25	35	26
4	24	34	46	36
6	31	43	57	45
10	41	60	77	63
16	55	80	100	85
25	72	102	130	107
35	88	126	160	134
50	105	153	190	162
70	133	195	240	208
95	159	236	285	252
120	182	274	325	292
150	208	317	370	338
185	236	361	420	386
240	278	427	480	456
300	316	492	550	527
<b>Alumiini</b>				
16	43	62	78	65
25	56	77	100	83
35	69	95	125	102
50	83	117	150	124
70	104	148	185	159
95	125	180	220	194
120	143	209	255	225
150	164	240	280	260
185	187	274	330	297
240	219	323	375	350
300	257	372	430	404

Johtimien kuormitettavuuden laskentaan ei työssä paneuduta enempää. Tarkempi laskenta esitetään standardin SFS 6000-5-52, liitteessä 52B.

### 6.3.3 Kaapelin jännitteenalenema

Jännitteenaleneman maksimiarvot on esitetty taulukossa 8. Suhteellisarvot ovat suhteessa asennuksen nimellisjännitteeseen. Suurempaa jännitteen alenemaa voidaan pitää hyväksyttävänä moottorin käynnistyksen aikana tai muilla laitteilla, joilla on suuri käynnistysvirta. (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017, s. 282)

TAULUKKO 8. Jännitteenalenema (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017, s. 282)

Asennuksen tyyppi	Valaistuskäyttö %	Muu käyttö %
A - Pienjänniteasennus, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta	3	5
B - Pienjänniteasennus, joka on syötetty yksityisestä teholähteestä <sup>a</sup>	6	8

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

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

Kaapelin pituus vaikuttaa suoraan jännitteen alenemaan. Kaavassa 28 on esitetty jännitteen aleneman peruslaskukaava. Kaava toimii siirtoetäisyyden ollessa kaapelilla <20 km.

$$U_a = I(R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (28)$$

jossa:

$U_a$  = Jännitteenalenema vaihesuureena

$I$  = Johtimen virta

$R$  = Johtimen vaihtovirtaresistanssi

$X$  = Johtimen reaktanssi

$\varphi$  = Vaihejännitteen ja -virran välinen vaihesiirtokulma (ABB:n TTT-käsikirja 19 Sähköjohtojen mitoittaminen, 2000)

Lisäksi oikosulkuvirtoja laskettaessa kaapelin impedanssi vaikuttaa suoraan loppupään oikosulkuvirtaan. Laskettaessa oikosulkuvirtoja tarvitaan tietää siis kaapelin pituuden sekä kaapelille annetun ominaisimpedanssin. Impedanssi on suoraan riippuvainen johtimien materiaalista ja paksuudesta.

#### 6.3.4 Oikosulkusuojaus

Oikosulussa kulkeva virta on hyvinkin paljon suurempi, kuin ylikuormitustilanteessa, tällöin suojauksenkin pitää toimia huomattavasti nopeammin. Suojalaitteena voidaan käyttää samaa laitetta, kuin ylivirtasuojauksessa. Myös erillisiä suojauksia on käytössä. Oikosulkusuojauksen tulee olla johdon alkupäässä, toisin kuin ylivirtasuojauksessa. Lisäksi jokainen virtapiiri on suojattava oikosulkusuojalla. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 73)

Oikosulkusuojauksen on täytettävä standardin vaatimus: suojalaitteen mitoituskatkaisukyky ei saa olla pienempi kuin suojalaitteen asennuspaikalla esiintyvä prospektiivinen oikosulkuvirta, paitsi jos suojalaitteen syötön puolella on riittävän katkaisukyvyyn omaava toinen suojalaite. Tällaisessa tapauksessa molempien suojalaitteiden ominaisuudet on sovittava yhteen siten, ettei suojalaitteiden läpi kulkeva energia ( $I^2t$ ) ylitä arvoa, jonka kuormituspuolen suojalaite ja suojattavat johtimet vahingoittumatta kestävät. Lisäksi voidaan huomioida suojalaitteeseen ja johtimeen kohdistuvat dynaamiset voimat. (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017, s. 120)

$$I^2t = k^2 A^2 \quad (29)$$

jossa:

$I$  = todellinen oikosulkuvirta

$t$  = kesto aika

$k$  = kaapelivakio

$A$  = kaapelipoikkipinta (mm<sup>2</sup>) (Sähkötieto ry, 2017, s. 6)

Kaapelivakio riippuu johdon ominaisuuksista ja arvot saadaan taulukosta 9

TAULUKKO 9. Kertoimen  $k$  arvot äärijohtimille (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017, s. 121)

Ominaisuus/ olosuhde	Johtimen eristys							
	PVC		PVC 90°C		EPR PEX	Kumi 60 °C	Mineraali	
	≤ 300	> 300	≤ 300	> 300			PVC Päällystetty	Paljas Päällystämätön
<b>Johtimen poikki-pinta-ala mm<sup>2</sup></b>	≤ 300	> 300	≤ 300	> 300				
<b>Alkulämpötila °C</b>	70		90		90	60	70	105
<b>Loppulämpötila °C</b>	160	140	160	140	250	200	160	250
<b>Johtimen materiaali:</b>								
<b>Kupari</b>	115	103	100	86	143	141	115	135 -115 <sup>a</sup>
<b>Alumiini</b>	76	68	66	57	94	93	-	-
<b>Kuparijohtimien tina-juotetut liitokset</b>	115	-	-	-	-	-	-	-
<sup>a</sup> Tätä arvoa pitää käyttää kosketeltavissa oleville paljaille johtimille.								
HUOM. 1 Muut kertoimen $k$ arvot ovat harkittavana: - pienille johtimille (erityisesti alle 10 mm <sup>2</sup> poikkipinnoille) - muun tyyppisille johtimien liitoksille - paljaille johtimille.								
HUOM. 2 Oikosulkusuojan mitoitusvirta voi olla suurempi kuin kaapelin kuormitettavuus.								
HUOM. 3 Yllä olevat arvot perustuvat julkaisuun IEC 60724.								
HUOM. 4 Kertoimen $k$ laskemiseksi katso SFS 6000-5-54 liite 54A:								

Kaapelit ja komponentit tulee mitoittaa yleensä enintään viiden sekunnin oikosulkuvirran lämpövai-  
kutuksen perusteella. Oikosulkuvirran suuruus vaikuttaa siis suoraan oikosulun sallittuun kestoai-  
kaan. Kaavasta 30 saadaan ratkaisuta halutut arvot helposti. Jos halutaan laskea oikosulun maksimi  
kesto aika, saadaan kaava muotoon (Sähkötieto ry, 2017, s. 2)

$$t = (k \cdot A / I)^2 \quad (30)$$

Oikosulun keston ollessa hyvin lyhyt (<0,1 s) on virran epäsymmetrialla vaikutusta ja tällöin virtaa rajoittavilla suojalaitteilla  $k^2 A^2$ -arvon oltava suurempi kuin laitteiston ilmoitetun  $I^2 t$ -arvon.

Sähkösuunnittelijan tulee selvittää  $k^2 A^2$ -arvo johdolle, jonka perusteella valitaan suojalaite, joka on  $I^2 t$ -arvoltaan sopiva. Suojalaitteiden valmistajilta saa yleensä ilmoitetun  $I^2 t$ -arvon, kun taas suojatavan johdon  $k^2 A^2$ -arvo tulee laskea kaavalla 30. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 74)

Prospektiivisella oikosulkuvirralla tarkoitetaan virtaa, joka kulkee piirin syöttöjohtimissa oikosulun aikana. Oikosulku on pieni-impedanssinen ja tapahtuu niin lähellä keskuksen syöttöliittimiä kuin mahdollista. Arvoa siis tarvitaan määriteltäessä suojalaitteen katkaisukykyä. Suojalaitteen oikosulku-  
virran rajoitusta ei oteta huomioon laskettaessa prospektiivista oikosulkuvirtaa mutta keskuksen oi-  
kosulkukestoisuutta määriteltäessä se voidaan ottaa huomioon. (Sähköinfo Oy: DI Esa Tiainen, 2017, s. 142)

### 6.3.5 Sulakkeeton suojaus

Sulakkeettomassa suojauksessa ei ole enää käytössä varsinaista sulaketta, vaan suojaus on toteutettu katkaisijoilla. Menetelmä on kehittynyt viime aikoina hyvinkin nopeasti ja mahdollistaa monipuolisemman käytön monessa eri kohteessa. Kojevalikoima on myös lisääntynyt, joka on mahdollistanut laitteiden käytön laajenemisen. Käytännön kokemusten mukaan katkaisijasuojausvaikeinta on ollut mitoitus ja kojevalinnat, lisäksi asiakkaiden täytyy saada lisää tietoa katkaisijan huollosta sekä releasetteluista. Sulakkeettomassa suojauksessa käytetään joko johdonsuojakatkaisijaa tai pienjännitekatkaisijaa. Pienjännitekatkaisijat jaetaan vielä kompakti ja ilmakatkaisijoihin. (Sähkötieto ry, 2017, s. 5)

### 6.3.6 Johdonsuojakatkaisija

Johdonsuojakatkaisijoita ei käytetä päävirtapiireissä, sillä niiden nimellisvirta on enimmillään 125 A. Ne ovat pääasiassa tarkoitettu kotikäyttöön tai vastaavaan käyttöön. Johdonsuojakatkaisijoita käsitellään standardissa SFS-EN 60898. Johdonsuojakatkaisijan katkaisukyky määritellään kojeeseen leimattavalla oikosulun nimelliskatkaisukyvyllä  $I_{cn}$  sekä käytönaikaisen oikosulun nimelliskatkaisukyvyllä  $I_{cs}$ . Katkaisukykyluokat ovat 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25 sekä 50 kA. Nimellisjännite johdonsuojakatkaisijalle on yleensä 400 V, mutta niitä löytyy aina 690 V:iin saakka. Yleisimmin käytetty katkaisukyky talotekniikassa on 6 kA ja vastaavasti teollisissa ja muuten vaativissa kohteissa 10 kA. Katkaisukyvyyn tulee olla suurempi, kuin asennuspaikassa esiintyvä oikosulkuvirran tehollisarvo. Toimintaominaisuudet riippuvat toimintakäyristä, jotka on esitetty taulukossa 10. Taulukossa 11 on esitetty käyrien erilaisia käyttökohteita. (Sähkötieto ry, 2015, ss. 3-4)

TAULUKKO 40. Johdonsuojakatkaisijoiden toiminta-aikakäyrien rajavirrat ja toiminta-ajat.

(Sähkötieto ry, 2015, s. 4)

	Ylikuormitussuojaus		Oikosulkusuojaus	
	$> 1 \text{ h}$ $\times I_n$	$< 1 \text{ h}$ $\times I_n$	$> 100 \text{ ms}$ $\times I_n$	$< 100 \text{ ms}$ $\times I_n$
	Pito	Laukaisu	Pito	Laukaisu
B	1,13	1,45	3	5
C	1,13	1,45	5	10
D	1,13	1,45	10	20
K	1,05	1,2	8	12
Z	1,05	1,2	2	3
A	1,13	1,45	2	3

TAULUKKO 11. Ohjeita laukaisukäyrän valintaan. (Sähkötieto ry, 2015, s. 4)

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

Työssä ei paneuduta enempää johdonsuojakatkaisijoihin, sillä niiden käyttö päävirtapiireissä on olematonta suurten virtojen vuoksi.

### 6.3.7 Pienjännitekatkaisijat

Standardeissa SFS-EN 60947-1 ja SFS-EN 60947-2 on esitetty katkaisijoille ja kytkimille vaadittuja ominaisuuksia sovelluksissa, joiden jännite on rajattu alle 1000 V<sub>ac</sub> ja 1500 V<sub>dc</sub>. Katkaisijoita on kahta erilaista, kompaktikatkaisija sekä ilmakatkaisija. Kompaktikatkaisijassa on valettu kotelo ja sen sisällä on eristeaine. Tällöin eristeaine toimii kiinteänä osana katkaisijaa. Katkaisijassa käytetään pääkoskettimia, jotka ovat eristeaineessa suoraan etupaneelissa sijaitsevasta käyttövivusta mekaanisesti. Ilmakatkaisijassa pääkoskettimet ovat normaalisti normaalipaineisessa ilmatilassa. Katkaisijaa käytetään paneelin etuosassa olevista painonapeista tai vaihtoehtoisesti kauko-ohjauksella. pääkoskettimien toimintaa ohjataan jousivoimalla. Jousi viritetään joko mekaanisesti kammella katkaisijan edestä tai sähköisesti moottorilla. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, ss. 37 - 39)

Katkaisijoita on kolmea erilaista: kiinteä-, ulosvedettävä- ja ulosotettavakatkaisija. Asennus kiinteässä katkaisijassa on suoraan asennuslevyyn, jolloin kaapelit tai kiskot liitetään suoraan katkaisijan liittimiin. Ulosvedettävissä katkaisijoissa sekä alle 630 A:n ulosotettavissa kompaktikatkaisijoissa tulee kiinteä osa keskukseen ja siihen liitetään kaapelit ja kiskot. Katkaisija tulee erikseen kiinteään osaan ja on helposti vaihdettavissa ja huollettavissa irrallaan. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 39)

Katkaisijalta ja kytkimiltä vaaditaan niiden toimimista korkeissa virta-arvoissa. Katkaisukyvyksi kutsutaan oikosulkuvirtaa, jonka katkaisija kykenee katkaisemaan standardissa määritetyllä tavalla. Suojalaitteen oikosulkuvirran katkaisukyvyyn ( $I_{cu}$  tai  $I_{cn}$ ) on oltava yhtä suuri tai suurempi kuin sen sijaintipaikassa odotettavissa oleva oikosulkuvirta. Näiden määritelmät ovat standardeista:

$I_{cu}$	Äärimmäinen oikosulkuvirran katkaisukyky, eli kuvatuissa olosuhteissa äärimmäinen katkaisukyky, johon ei sisälly vaatimusta katkaisijan kyvystä jatkuvasti johtaa mitoitusvirtaa
$I_{cn}$	Katkaisijan oikosulun mitoituskatkaisukyky, eli valmistajan katkaisijalle ilmoittama äärimmäisen oikosulun katkaisukyky. (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017)

Kompakti- ja ilmakatkaisijalla on eroja nimellisvirroissa, kuin myös katkaisukyvyssä. Kompaktikatkaisijan nimellisvirrat  $I_n$  ovat 63–1600 A ja sen katkaisukyky valitaan esiintyvän oikosulkuvirran perusteella, katkaisukyky on 1–100 kA. kompaktikatkaisijoiden käyttökohteita ovat esimerkiksi pääkatkaisijat, ja ne täyttävät yleensä erotuskytkin vaatimukset, kaapelisuojoina sekä moottorilähtöjen etukojeina. Katkaisijan virranrajoituskyvyn kasvaessa katkaisukyky paranee myös. (Sähkötieto ry, 2017)

Ilmakatkaisijoissa nimellisvirrat vastaavasti ovat alueella 800–6300 A, myös katkaisukyvyssä on hieman eroa sen ollessa 40–150 kA. Katkaisijat ovat käytössä esimerkiksi suurten teollisuuslaitosten ja liikekiinteistöjen pääkatkaisijoina. Näiltä katkaisijoilta vaaditaan myös suurta mekaanista ja sähköistä luotettavuutta. Ilmakatkaisijoiden käyttö on vähentymään päin, sillä uudet tehokkaat kompaktikatkaisijat pystyvät miltei samoille katkaisukyvyille. Muita eroja kompakti- ja ilmakatkaisijan välillä on koko ja suorituskyky. Kompaktikatkaisijalla on pienempi ja suorituskyvyltään heikompi, lisäksi sen mekaaninen elinikä on lyhyempi. Lisäksi kompaktikatkaisijalle ei sallita sen alhaisen termisen keston takia suuria aikahidastuksia releille. (Sähkötieto ry, 2017)

### 6.3.8 Katkaisijoiden mitoitusarvot ja katkaisukyvyt

Katkaisukyky on niin sanottu oikosulkuvirta, jonka katkaisija kykenee katkaisemaan standardissa määrättyllä tavalla. Katkaisukyvyt ilmoitetaan kahdella eri arvolla ja ne täytyy todeta koestamalla. Ilmoitettavat arvot ovat seuraavat:

$I_{cs}$	Käyttöaikaisen oikosulun nimelliskatkaisukyky
$I_{cu}$	Oikosulun nimellinen mitoituskatkaisukyky. (Sähkötieto ry, 2015, s. 5)

Lisäksi käytettäviä arvoja ovat:

$I_{cw}$	Katkaisijan lyhyt terminen kestävyys, eli katkaisijan kyky kestää laukaisun hidastusta oikosulussa. Tätä arvoa tarvitaan, kun joudutaan viivästäämään oikosulun katkaisua selektiivisyyden vuoksi. Ilmoitettavat arvot yleensä 1 s:n arvo, mutta käytössä on myös 0,05 s, 0,1 s, 0,25 s ja 0,5 s:n arvot. (Sähkötieto ry, 2015, s. 5)
----------	---

$I_{cm}$  Kytöntäkyky -arvo, eli katkaisijan kykyä kestää oikosulkuvirran huippuarvon aiheuttamaa mekaanista rasitusta. Arvo lasketaan katkaisijan katkaisukyvyistä  $I_{cu}$  kertomalla, joka on välillä 1,5...2,2. Voidaan ilmoittaa myös suuremmilla arvoilla. (Sähkötieto ry, 2015, s. 5)

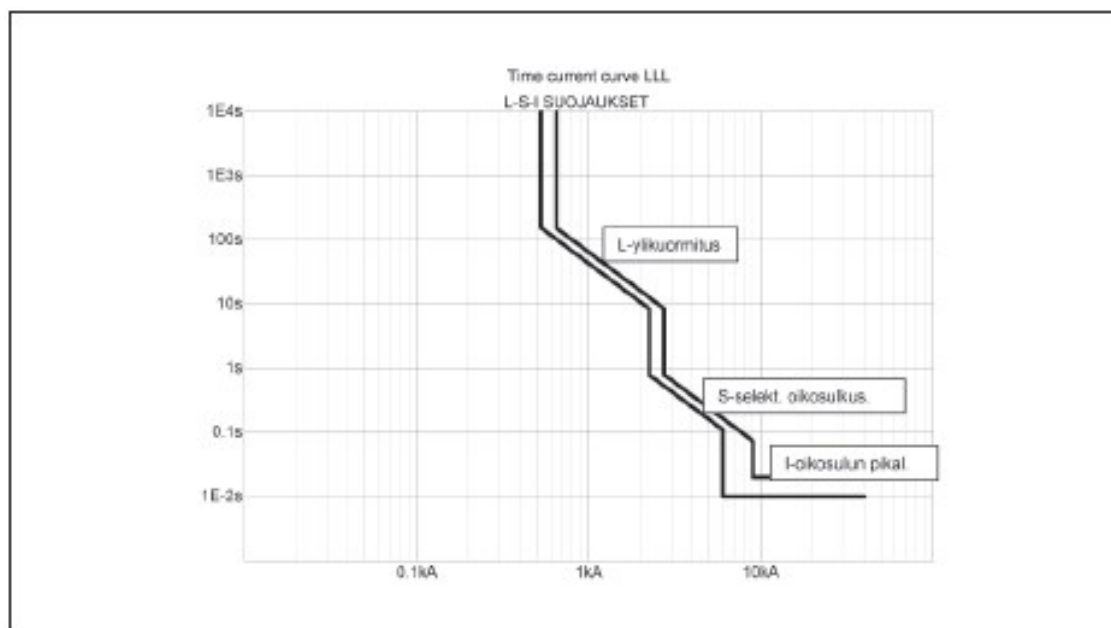
Edellä mainittuja arvoja käytetään katkaisijoiden valinnassa. Standardin SFS 6000-5-533-3 mukaan suojalaite valitaan  $I_{cu}$  -arvon mukaan, mutta suositellaan, että liittymispisteessä tai muualla tarkoituksen mukaan käytettäisiinkin  $I_{cs}$  -arvoa. Tarkoittaen karkeasti käytännössä, että ilmakatkaisijoiden valinnassa käytetään  $I_{cs}$  -arvoa ja vastaavasti kompaktikatkaisijoissa  $I_{cu}$  -arvoa. Laitteen valmistajan ilmoittaa kullekin käyttöjännitteelle  $I_{cu}$  -arvon, joka on ilmoitettu kiloampeereina ja on tehollisarvo eli r.m.s. -arvo. Katkaisijan katkaisukyky heikkenee jännitteen kasvaessa, siksi arvot on ilmoitettava jokaiselle jännitetasolle erikseen. esimerkiksi  $I_{cu} = 50 \text{ kA} / 400\text{V}$ ,  $I_{cu} = 20 \text{ kA} / 690 \text{ V}$ .  $I_{cs}$  on suhteellinen arvo  $I_{cu}$ :sta esim.  $I_{cs} = 25 \% I_{cu}$ . Käytetyt prosentit ovat 25–50–75–100 %.  $I_{cu}$ :n ollessa sama, kuin  $I_{cw}$ :n, voidaan arvo ilmoittaa vaihtoehtoisesti kA:na. (Sähkötieto ry, 2015, s. 5)

### 6.3.9 Suojareleet

Standardissa suojareleen termiselle ylikuormasuojaukselle annetaan seuraavat rajavirrat:

Kestorajavirta	= 1,05 x aseteltu (min. 2 h, ≤ 63 A min 1 h)
laukaisurajavirta	= 1,30 x aseteltu (maks. 2 h, ≤ 63 A maks. 1 h) (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 40)

Oikosulkukatkaisua on mahdollista hidastaa selektiivisyyden takia. Nykypäivänä kompakti- ja ilmakatkaisijoissa ovat suojareleet pieniä kompaktikatkaisijoita. Poikkeuksena on elektroniset katkaisijat, joiden etuna on katkaisuaikojen asettelualueiden monipuolisuus. Elektronisilla releillä on laajat ja monipuoliset asettelualueet, mittaukset sekä hälytystoiminnot. Lisäksi katkaisijoissa voi olla suojatoimintoja esim. maasulku- ja yli- tai alijännitesuojaus. Joihinkin malleihin on lisäksi saatavilla väylälitettä. Kuvassa 18 on esitetty esimerkki elektronisen releen laukaisukäyrästä. Vaaka-akselilla on esitetty virta kiloampeereina ja pystyakselilla aika sekunteina. (Sähkötieto ry, 2015)



KUVA 18. Elektronisen releen toimintakäyrä. (Sähkötieto ry, 2015)

#### 6.4 Sulakkeellinen suojaus

Sulakesuojauksella on edelleen vankka asema suojauksessa, vaikka sen käyttö Suomessa on vähentynyt. Käytettävissä olevat sulakkeet ovat tulppasulakkeet sekä kahvasulakkeet. Sulakkeet on merkitty kirjaimilla, jotka kertovat katkaisualueen ja käyttöluokan. Ensimmäinen kirjain kertoo katkaisualueen. Kirjaimet ovat g ja a. Kirjain g käsittää koko virta-alueen ja a tietyn osa-alueen. Toinen kirjain määrittää käyttöluokan ja samalla tarkasti virta-aikaominaisuudet. Vaihtoehdot ovat gG, gM ja aM. yleiskäyttöön tarkoitettu sulake, jonka katkaisukyky käsittää koko virta-alueen on gG-sulake. Moottoripiiriin tarkoitettu vastaava sulake on gM-sulake. Moottoripiiriin suojaus sulake tietylle virta-alueelle on aM. (Sähkötieto ry, 2017)

Tulppasulakkeet toimivat sekä ylikuormitus- että oikosulkusuojina, mutta oikosulkusuojauksessa sen katkaisukyvyyn ollessa standardin mukaisesti 500 voltilla 20 kA on sen käyttö rajattua. Tulppasulakkeet ovat yleensä selektiivisiä kahden koon välillä, mutta käytettäessä saman valmistajan sulakkeita voidaan selektiivisyys saavuttaa yhden portaan erolla. Tulppasulakkeiden nimellisvirrat ovat yleensä maksimissaan 200 A, mutta normaalisti 63 A. Kuvassa 19 on esitetty esimerkki 10 A tulppasulakkeesta (Sähkötieto ry, 2017)



KUVA 19. Tulppasulake (Elfa Distrelec, 2020)

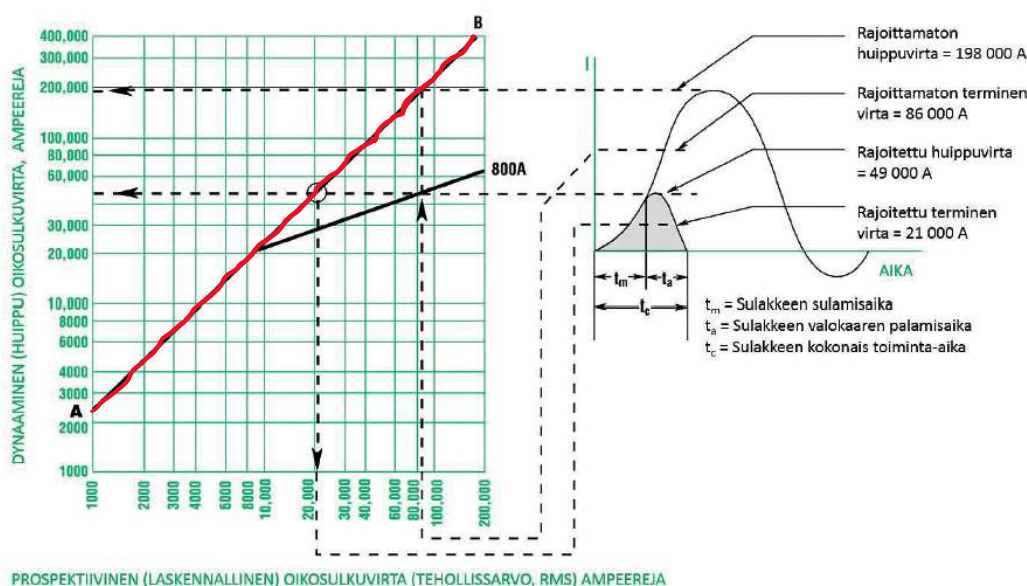


Kahvasulakkeet ovat vastaavasti hyvän katkaisukyvyyn takia sopivia oikosulkusuojuukseen. Ilman erillistä ilmoittamista niiden katkaisukyky on vähintään 50 kA, mutta usein katkaisukyky on 100 kA. Kahvasulakkeiden nimellisvirrat ulottuvat yleensä 630 ampeeriin. Joskus myös esiintyy nimellisvirtoja 1000 A ja 1250 A. Kahvasulakkeen ovat myös hyvin selektiivisiä. Kuvassa 20 on esimerkki 250 A kahvasulakkeesta. Kahvasulakkeita on myös fyysisesti erikokoisia, vaikka nimellisvirta on sama. (Sähkötieto ry, 2017)



KUVA 20. Kahvasulake (Finnparttia, 2020)

Sulakkeen yksi hyvä ominaisuus on niiden kyky rajoittaa oikosulkuvirtaa. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää kojeistojen ja laitteistojen mitoitusvaatimusten pienentävänä tekijänä. Tällä saadaan myös vaikutettua selektiivisyyteen. Sulakkeita käytettäessä keskuksella on huoltokohteita vähemmän verrattuna katkaisijoihin ja releisiin. Lisäksi keskuksista tulee selkeämpiä. Kuvassa 21 on esimerkki oikosulkuvirran rajoituksesta. Kuvassa punainen käyrä (A-B väli) on rajoittamattoman huippuvirran käyrä. Punaisen käyrän keskivaiheilta lähtevä musta käyrä, jonka lopussa on luku 800 A, on rajoitetun huippuvirran käyrä. (Sähkötieto ry, 2018, s. 9)



KUVA 21. Ehdollisen oikosulkuvirran määrittäminen virranrajoituskäyrän avulla. (Sähkötieto ry, 2018, s. 9)

Kuvasta 21 voidaan havaita, että laskennasta saadun prospektiivisen oikosulkuvirran ollessa 86 kA (katsotaan vaaka-akselilta) on rajoitettu huippuvirta 49 kA (katsotaan pystyakselilta). Ilman virranrajoitus ominaisuutta olisi rajoittamaton huippuvirta 198 kA. Siirryttäessä rajoitetulta käyrältä rajoittamattomalle käyrälle voidaan mustan ympyrän kohdalta lukea rajoitettu terminen virta x-akselilta, joka on 21 kA. Näitä arvoja voidaan hyödyntää jakokeskuksen oikosulkukestoisuuden ehdollisina arvoina  $I_{cc}$ . Jakokeskuksen mitoitusarvoista kerrotaan kohdassa 6.9. (Sähkötieto ry, 2018, s. 9)

## 6.5 Selektiivisyyden tarkastelu

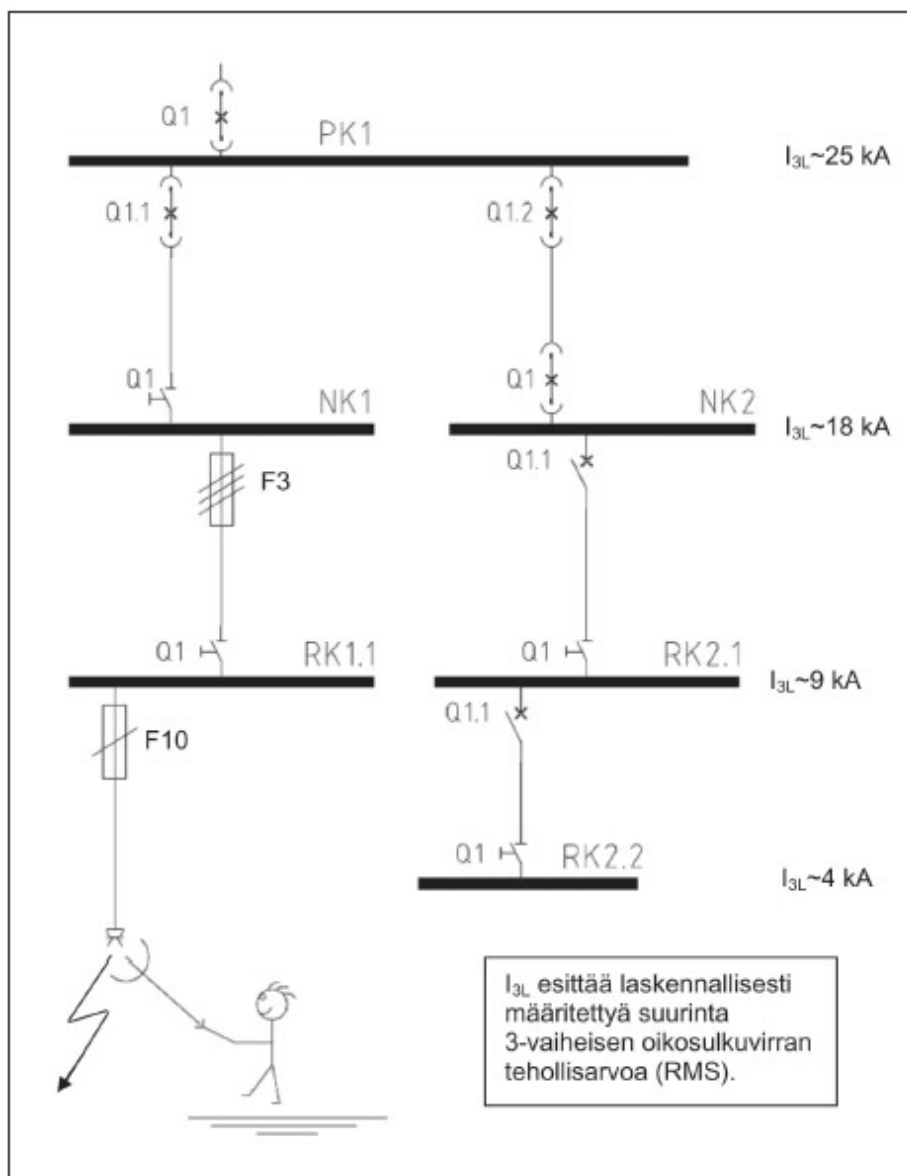
Selektiivisyyden kannalta suojaustavan valinnalla on suuri merkitys. Nopean toimintanopeuden ansiosta voidaan minimoida oikosulun aiheuttamat haitat. Kuten aiemmin jo standardin mukaan suojausten täytyy toimia ennen kuin kaapeleiden ja johtimien eristeet vahingoittuvat, mutta myös nopealla poiskytkemisellä muut verkon vaaratekijät ja vahingot saadaan minimoitua. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015)

Selektiivisyyden puute tai sen virheellinen mitoittaminen havaitaan yleensä vasta vikatilanteessa. Tällainen tilanne syntyy yleensä laitteistovian tai vaurion tai inhimillisen virheen seurauksena. Normaalisissa käyttötilanteissa se ei yleensä ilmene. Todellisen vian tullessa eteen jo esimerkiksi rakennusaikana tai järjestetyn testauksen avulla voidaan selektiivisyys todeta jo aiemmin. Kuten aiemmin mainittiin, mitä paremmin selektiivisyys toimii, sitä pienemmälle alueelle vika pääsee vaikuttamaan. Tällöin vika ei myöskään aiheuttaisi katkoksia tarpeettoman laajalle alueelle aiheuttaen häiriöitä muihin toimintoihin. Helpon ja edullisin tapa vaikuttaa selektiivisyyteen on ottaa se hyvin huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Tällöin laitteistojen valintoihin on helppo vaikuttaa ja valita tarvittavat laitteet selektiivisyyden mukaan. Liian suurella sulakkeen mitoituksella voidaan esimerkiksi tulla tilanteeseen, jossa suojalaite ei huomaa verkossa syntyvää vikaa riittävän nopeasti tai lainkaan. Laskennat ovat siis suuressa osassa myös selektiivisyys tarkastelussa. Selektiivisyys on myös hyvä tarkastaa aina, kun verkkoon tehdään muutoksia tai kiinteistön käyttötarkoitus muuten muuttuu. (Sähkötieto ry, 2017, s. 1)

### 6.5.1 Selektiivisyys ja epäselektiivisyys

Yksinkertaisesti sanottuna selektiivisyydellä tarkoitetaan sitä, että vikapaikan lähinnä oleva suojalaite toimii vian sattuessa ja erottaa vikaryhmän pois muusta verkosta. Tällöin mahdollisimman pieni osa verkkoa jää jännitteettömäksi. Tyypillinen vikapaikka on ryhmäjohdossa, joka johtuu laitteesta tai käyttäjävirheestä. Tällöin vikavirta kulkee usean suojalaitteen läpi. Kuvassa 22 on esimerkki selektiivisyydestä ja suojausten toimintaperiaatteesta. Vika tapahtuu ryhmäjohdossa, jota suojaava sulake F10. Vikavirta kulkee sulakkeiden F10 ja F3 läpi, sekä edelleen pääkytkimen, pääkeskuksen lähtökatkaisijan ja pääkatkaisijan kautta. Tässä tilanteessa suojaus on valittu ja aseteltu siten, että ryhmäjohtoon edessä oleva sulake F10 toimii eli palaa. Muiden suojausten ei tule toimia, mutta jos näin kävisi, olisi selektiivisyydessä jotain vialla eli järjestelmässä olisi epäselektiivisyyttä. (Sähkötieto ry, 2017, s. 2)

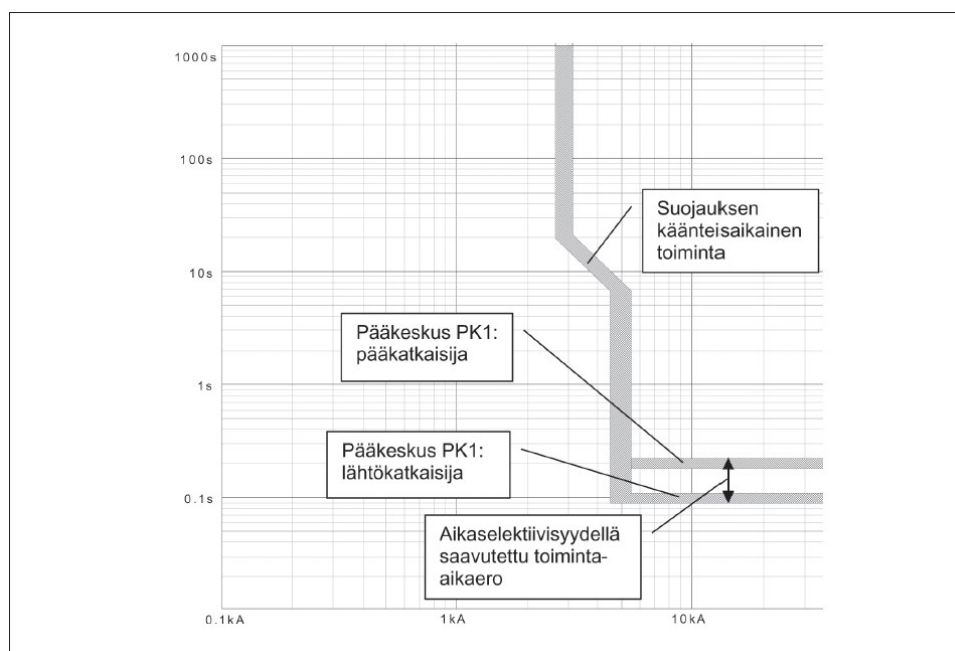
Epäselektiivisyyttä voidaan siis pitää selektiivisyydevirheenä eli virhetoimintana. Tällöin verkossa voi toimia useampia suoja. Tällöin suojauksen toiminta on epämääräistä ja vikatilanteessa syntyvä jännitteetön alue on tarpeettoman suuri. Vika toisin sanoen leviää verkon terveisiin osiin ja aiheuttaa sielläkin jännitteettömyyttä ja keskeytyksiä. Epäselektiivisyytenä pidetään myös tilannetta, jossa suoja ei toimi vian sattuessa lainkaan. Tämä on pahin epäselektiivisyyden muoto. Tällainen virheellinen toiminta voi johtaa joko suoraan tai välillisesti henkilö- ja omaisuusvahinkoihin. Kuvassa 22 epäselektiivinen toiminta voisi olla, että peräkkäin olevat sulakkeet F10 ja F3 olisivat peräkkäisiä kojoja ja eri valmistajilta. Tällöin olisi mahdollista molempien palaa vian seurauksena. Myös Ryhmäkeskuksessa aiheutuva vika voisi aiheuttaa pääkeskuksen pääkatkaisijan avautumisen, jolloin koko kiinteistöä kohtaisi jännitekatkos. (Sähkötieto ry, 2017)



KUVA 22. Esimerkkikuva selektiivisyydestä ja suojauksen toimintaperiaatteesta (Sähkötieto ry, 2017, s. 2)

## 6.5.2 Aikaselektiivisyys

Aikaselektiivisyydessä otetaan huomioon sarjassa olevien suojién toiminta-ajat. Toiminnot porrasteaan sopivasti eli esimerkiksi hidastetaan toisiinsa nähden. Yksinkertaistettuna ryhmäjohton suojoilla eli verkon loppupäässä olevalla suojoilla on toiminta-aika lyhyempi, kuin sähköverkon alkupäässä olevilla suojoilla. Toimintakäyrien valinnalla ja toimintojen hidastamisella pystytään hyvin vaikuttamaan aikaselektiivisyyteen. Kuvassa 23 on kuvattu pääkeskuksen pääkatkaisijan ja lähtökatkaisijan toimintakäyrät. Kuvasta nähdään, että vian tapahduttua pääkeskuksen ja nousukeskuksen välillä on releasetteluilla saatu aikaan tilanne, jossa nousujohton lähtökatkaisija (Q1.1) toimii ennen pääkatkaisijaa (Q1). Vikavirtojen suuruuksien ollessa ennakoita määräämättömät tulee toiminta-aikojen olla koko virta-alueella riittävän erisuuret. Kuvan 23 mukaan myös ylimmän eli hitaimman suojalaitteen tulee olla grafiikan koordinaatistossa olla ylimpenä. Vikavirran ollessa 10 kA on katkaisijoilla toleranssin mukaan toiminta-aikaeroa 40–170 ms. Pääkatkaisija toimii hitaammin, kuin lähtökatkaisija. Kuvassa 22 on myös esitetty aikaselektiivisyyden käsitteet vakioaikainen ja käänteisaikainen toiminta. Vakioaikaisessa toiminnassa vikavirran suuruus ei vaikuta suojalaitteen toiminta-aikaan vaan on sama. Käänteisaikaisessa toiminnassa vikavirran suuruus vaikuttaa toiminta-aikaan; mitä suurempi vikavirta sitä lyhyempi toiminta-aika. Kuvassa 23 yhdistetään nämä kaksi käyrää ja noin alle 5 kA toiminta on käänteisaikaista ja sen rajan yli mennessä toiminta muuttuu vakioaikaiseksi. (Sähkötieto ry, 2017, s. 3)

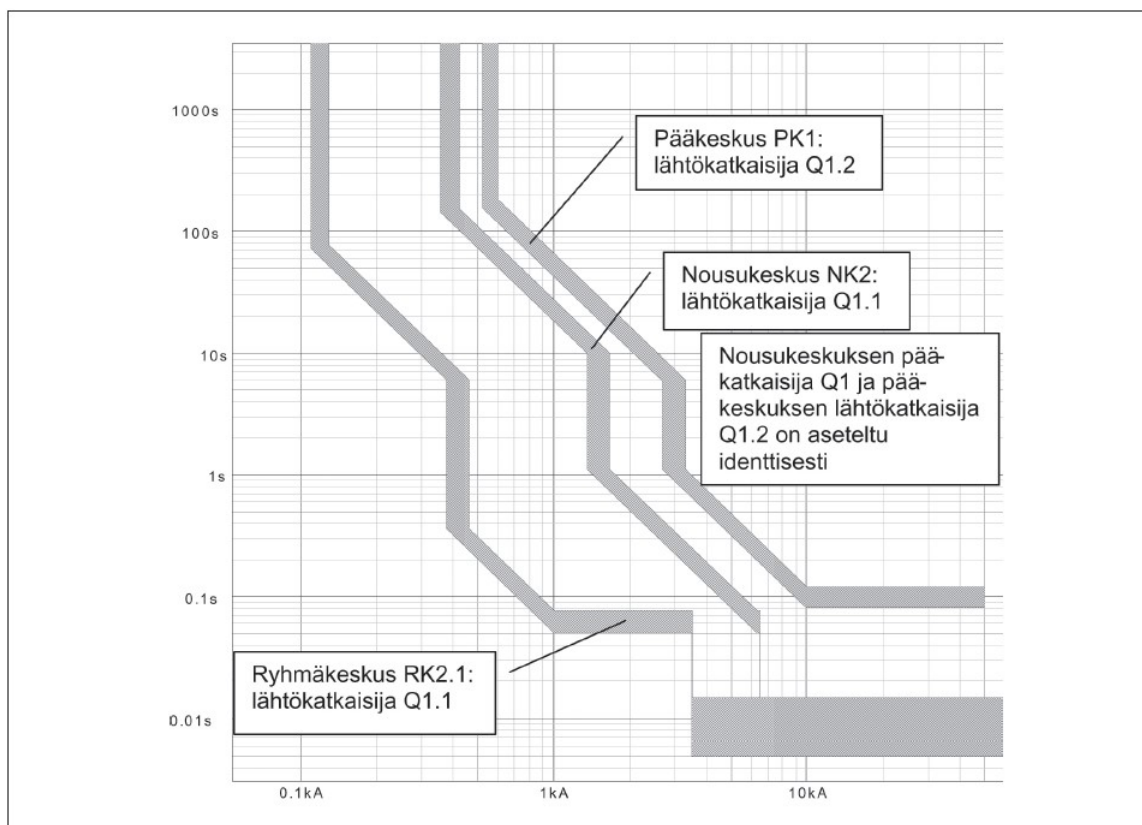


KUVA 23. Esimerkkikuva aikaselektiivisyydestä, ylivirtasuojien toimintakäyrät (käyttöjännite 400 V) (Sähkötieto ry, 2017, s. 3)

### 6.5.3 Virtaselektiivisyys

Virtaselektiivisyydellä puolestaan tarkoitetaan vikavirran suuruuden vaihtelun huomioimista eri suo-  
jauksissa. Mitä lähempänä syöttöä vika on, sitä suurempi on vikavirta. Vastaavasti mitä kauempana  
vika tapahtuu, sitä pienempi vikavirta on. Suojauksessa tämä voidaan huomioida selektiivisyyden  
saavuttamisessa asettamalla edellinen suoja riittävän epäherkäksi. Aikaselektiivisyydellä saavutetaan  
yleensä varmin selektiivisyys helpoimmin, mutta ongelmana on sarjassa olevien suojien lukumäärien  
aiheuttama käytössä olevan ajan loppuminen kesken. Selektiivisyyden kannalta tällöin, kun toiminta-  
ajat ovat samat peräkkäisissä suojoissa, tulee vikavirtatasot olla tiedossa mahdollisimman tarkasti,  
jotta saavutetaan virta-asettelulla vaadittava selektiivisyys. Kuvassa 22 on useampi katkaisija peräk-  
kään sarjassa ja sen takia pelkkä aikaselektiivisyys ei riitä saavuttamaan vaadittua selektiivisyyttä.  
Käyttöön otetaan myös lisäksi virtaselektiivisyys, kun tiedossa on kaikille keskuksille lasketut maksi-  
mivikavirrat, on helppo toteuttaa katkaisijoiden valinnat sekä tehdä niiden releasettelut näiden tieto-  
jen perusteella. Huomioon tulee muistaa ottaa verkon pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta verkon  
loppupäässä. Tämä huomioimalla varmistetaan suojauksen toiminta myös vian sattuessa verkon lop-  
pupäässä, jossa vikavirta on pienimmillään. (Sähkötieto ry, 2017, s. 3)

Kuvassa 24 on esitetty suojausketju kuvan 22 tilanteesta pääkeskuksen PK1 lähtökatkaisijalta Q1.2  
ryhmäkeskuksen lähdölle RK2.2. Kuvasta 22 huomataan, että sen oikeaan reunaan on merkattu las-  
kennalliset suurimmat oikosulkuvirtojen tehollisarvon keskustasoille. Esimerkiksi RK2.2 tapahtuvassa  
oikosulussa laskennallinen suurin oikosulkuvirta on 4 kA, eli vikavirta ei nouse siitä suuremmaksi.  
Katkaisijoiden NK2(Q1.1) ja RK2.1(Q1.1) välillä aikaepäselektiivisyydellä ei ole merkitystä, sillä tiede-  
tään, ettei vikavirta nouse katkaisijan RK2.1(Q1.1) takana tapahtuvissa vioissa riittävän suuriksi, ja  
että keskuksen NK2.1 katkaisija Q1.1 laukeaisi ennen ryhmäkeskuksen katkaisijaa. (Sähkötieto ry,  
2017, s. 3)



KUVA 24. Esimerkkikuva virtaselektiivisyydestä, ylivirtasuojien toimintakäyrät (käyttöjännite 400 V) (Sähkötieto ry, 2017, s. 4)

## 6.6 Verkon selektiivinen suojaus

Yksinkertaiseen verkon rakenteeseen tulisi pyrkiä, jotta verkko olisi käytettävyyden ja suojausten kannalta hyvä. Selektiivisyydessä tulee vielä huomioida suurjänniteliittymisissä, että niin pienjännitepuolen, kuin suurjännitepuolen suojaus on yhteensopiva molemmissa jännitetasoissa eikä vain omassaan. Suurjänniteliittymisissä liittymiskojeistossa on oma pääkatkaisija, jossa on suojariele sekä muuntajalähtöinä varokekuormanerotimia tai katkaisijoita. Nämä vaikuttavat myös selektiivisyyteen. Katkaisijoiden ylivirtasuojareleiden tulee olla 3-portaisia, joissa on käytössä sekä vakioaikaisia että käänteisaikaisia laukaisukäyriä. Sulakkeiden toimintakäyrät saattavat olla valmistajien mukaan hieman erilaisia. Nämäkin pienet erot voivat eräissä tapauksissa olla merkitseviä. (Sähkötieto ry, 2017)

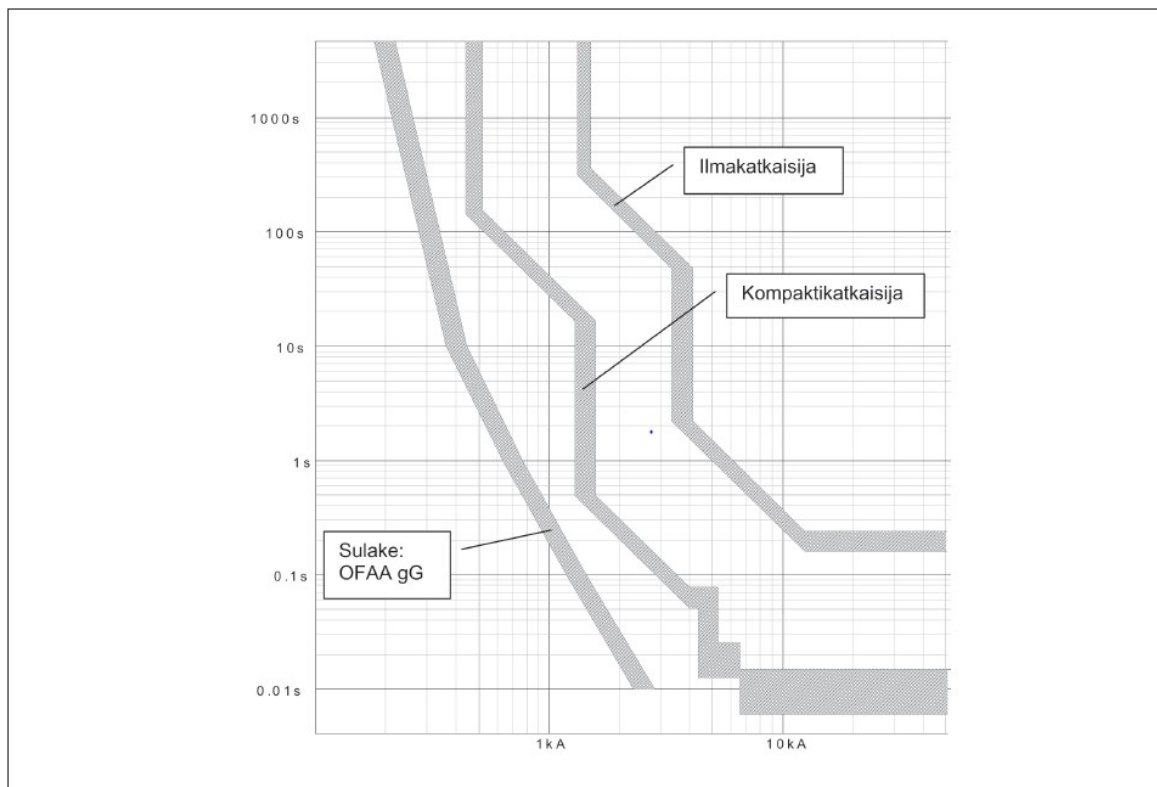
Sulakkeita käytettäessä päästään hyvään selektiivisyyteen, kunhan sulakekoot ovat toisiinsa nähden valittu oikein, eikä käytössä ole liian suuret sulakekoot. Periaatteena sulakkeiden selektiivisyydelle on, että käytettyjen peräkkäisten sulakkeiden väliin jää yksi sulakekoko. Peräkkäisten sulakkeiden nimellisvirtojen suhteen pitää olla vähintään 1,6:1. Valittaessa pääsulakkeeksi 25 A sulake, selektiivisyys täyttyy 16 A perättäisellä sulakkeella. (Sähkötieto ry, 2017, s. 5)

Releiden asetteluissa tulee huomioida virtojen suuruudet eri paikoissa. Johtojen ollessa hyvin pitkiä on vikavirtojen suuruudetkin hyvin erilaisia. Vastaavasti lyhyemmällä johdolla on vikavirta enemmän samansuuruisia. Selektiivisyyden saavuttaminen tällöin on mahdollista saavuttaa toimintahidastuksilla. Releitä käytettäessä on huomioita niiden peräkkäinen aikaporrastus. Verkon selektiivisyyden tarkastaminen on helppoa vertailemalla suojujen ominaiskäyriä toisiinsa tai jopa saamalla käyrät

samaan diagrammiin. Selektiivisyyden saavuttamiseksi jälkimmäisen suojalaitteen ominaiskäyrän on oltava edeltävän suojalaitteen ominaiskäyrän yläpuolella, kuten kuvassa 24 on esitetty. Ominaiskäyrät eivät saa leikata toisiaan missään odotettavissa olevassa ylivirran arvossa. Täytyy myös muistaa, että kaikissa tilanteissa täydellisen selektiivisyyden saavuttaminen ei ole tarpeellista. (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 114)

## 6.7 Suojauksen valinta

Katkaisijat ja kytkimet tulee valita siten, että ne täyttävät lasketut mitoitusarvot. Suojauksen valinnassa on käytännössä kaksi eri vaihtoehtoa, sulakkeeton suojaus tai sulakkeellinen suojaus. Valittaessa pääkeskuksen suojausta suurivirtaisille päävirtapiireille on käytettävä suojaustapa sulakkeeton suojaus, joka on toteutettu joko ilma- tai kompaktikatkaisijoilla. Katkaisijoiden etuina ovat selvästi tarkempi toiminta esimerkiksi pienillä ylikuormilla. Ilmakatkaisijoita käytetään yleensä pääkatkaisijoina pääkeskustasoilla ja keskusten välisinä huoltokatkaisijoina sekä lähtökatkaisijoina nousukeskuksille. Näiden katkaisijoiden etuna on selektiivisyydessä sen hidastettavuus koko virta-alueella. Kompaktikatkaisijan erona on sen selektiivinen toiminta virta-alueella. Suurilla virroilla katkaisija avautuu heti, ilman mahdollisuutta hidastukseen. Suojarele valinnalla voidaan vielä vaikuttaa selektiivisyyden lopputulokseen. Elektroninen suojarele on hyvä tähän tarkoitukseen. Releessä tulisi olla ylikuormitussuoja virta- ja aika-asetteluineen, hidastava oikosulkusuojaus virta- ja aika-asetteluilla, sekä mahdollisuus käyttää käänteisiä toimintakäyriä. Hidastamaton oikosulkusuojaus virta-asettelulla ja ominaisuuden poisto mahdollisuudella olisi myös hyvä olla releessä. Edellä mainitut ominaisuudet ovat vähintään mitä pääkeskustasolla voidaan vaatia. Lisäksi yleisesti ottaen olisi järkevää pysyä koko ajan saman valmistajan tuotteissa, koska silloin toimintakäyrät ovat helpommin yhteensovitettavissa. Kuvassa 25 on esitetty toimintakäyrien erot sulakkeella, kompakti- ja ilmakatkaisijalla. (Sähkötietory, 2017, s. 5)



KUVA 25. Esimerkkikuva katkaisijoiden ja sulakkeen toimintakäyristä (käyttöjännite 400 V)  
(Sähkötieto ry, 2017, s. 6)

## 6.8 Jakokeskuksen oikosulkusuojaus ja oikosulunkestävyys

Jakokeskukset ovat sähköturvallisuuden ja luotettavuuden kannalta erittäin tärkeitä laitteita. Vaatimukset, jotka liittyvät jakokeskuksiin on esitetty standardisarjassa SFS-EN 61439. Tärkeimpinä asioina jakokeskuksen suunnittelussa on antaa suunnittelijalle kaikki mahdollinen tieto mahdollisimman tarkkoilla mitoitusarvoilla, jotta saadaan rakennettua vaatimukset täyttävä keskus. Tässäkin tapauksessa siis mitoitus ja oikosulkuvirratt nousevat hyvin esille myös keskusta rakennettaessa ja suunniteltaessa. Termiset ja dynaamiset rasitukset eivät saa vaikuttaa keskuksen rakennettavuuteen siten että nämä keskuksia rasittavat asiat on huomioitu. Kiskostoissa nousevat esille enemmän dynaamiset, kuin termiset kestävyudet. Kiskostot ovat yleensä mitoitettu suuriksi, etteivät lyhytaikaiset oikosulut nosta lämpötilaa liian suuriksi. Ongelmaksi termisessä kestoisuudessa voi nousta tilanne, jossa selektiivisyyden takia joudutaan pidentämään vian kestoaikaa. Dynaamiset rasitukset ovat keskuksen oikosuojauksen kannalta se kriittisempi tekijä, sillä tämä aiheuttaa kiskostojen välille sekä muiden oikosulkupiirien välille rasitusta. Turvallinen käyttövarmuus saadaan riittävällä oikosulkukestoisuudella. Oikosulkukestoisuutta arvioidessa käytetään seuraavia suureita: (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 129)

$I_{cw}$  ( $I_{th}$ ) Keskuksen lyhytaikainen mitoituskestovirta (terminen nimelliskestovirta)  
Lyhytaikaisen mitoituskestovirran on oltava yhtä suuri tai suurempi kuin syöttöjärjestelmän prospektiivinen tehollisarvo kussakin syöttöpisteessä. Keskuksille voidaan antaa useampia  $I_{cw}$  -arvoja erilaisille kestoajoille, kuten 0,2 s; 1 s ja 3 s. Useimmin käytetty aika-arvo lyhytaikaiselle mitoitusvirralle on 1 s, käytetty aika on aina ilmoitettava



virran yhteydessä. Aiemmin jakokeskusstandardissa on käytetty nimitystä terminen nimelliskestovirta  $I_{th}$ . (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 131)

$I_{pk}$ ( $i_{dyn}$ )	Mitoituskestovirran huippuarvo (dynaaminen oikosulkuvirta) Mitoituskestovirran huippuarvon pitää olla yhtä suuri tai suurempi, kuin syöttöjärjestelmän prospektiivisen oikosulkuvirran huippuarvo. Huippuarvoa ei ole rajoitettu millään suojalaitteella. Aiemmin käytetty nimitys mitoituskeskiarvolla on ollut dynaaminen oikosulkuvirta $i_{dyn}$ . (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 131)
$I_{cc}$	Ehdollinen mitoitusoikosulkuvirta Asentamalla keskuksen syöttöjohtoon oikosulkuvirtaa rajoittavat sulakkeet tai katkaisija voidaan rajoittaa oikosulkuvirtaa. Näitä käytettäessä voidaan oikosulkuvirran arvo sekä virtaa rajoittavien sulakkeiden arvot voidaan ilmoittaa erikseen $I_{cc}$ -arvona (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 131)

Prospektiivisen oikosulkuvirran arvo, riippuu missä ja millainen sen oikosulkusuoja on. Suojauksen ollessa syöttöyksikössä annetaan suurin sallittu virta-arvo syöttöliittimissä, kun taas aikahidastettua laukaisua käytettäessä, annetaan suurinta sallittua prospektiivista oikosulkuvirtaa vastaava suurin sallittu aikaviive ja virta-asettelu. Oikosulkusuojan sijaitessa jossain muualla, kun syöttöyksikössä pitää oikosulkukestävyys antaa yhdellä tai useammalla tavalla seuraavista: (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 132)

- a) lyhytaikainen mitoitusvirta ( $I_{cw}$ ) yhdessä siihen liittyvän kestoajan kanssa ja mitoitusvirran huippuarvon ( $I_{pk}$ ) kanssa
- b) ehdollinen mitoitusoikosulkuvirta ( $I_{cc}$ ) (Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa, 2015, s. 132)

Laitteiden ja asennusten keston kannalta tärkeintä on, että ne kestävät nämä oikosulkuvirtojen aiheuttamat rasitukset. Tällöin pitää mitoituskestovirran huippuarvon  $I_{pk}$  olla suurempi tai vähintään yhtä suuri, kuin suurin mahdollinen sysäysoikosulkuvirran  $I_p$  arvo. (Hirvonen, 2010, s. 11)

Keskuksen valmistajan on annettava oikosulkusuojien arvot, joilla keskus saadaan suojattua. Oikosulkukestoisuus määritellään testaamalla tai tietyissä tapauksissa laskemalla, esimerkiksi testausta ei tarvita, jos lyhytaikainen mitoituskestovirta tai ehdollinen mitoituskestovirta on enintään 10 kA. Sähkodynaamisen rasituksen määrittämiseksi saadaan oikosulkuvirran huippuarvo kertomalla oikosulkuvirran tehollisarvo kertoimella  $n$ . Kertoimet ovat esitetty taulukossa 12. Taulukon arvot ovat käytössä useimmissa sovelluksissa.

TAULUKKO 12. Kertoimen n arvot. (Suomen standardoimisliitto SFS, 2013, s. 152)

Oikosulkuvirran tehollisarvo kA	$\cos \phi$	n
$I \leq 5$	0,7	1,5
$5 < I \leq 10$	0,5	1,7
$10 < I \leq 20$	0,3	2
$20 < I \leq 50$	0,25	2,1
$50 < I$	0,2	2,2

\* Taulukon arvot pätevät useimpiin sovelluksiin. Erityisissä paikoissa, esim. muuntajan tai generaattorin läheisyydessä, voi tehokerroin saada pienempiä arvoja, jolloin prospektiivisen virran huippuarvo voi tulla rajoittavaksi arvoksi oikosulkuvirran tehollisarvon sijasta.

Käyttöpaikalla esiintyvä oikosulkuvirta pitäisi olla tiedossa kohteen sähkösuunnittelijalla. Jos tietoa ei ole jostain syystä saatavilla, valmistaja voi käyttää mitoitusperustana keskuksen teknisissä dokumenteissa ilmoitettua oikosulkukestävyyttä. Keskusten tulisi kestää vähintään taulukon 13 mukaisia syöttöliittimissä esiintyvän oikosulkuvirran arvoja. Täytyy huomata, että nämä arvot ole välttämättä riittäviä jokaiseen kohteeseen.

TAULUKKO 13. Oikosulkukestävyuden suositellut arvot 400 V jännitteellä (SFS-käsikirja 640, 2016, s. 61)

Keskuksen mitoitusvirta $I_{NA}$ A	Lyhytaikainen mitoituskestovirta (oikosulkuvirran tehollisarvo kes- kuksen syöttöliittimissä) $I_{ov} 0,3 \text{ s}$ tai $I_{CC}$ kA	Mitoituskestovirran huippuarvo $I_{pk}$ kA
$\leq 125^*$	<2,0	<3,0
$> 125 \leq 250$	5,0	7,5
$> 250 \leq 400$	6,3	10,7
$> 400 \leq 630$	12,5	25,0
$> 630 \leq 800$	16,0	32,0
$> 800 \leq 1000$	20,0	40,0
$> 1000 \leq 1600$	25,0	52,5
$> 1600 \leq 2000$	31,5	66,2
$> 2000 \leq 2500$	40,0	84,0
$> 2500 \leq 3150$	50,0	105
$> 3150$	valmistajan ja käyttäjän/ tilaajan sopimuksen mukaan	

\* Pienillä < 125 A keskuksilla oikosulunkestävyyden arvoilla ei ole yleensä merkitystä.

## 6.9 Suojajohtimen mitoittaminen

Jännitteelle alttiit osat on kytkettävä käytettävissä olevan maadoitusjärjestelmän mukaan suojajohtimeen. Kaikki järjestelmät, jotka ovat kosketeltavissa samanaikaisesti, on liitettävä saamaan maadoitusjärjestelmään. Suojajohtimen poikkipinnan on täytettävä SFS 6000-4-41 kohdan 411.3.2 mukaiset syötön automaattisen poiskytkennän ehdot, sekä suojalaitteen toiminta-aikana esiintyvät prospektiivisen oikosulkuvirran aiheuttamat rasitukset. Suojajohtimen poikkipinta-ala voidaan määrittää taulukon 14 avulla. (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017, s. 378)

TAULUKKO 14. Suojajohtimen minimipoikkipinnat (jos niitä ei ole laskettu kaavan 29 mukaisesti) (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017, s. 379)

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

jossa

$k_1$  on äärijohtimen materiaalista ja eristyksestä riippuva kertoimen  $k$  arvo, joka on esitetty taulukossa [A.54.1](#) tai SFS 6000-4-43 taulukoissa

$k_2$  on kertoimen  $k$  arvo, joka on esitetty taulukoissa [A.54.2](#) - [A.54.6](#).

<sup>a</sup> PEN-johtimen poikkipinnan pienentäminen on sallittu vain noudattamalla nollajohtimen mitoituksen sääntöjä (ks. SFS 6000-5-52).

Vaihtoehtoisesti poikkipinnan arvo ei saa olla pienempi, kuin arvo, joka saadaan IEC 60949 mukaan tai arvo, joka saadaan laskettua kaavalla 31. Kaavaa voidaan käyttää poiskytkentäajan ollessa enintään 5 sekuntia. (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017)

$$A = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \quad (31)$$

jossa:

- A = Suojajohtimen poikkipinta-ala ( $\text{mm}^2$ )
- I = Suojalaitteen kautta kulkeva prospektiivinen vikavirran tehollisarvo (A), kun tapahtuu pieni-impedanssinen vika
- t = Suojalaitteen toiminta-aika
- k = Kerroin, jonka arvo riippuu suojajohtimen materiaalista, eristyksestä ja muusta rakenteesta sekä johtimelle sallituista alku- ja loppulämpötiloista (esitetty liitteessä 1) (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017, s. 379)

Seuraavat vaatimukset on huomioitava suojajohtimen mitoituksessa:

- Erillisen suojajohtimen, joka ei ole kaapelivaipan sisällä tai äärijohtimen kanssa samassa asennusputkessa, on oltava poikkipinnaltaan vähintään  $2,5 \text{ mm}^2$  Cu tai  $16 \text{ mm}^2$  Al, jos suojajohdin on mekaanisesti suojattu tai  $4 \text{ mm}^2$  Cu tai  $16 \text{ mm}^2$  Al, jos suojajohdinta ei ole mekaanisesti suojattu. Teräsjohtin ei käy.
- Suojajohdin, joka on asennettu putkeen tai johtokanavaan tai suojattu vastaavalla tavalla ja ei ole osa kaapelia katsotaan olevan tällöin suojattu. (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017, s. 380)

## 7 LAITTEISTON ASENNUKSEN SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVAA

Laitteiston asennuksessa on hyvä ottaa huomioon laitteiston vaatima tila sekä mahdollinen laitteen lisälämmön tuoma vaatimus lisjäähdytykselle. Keskus- ja muuntamotiloille on annettu omat määräykset. Sähkötilat tulisi olla suunniteltu siten, että ne ovat sijoitukseltaan ja käytettävyydeltään hyviä. Näin voidaan minimoida esimerkiksi kaapelisyöttöjen pituuksia. Tulevaisuuteen on hyvä varautua, sillä eteen voi tulla tilanteita, jolloin joudutaan tekemään laajennuksia sähköjärjestelmään.

### 7.1 Laitteiston perustiedot

Uutta laitteistoa lisättäessä tulee tietää uuden laitteiston fyysiset mitat. Pituusmitat vaikuttavat hyvin paljon sijoitusmahdollisuuksiin ja paino vastaavasti laitteen liikuteltavuuteen. Näiden pohjalta voidaan aloittaa suunnittelu laitteen sijoitukselle. Myös muut laitteiston erityisvaatimukset tulee selvittää. Laitteistojen mukana tulevat valmistajan ohjeet, joita tulee viimekädessä noudattaa herkeämättä. Tarvittavien tietojen puuttuessa tulee ottaa yhteyttä valmistajaan.

### 7.2 Sijoittaminen

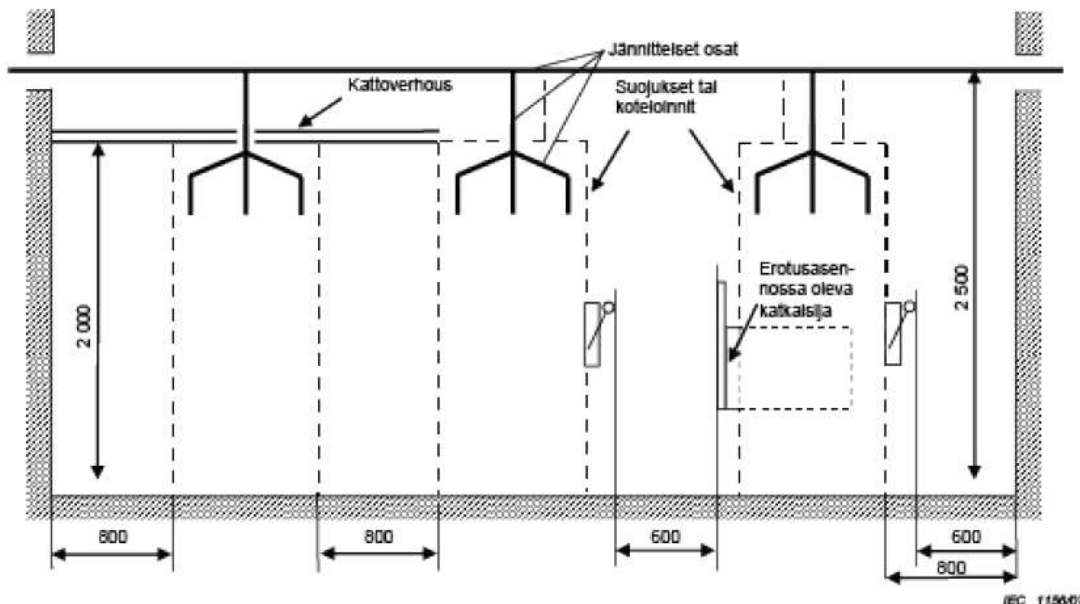
Laitteiston sijoittamiseen vaikuttaa laitteen vaatimat olosuhteet, kuten ilman lämpötila ja ilman kosteus. Laite voi vaatia lisäilmanvaihtoa kohteessa, jos sijoituspaikassa on muita laitteita. Tämä riippuu laitteiden lämmöntuotoista. Myös ilman viilentämisen mahdollisuutta voi joutua harkitsemaan, jos ilman vaihtaminen ei ole mahdollista. Kompensointi tai muu laitteisto pyritään asentamaan aina mahdollisimman lähelle pääkeskusta samaan sähkötilaan. Jos tämä ei ole mahdollista, voidaan suurjänniteliittyvällä harkita myös muuntajatilaa. Jos tilaa ei ole, täytyy sähkötilaa viimekädessä laajentaa.

#### 7.2.1 Keskustila

Pääkeskustilaan laitetta sijoitettaessa on otettava huomioon, että vaaditut hoitokäytävä ja kuljetusreitit eivät pienene liian pieniksi. Muutoin keskuksessa suoritettavat asennus, mittaus, huolto ja käyttötoimenpiteet voivat vaarantua. Käytävät on mitoitettu leveydeltään sopiviksi työntekoa, käyttötoimintaa, hätätoimintaa, hätätilanteesta poistumista ja laitteiden liikuttamista varten. Hoitokäytävälle asetetut vaatimukset ovat voimassa sähkötilojen lisäksi myös muissa tiloissa, joissa sijaitsee mitoitusvirraltaan yli 63 A jakokeskuksia. Suojauksen täyttäessä SFS 6000-4-41 täyttävillä suojuksilla tai koteloilla seuraavat minimietäisyydet ovat voimassa:

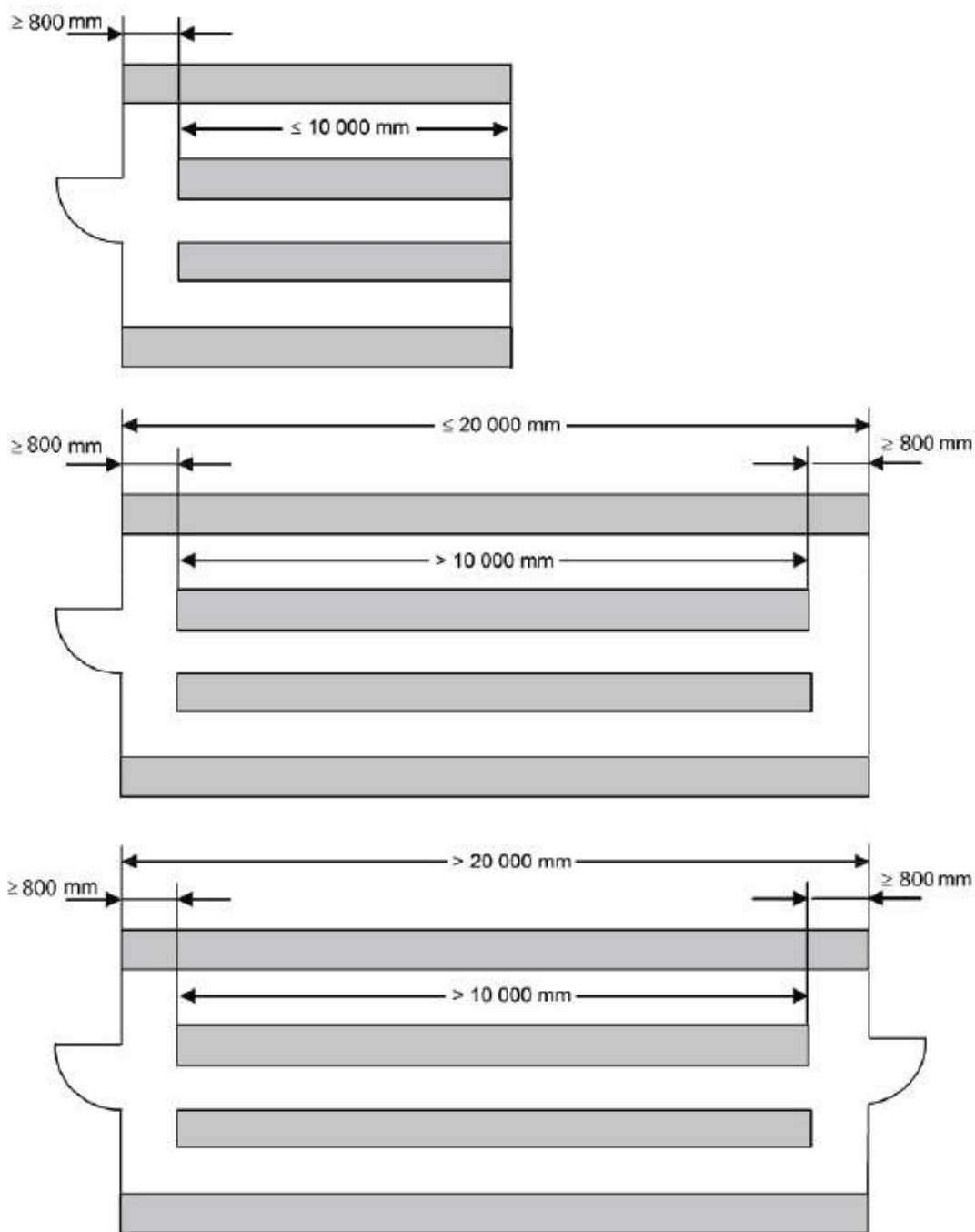
- a) käytävän leveys kytkinkahvojen ja erotusasennossa 600 mm olevan katkaisijan tai kytkinkahvan ja seinän välillä
- b) käytävän leveys suojusten ja kotelontien välillä 800 mm tai suojusten ja kotelontien ja seinän välillä
- c) kattoverhouksen korkeus lattian yläpuolella 2000 mm
- d) jännitteisten osien korkeus lattian yläpuolella 2500 mm (SFS-Käsikirja 600-1-2, 2017, s. 210)

Vaaditut käytävämitat on esitetty alla olevassa kuvassa 22. Mitat ovat tilanteesta, jossa kaikki verkoukset on asennettu ja suljettu sekä katkaisijat ovat erotusasennossa. Erikoiskojeistoilla voidaan tarvita suurempia mittoja. (SFS-Käsikirja 600-1-2, 2017, s. 211)



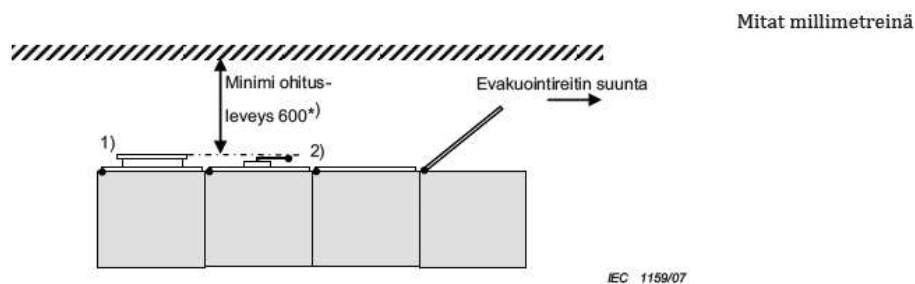
KUVA 26. Vaaditut käytävämitat SFS 6000 mukaan. (SFS-Käsikirja 600-1-2, 2017, s. 211)

Lisäksi on vaatimuksena, että yli 10 metriä pitkien sähkötilojen käytävien on oltava kuljettavia sähkötilan molemmista päistä. Tähän päästään esimerkiksi sijoittamalla keskus molemmista päistä 800 mm irti päätyseinästä tai tehdään kulkuovi päätyyn. Tilanne on esitetty kuvassa 23 keskellä. Lisäksi yli 20 metriä pitkissä tiloissa tulee olla kulkuovi molemmissa päissä. Tämä on esitetty kuvassa 23 alimmaisena. Ylimmässä kuvassa, jossa sähkötilan pituus on alle 10 metriä, ei vaatimusta molemmista päistä läpikulkemiselle ole. (SFS-Käsikirja 600-1-2, 2017, s. 211)



KUVA 27. Esimerkkejä oven sijoittamisesta sähkötiloihin. (SFS-Käsikirja 600-1-2, 2017, s. 212)

Evakuoinnin takia on kaikkien tilassa olevien laitteiden oven sulkeuduttava evakuointireitin suuntaan. Käytävillä pitää olla mahdollista avata laitteiden ovet tai saranoidut levyt vähintään  $90^\circ$ . Riippuen tilanteesta on käytävien minimietäisyydet ja evakuointisuunnat piirretty kuviin. Kuva 24, Tapaus 1. (SFS-Käsikirja 600-1-2, 2017, s. 213)

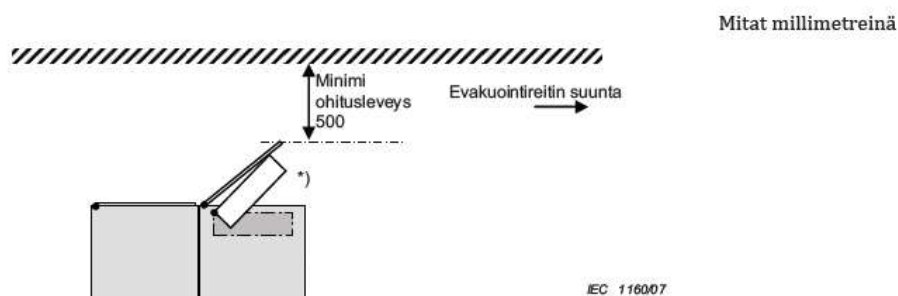


\*) Minimileveys 600 mm seinän ja erotetussa asennossa (jatkuvassa käytössä) olevan katkaisijan välissä.

- 1) Katkaisija erotetussa asennossa
- 2) Kahvat (esim. laitteiden ohjaukseen)

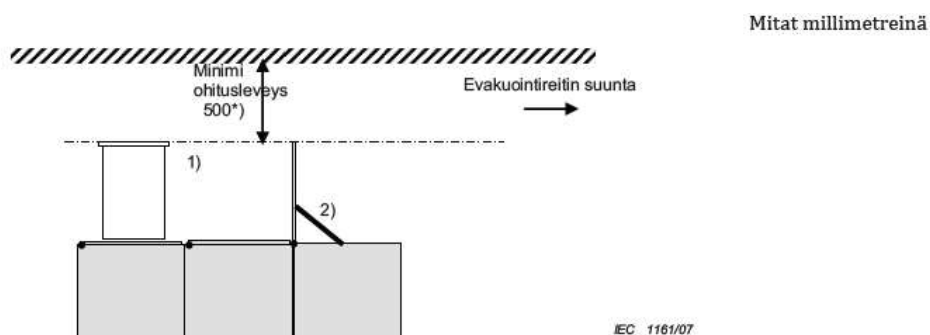
KUVA 28. Minimiohitusleveys evakuointitilanteessa - Tapaus 1. (SFS-Käsikirja 600-1-2, 2017, s. 213)

Ovet, jotka voidaan lukita auki asentoon tai katkaisijoille tai laitteilla, jotka on ulosvedettykokonaan huolto varten (kokonaan ulosvedetty asento), on säilytettävä minimietäisyys 500 mm oven reunaan ja katkaisijan/laitteen reunan sekä käytävän vastakkaisen sivun välillä. Kuva 26, Tapaus 3. (SFS-Käsikirja 600-1-2, 2017, s. 213)



\*) saranoitu asennuskehys

KUVA 29. Minimiohitusleveys evakuointitilanteessa - Tapaus 2 (SFS-Käsikirja 600-1-2, 2017, s. 213)



\*) Minimileveys 500 mm seinän ja kokonaan ulosvedetyssä asennossa (tilapäinen käyttö) olevan katkaisijan tai avoimeen asentoon lukitun oven välissä.

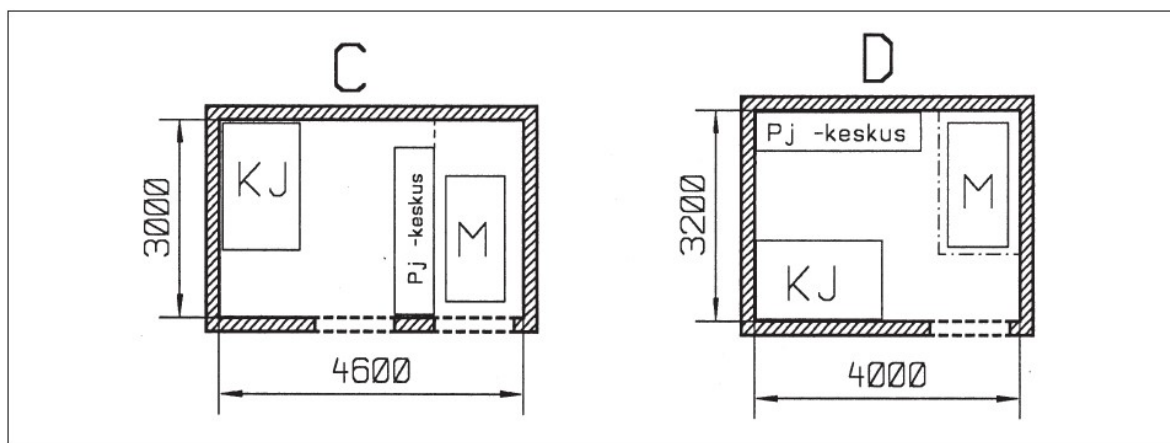
- 1) Kokonaan ulosvedetty katkaisija
- 2) Ovi lukitussa asennossa

KUVA 30. Minimiohitusleveys evakuointitilanteessa - Tapaus 3 (SFS-Käsikirja 600-1-2, 2017, s. 214)

Yllä mainitut asiat on huomioitava, kun sähkötilaan asennetaan lisää laitteita. Lisäksi uuden laitteen tuoma ilmanvaihdon tarve tulee huomioida.

## 7.2.2 Muuntamotila

Muuntamotilaan asennettaessa täytyy vastaavasti huomioida muuntamotiloille asetetut vaatimukset. Rakennukseen sijoitetun muuntamon tilan tarve perustuu käytettävästä kojeistosta. Myös pienjännitelaitteiston sijoitus vaikuttaa muuntamotilan kokoon. Nämä tilantarpeet on syytä huomioida koko hankkeen kaikissa suunnitteluvaiheissa. Kuvassa 27 on esitetty esimerkkejä muuntamotilaan asennetuista pienjännitekeskuksista. C kohdassa on Pj-keskus lähellä muuntamoaa, silloin saadaan päävirtojohtot tai kiskosillat mahdollisimman lyhyellä vedolla. Samalla hajamagneettikentät pienenevät. Muuntamo tarvitsee yhden lyhyen suojaseinän pj-keskuksen päähän, ellei muuntajaa ole kosketussuojattu. Tilaan tarvitaan kaksi ovea. Kuvan D kohdassa muuntaja on suojattu suojakennolla, joka on kuvattu pistekatkoviivalla. Jos muuntaja on kosketussuojattu, erillistä suojausta ei tarvita. Päävirtoakaapelin asentaminen voi olla vaikeampaa ja reitti on pitempi. Lisäksi hajamagneettikenttiä syntyy enemmän, kuin kohdassa C. Muuntamotilan korkeuden tulee olla 2500 mm lisättynä tarvittavilla kaanan tai kaapelihyllyn korkeuksilla. Hoitotilojen poistumisteiden vapaan korkeuden tulee olla vähintään 2100 mm. Muuntamotiloissa täytyy myös huomioida riittävä ilmanvaihto. (Sähkötieto ry, 2018)



KUVA 31. Pienjännitekeskus muuntajatilassa esimerkkejä. (Sähkötieto ry, 2018, s. 5)

## 7.3 Johtojärjestelmä ja asennustapa

Johtojärjestelmän ja asennustavan valinta on aina kohderiippuvainen. Näitä valittaessa on kuitenkin otettava huomioon standardin SFS 6000-1 peruseriaatteet, jotka ovat asennuspaikan, johtojen alustana toimivien seinien tai rakennusten muiden osien ominaisuudet, Ihmisten tai kotieläimien mahdollisuus koskettaa johtoa, jännite, oikosulku- ja maasulkuvirtojen todennäköisesti aiheuttamat sähkömagneettiset rasitukset, sähkömagneettiset häiriöt sekä muut rasitukset, jotka voivat kohdistua johtojärjestelmään asennuksen tai käytön aikana. (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017)

### 7.3.1 Kaapelihyllyt

Kaapelihyllyjä on monia erilaisia. Tärkein tieto kaapelihyllyn valinnalle on, millaisia kaapeleita on tarkoitus sinne asentaa. Energiakaapeleiden asennuksessa on huomioitava niiden lämmönkehitys sekä jäähdytys. Tikashyllyt sopivat esimerkiksi asennus- ja voimakaapeleille. Niitä voidaan käyttää vaaka ja pystyasennuksiin. Tikashylly sopii hyvin myös suurpoikkipintaisille kaapeleille. Kaapelihyllyn



kuormitettavuus testataan aina standardin EN 61537 mukaan. Jokainen valmistaja antaa omille hyllyille arvot, joiden mukaan määräytyy kannakkeiden kiinnitysväli sekä enimmäiskuormitus kannakeväleittäin. Kuormitus voidaan esittää taulukossa, joka löytyy esimerkiksi tuotetaulukosta. Tuotteen asennuksessa tulee käyttää valmistajan antamia asennusohjeita. Mitoitettaessa kaapelihyllyä tulee laskea hyllylle tulevien kaapeleiden paino, joka yleensä ilmoitettu metriä kohden. Tämän jälkeen valitaan valmistajan taulukon perusteella kiinnityspisteiden etäisyys, jotta pysytään valitun hyllyn sallitun taipuman rajoissa. (OBO, 2010)

### 7.3.2 Kaapelin kiinnitys

Johtojärjestelmän valinnassa ja asennuksessa on huomioitava, ettei käytön, huollon ja asennuksen aikana pääse syntymään mekaanista vahingoittumista. Jos kaapelihyllyllä, johtokanavalla tai asennusputkella suoritettussa asennuksessa ei ole tuettu johtimia tai kaapeleita koko pituudeltaan tulee ne kiinnittää tarkoituksenmukaisella tavalla sopivin välein, siten ettei kaapelit, johtimet tai liitokset pääse vaurioitumaan oman painonsa tai oikosulun aiheuttamien sähködynaamisten rasitusten takia. Oikosulun aiheuttamat sähködynaamiset voimat on otettava huomioon yli 50 mm<sup>2</sup> yksijohdinkaapeleilla. Asennusalustan täytyy myös kestää kaapelin ja varusteiden paino. (SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017, s. 226)

### 7.3.3 Läpivientien palosuojaus

Kaapeleiden kulkiessa eri tilojen välillä, vastaan tulee huomioida rakennus rakennuksen palo-osastointi vaatimukset. Palo-osastointi koskee siis myös kaapelointia, siinä kuin muuta seinä tai katto rakennetta. Palo-osastoivan osan läpi on luvallista viedä tarpeelliset putket, roilot, johdot, kaapelit jne., edellyttäen ettei olennaisesti heikennetä osastoivaa rakennetta. Osastoivuus tulee olla lähtökohtaisesti sama kuin osastoivalla rakenteella. Kaapeliläpivientien on täytettävä rakenteelle asetettu palonkestoluokitus ja lisäksi läpiviennin tulee olla savu- kaasu- ja sammutusainetiivis. Rakenneosat jaotellaan luokkiin niiden palokestojen perusteella ja vaatimukset kuvataan seuraavilla merkinnöillä:

- R kantavuus
- E tiiviys
- EI tiiviys ja eristävyys

Edellä mainittujen merkintöjen ja niiden yhdistelmien jälkeen ilmoitetaan palonkesto aika minuutteina yhdellä seuraavista luvuista: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 tai 240. Näiden yhdistelmällä muodostuu merkintä, joka on rakennusosan paloluokka. Sähkötilojen palo-osastoinnin vähimmäisvaatimukset on esitetty taulukossa 15. (Sähkötieto ry, 2016, s. 81)

TAULUKKO 15. Sähkötilojen palo-osastointivaatimukset (Sähkötieto ry, 2016, s. 82)

Rakennuksen ja huoneiston käyttötapa	Automaatiotalta vaadittava osastointi	Sähkötalalta vaadittava osastointi	Sisäinen osastointi**
Toimistot ja myymälät	EI 60	EI 30	EI 30
Tuotanto- ja varastotilat palovaarallisuusluokka 1	EI 90	EI 60	EI 30
Tuotanto- ja varastotilat palovaarallisuusluokka 2. ympäristön palokuorma yleensä > 600 MJ/m <sup>2</sup>	EI 120	EI 120	EI 60

\*\* ) yli 100 m<sup>2</sup> tila on jaettava osiin

Kaapeliläpivientien tiivistämistä kutsutaan palokatkoksi. ST-käsikirjassa 39 määrittelee palokatkon seuraavasti:

*" Palokatko on sähköjohtojen, -putkien tai muiden teknisten järjestelmien palotekninen tiivistys läpäistävän rakenteen palo-osastointia vastaavaksi. Palokatko estää tulipalon syttyessä liekkien, kuumuuden ja savukaasujen leviämisen läpivientien kautta" (Sähkötieto ry, 2016, s. 85)*

Palokatkon tekeminen on ennen vanhaan tehty pelti – villa – pelti menetelmällä. Tässä pellit laitettiin läpiviennin molemmin puolin ja palamaton villa peltien väliin. Pellit pitivät villan paikallaan. Tällaisen rakenteen palonkesto on noin 10 minuuttia ja ei täyttäisi tämän päivän 10 minuutin vaatimusta. Nykyisin tarjolla on paljon erilaisia palokatkotuotteita, joilla päästään vaadittuihin aikoihin ja luokitukseen, mutta silti palokatkoissa on puutteita. Tilanteita, joissa kaapeleita on lisätty palokatkon läpi, mutta läpivientä ei sen jälkeen tiivistetty. Muutoksia tehdessä useampaan paikkaan ja tiivistysten puuttuessa palo-osastoinnit ovat retuperällä. Tiivistäminen on siis paras tehdä heti kaapeleiden asennusten päätteeksi, ettei vain unohdu. Tämä toiminta parantaa uudisrakentamisessa jo rakentamisen aikaista paloturvallisuutta. (Sähkötieto ry, 2016, s. 87)

Palonrajoittamisen lisäksi palokatkon tulee olla savutiivis, jotta savu ei leviä rakennukseen aiheuttaen tuhoa, Lisäksi kaapeleiden lisääminen jälkikäteen tulisi olla helppoa, palonkestoajaltaan samaa luokkaa, kuin osastoivan rakenteen, helposti asennetta eikä vahingoita kaapeleita tai johtimia. Lisäksi läpiviennin tulee olla ääntä ja kosteutta eristävä. Vaativimmissa kohteissa läpivientien tulee olla myös ilma-, vesi-, ja painetiiviitä. Myös muunneltavat ja pölyttömät ratkaisut voivat olla joissain kohteissa vaatimuksena. Sairaalatiloissa läpivientien vaatimukset ovat tärkeitä, sillä ilmatiiviyttä vaaditaan esimerkiksi karanteeni ja leikkaustiloissa. Puhdastiloissa myös edellytetään parempaa palokatkoa. (Sähkötieto ry, 2016, s. 88)

Palokatkoasennuksessa on useita vaihtoehtoja:

- Kaapeleiden niputus ja massaus hyväksyntäpäätöksen liitteenä olevien asennusohjeiden mukaan
- Yksittäisen kaapelin tiivistys suoraan asennusohjeiden mukaan palokatkomassalla

- Väliaikaiset palokatkotuotteet rakentamisen ajaksi, jolloin kaapeleiden lisäys on helppoa.
- Palokatkon tekeminen paikan päällä tai valmiiden komponenttien käyttö
- Johtonippujen patitus ja johtovälien tiivistys akryylipohjaisella palokatkomassalla

Palokatkorakenteet voivat vastaavasti olla esimerkiksi palokatkomassoja, joita löytyy kipsi-, sementti- ja akryylipohjaisina myös elastisia ja grafiittipohjaisia eli laajenevia massoja käytetään. Pursotettavia palokatkovaahoja, palossa paisuvia sauma- ja putkinauhat, palosuojamansetit, palokatkopinnoitteet, väliaikaiset tai muunneltavat palokatkot ja modulaariset palokatkot ovat käytössä olevia menetelmiä. Näistä kipsipohjainen palokatkomassa on yleisin tapa tehdä palokatko, tällä voidaan myös pienentää valmiiksi liian isoa läpivientiä ja tehdä lopullinen palokatko muulla tavalla. (Sähkötieto ry, 2016, ss. 90-91)

Esimerkkinä moduulista voisi olla ABB:n tekemä MDY-kiskosilta, joka tarjoaa paloluokiteltujen tilojen läpivientiin valmiita paloluokiteltuja läpivienti -moduuleja. Paloluokat ovat palovarastorakennusten paloturvallisuusohjeiden mukaiset EI-M 60 tai EI-M 230 (ABB Oy, 2011)

#### 7.4 Päävirtapiiriin ja keskukseen liittyminen

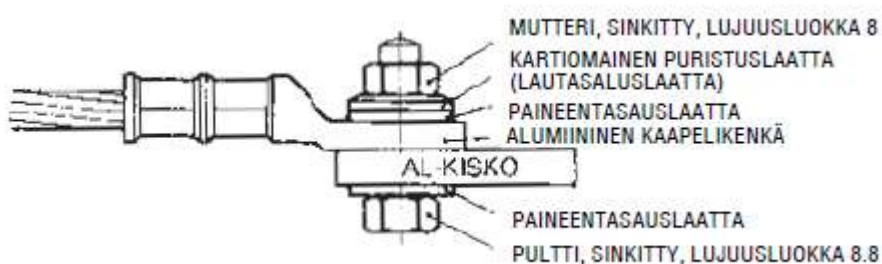
Keskuksissa tulee olla varattuna tuleville johtimille riittävästi kiinteästi asennettuja liittimiä. Suojajohtimelle on oltava erillinen sopivan kokoinen liitin. Vaihejohtimet asennetaan niille varatuille liittimille. Jos liitin on testattu ja tarkoitettu useamman kaapelin liittämiseen samaan liitännäspisteeseen, näin voidaan toimia. Keskuksessa sijaitsevien kiinteiden liitinten takia, sinne ei saa sijoittaa irrallisia liittimiä. Tällöin kiinteitä liittimiä on lisättävä, tai liitokset on tehtävä ennen keskusta keskuksen ulkopuolella jakorasiassa. Poikkeuksena on liian lyhyeksi tehty/jäänyt johto, joka voidaan jatkaa keskuksen sisällä siihen tarkoitettulla jatkoliitimellä. Johtimien liittämässä käytettäessä kaapelikenkää tai muuta siirtymisliitintä on varmistettava erityisesti riittävän ilma- ja pintavälin säilyminen. Vaikka asennuspaikalla huomattaisiin liittimen olevan vääränlainen, ei sitä saa muokata millään tavalla, kuten lyhentämällä tai reikiä suurentamalla. Tämä vaikuttaa suoraan liittimen pinta-alaan ja samalla virran siirtymisominaisuuteen. (Sähkötieto ry, 2018)

##### 7.4.1 Kaapeliliitokset

Sähköjohtimia on olemassa useita erilaisia, kuten yksilankaisia, kerrattuja sekä hienosäikeisiä. Niiden muodot voivat olla pyöreitä tai sektorimaisia. Näille jokaiselle on olemassa myös omat liittimensä, liittimen ja johtimen yhteensopivuus täytyy varmistaa ennen asennusta liitinvalmistajan ohjeesta. Yksi suuri syy erilaisille liittimille on materiaali. Kupari ja alumiini tarvitsevat yleensä erilaiset liittimet, koska niiden välille voi tulla metallinsyöpymistä aiheuttava sähköpari. (Mäkinen & Koivisto, 2020)

Liityttäessä kaapelista/johdosta kiskostoon tarvitaan siis johdon päähän kaapelikenkä tai joku muu vastaava siirtymisliitin, kuten edellä mainittiin. Kaapelikengän liittämiseksi on olemassa omat vaatimuksensa käytettävien materiaalien ja lujuusluokkien mukaan.

Liitettäessä kupari-kupariruuvi-liitos voidaan ruuvina käyttää ns. normaaleja 8.8 lujuusluokiteltuja teräsruuveja. Lisäksi aluslevyjen tulee olla tarkoituksen mukaisia, mutta suositeltavaa on käyttää standardien SFS 3737 ja SFS 3738 mukaisia aluslevyjä. Vastaavasti alumiiniliitoksien kanssa täytyy ottaa huomioon alumiinin ja teräksen erilainen käyttäytyminen. Teräsruuvilla ja alumiinilla on erilaiset lämpölaajenemiskertoimet. Edellä mainitun ominaisuuden ja alumiinin kylmäjuoksevuuden vuoksi on liitoksissa käytettävä heti mutterin alla lautasaluslaattaa, joka on standardin SFS 3737 mukainen. Lisäksi on käytettävä standardin SFS 3738 mukaista laattaa heti mutterin ja lautasaluslaatan alla. Ruuvi kiristettynä oikeaan momenttiin pitää liitoksessa oikean puristuspuheen. Ruuvien ja muttereiden on oltava sinkittyjä ja ruuvien lujuusluokan oltava vähintään 8.8 ja mutterin lujuusluokitus vähintään 8. Kuvassa 28 on esimerkki alumiiniliitoksen tekemiseen. (Sähkötieto ry, 2018)



KUVA 32. Aluslaattojen käyttö alumiiniliitoksessa. (Mäkinen & Koivisto, 2020)

Kuvassa 29 on vastaavasti st-kortiston esimerkki, kun liitytään kuparilaippaisella tai tinattua kuparia olevalla kengällä alumiinikiskoon. Huomattava on, että paineentasauslaatta ja kartiopuristuslaattaa käytetään alumiinikiskon puolella.



KUVA 33. Aluslaattojen käyttö kupari - alumiiniliitoksessa. (Mäkinen & Koivisto, 2020)

Alumiinin pinnan oksidoituessa nopeasti, täytyy ennen liitoksen tekoa harjata pinnat hyvin ja voidella heti liitosrasvalla, jonka jälkeen liitos kiristetään vaadittuun momenttiin. Jollei liitinvalmistajan ohjeissa toisin mainita, käytetään alumiiniliitosten pulttien ja ruuvien kiristämiseen alla olevan taulukon 16 mukaisia kiristysmomenteja. (Mäkinen & Koivisto, 2020)

TAULUKKO 16. Ruuviliitosten kiristysmomentit. (Mäkinen &amp; Koivisto, 2020)

Pultin koko	M6	M8	M10	M12	M16	Virtakiskon materiaali
Kiristysmomentti (Nm)	6	15	30	50	120	E-Al 99,5 "pehmeä"
Kiristysmomentti (Nm)	9	22	44	75	190	E-AlMgSi (luokka T6, "kova")

#### 7.4.2 Kiskoliitokset

Kiskosilta liitokset noudattavat materiaalivaatimuksiltaan samoja linjoja, kuin johdin asennuksissa. Kuvassa 30 on esitetty kupari-kupari-kiskoliitos. Käytettävät pultit ovat ns. normaaleja 8.8 lujuusluokan teräspultteja. Momenttiin kiristetty liitos merkataan vielä tussilla. Näiden merkintöjen avulla näemme ilman konkreettista testaamista, ovatko esimerkiksi lämpötilanvaihtelut löysänneet liitosta. (Mäkinen & Koivisto, 2020)



KUVA 34. Kupari - kupari kiskoliitos teräspulteilla. (Mäkinen & Koivisto, 2020)

Liitoksen joutuessa alttiiksi esimerkiksi oikosulkuvirtojen dynaamisille voimille tai asennuskohteessa esiintyy värinää tai muuta rasitusta kiskolle, on liitos tehtävä puristusliitoksena. Kuvassa 31 on puristettu alumiinikiskot toisiinsa puristusliittimillä. Kuten aiemmin on mainittu, tulee alumiinioksidit harjata hyvin pois ja liitos voidella ennen momenttiin kiristystä. Lisäksi paineentasauslaattaa käytetään molemmilla puolilla alumiinin virumisen vuoksi. Puristuslaatta asennetaan mutterin alle joustamaan lämpötilanvaihteluja. Alumiiniliitoksissa pulttien ja muttereiden tulee olla sinkittyjä. (Mäkinen & Koivisto, 2020)



KUVA 35. Alumiini - alumiini -kiskoliitos. (Mäkinen & Koivisto, 2020)

### 7.4.3 Liitoksissa huomioitavaa

Yleisellä tasolla johtimien keskinäiset liitokset, sekä johtimien ja sähkölaitteiden väliset liitokset tulee olla sähköisesti ja mekaanisesti luotettavia. Materiaaleja on erilaisia ja jokaiselle niille on omat vaatimukset varmojen liitosten aikaansaamiseen. Liitostapoihin vaikuttavat muun muassa käytettävä johdinaine, johtimen johdinlankojen määrä, muoto ja poikkipinta-ala sekä kytkettävien johtimien lukumäärä ja ympäristön lämpötila. Voimakaapelijärjestelmissä tulisi välttää juottamalla tehtyjä liitoksia, niiden virumisen ja huonon mekaanisen kestävyysvuoksi. Periaatteena siis on, että johdon liitokset on tehtävä niin, että ne vastaavat sähköiseltä johtavuudeltaan ja mekaaniselta kulumiseltaan alkuperäistä johtoa. Alumiinisissa liitoksissa asennusrasvan jättäminen aiheuttaa liitoksen hapettumista. Alumiinin viruminen sekä yhteensopimattomien metallien käyttö voivat aiheuttaa liitosten löytymistä. Näiden seurauksena sähkönjohtavuus heikkenee ja liitos saattaa lämmetä normaalia enemmän (Sähköinfo Oy: DI Esa Tiainen, 2017) (SLO Oy, Mika Laukkanen, 2019)

Johtimien keskinäisiä liitoksia ei työssä käsitellä, koska uusia virtateitä tehdessä tai vanhaa muokattaessa vaihdetaan usein koko syöttökaapeli uuteen eikä tarvetta jatkoliitoksille ole. Liitokset tulevat muuntajaan, väliin tulevaan kojeeseen sekä jako- tai pääkeskukseen.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä erilaisiin päävirtapiiriratkaisuihin, jotka ovat käytössä teollisuudessa sekä suuremmissa kiinteistöissä pienjännitepuolella. Lisäksi tutkittiin, millaisia sähkötekniisiä asioita tulee huomioida, kun suunnitellaan järjestelmään tehtäviä muutoksia tai vaihtoehtoisesti mitoitetaan uutta järjestelmää. Työssä tutustuttiin myös asennuksen suunnittelussa huomioitaviin asioihin yleisellä tasolla.

Suunniteltaessa muutoksia täytyy varmistua, että kaikki muutokset tehdään lakien ja standardien mukaan. Kiinteistön huipputehon varmistaminen on ensimmäinen tarkasteltava asia, sillä sen perusteella lasketaan kiinteistön mitoitusvirta. Mitoitusvirran avulla lasketaan kiinteistön vaatimat suojaukset sekä mitoitetaan kaapelijärjestelmä tarpeeksi kestäväksi. Ylivirtasuojauksen lisäksi suojauksen mitoitukseen tarvitaan myös tietää verkon suurin ja pienin oikosulkuvirta. Suurin on kolmivaiheinen oikosulkuvirta, joka tapahtuu heti suojalaitteen liittimissä. Pienin oikosulkuvirta syntyy, kun vika tapahtuu kaukana suojalaitteesta. Suojalaitteiden valinnan jälkeen, täytyy ne saada toimimaan selektiivisesti, jotta vian sattuessa vika rajoittuu mahdollisimman pienelle alueelle.

Laitteen asennuksen suunnittelussa on huomioitava laitteiston koko, tuleva sijoituspaikka sekä sen vaatimukset. Laitteistoa sijoitettaessa sähkötilaan tai muuntamotilaan täytyy huomioida niille annetut vaatimukset kuten huoltokäytävien leveydet, joiden vaatimukset on esitetty standardissa. Siirryttäessä kahden eri tilan välillä, joissa on paloluokat, täytyy ne ja niiden vaatimukset huomioida läpiviennissä ja sen tiivistyksessä. Myös kiinnitettäessä kaapelitikkaita tai muuta kaapelitietä on varmistettava riittävästä kiinnityksestä tukeviin rakenteisiin. Kaapeleiden kiinnitys kaapelireitille on huomioitava, ettei voimat pääse rasittamaan kaapelia tai sen liitoksia.

Työn tuloksena tuli toimeksiantajalle hyvä tiivistelmä, jossa esitellään, millaisia asioita on huomioitava, kun tehdään muutoksia virtapiireihin. Nykyään on olemassa myös erilaisia laskentaohjelmia, johon syötetään verkon komponentit ja laskevat oikosulkuvirrat valmiiksi verkkoon näiden tietojen perusteella. Joitain ohjelmia tuli vastaan työtä tehdessä. Käsien laskentaa voidaan hyödyntää esimerkiksi perusteltaessa tiettyjä ratkaisuja kolmansille osapuolille.

## LÄHTEET

ABB Oy. (2011). *ABB Oy*. Haettu 19. 02 2020 osoitteesta Kiskosiltajärjestelmän esite:

<https://library.e.abb.com/public/bd0aeb1197f65ccec1257aa9003d1d7d/MDY%20kiskosiltajarjestelma%20esite%20suomi.pdf>

ABB:n TTT-käsikirja 19 Sähköjohtojen mitoittaminen. (2000). Haettu 2. 3. 2020 osoitteesta

[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/19\\_1\\_S%84hk%94johtojen%20mitoittaminen.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/19_1_S%84hk%94johtojen%20mitoittaminen.pdf)

ABB:n TTT-käsikirja 7 Oikosulkusuojaus. (2000). Haettu 6. 3. 2020 osoitteesta

[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07\\_1\\_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_1_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf)

ABB:n TTT-käsikirja 9 Loistehon kompensointi ja yliaaltosuojaus. (2000). Noudettu osoitteesta

[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/09\\_0\\_Loistehon%20kompensointi%20ja%20yliaallot.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/09_0_Loistehon%20kompensointi%20ja%20yliaallot.pdf)

ABB:n TTT-käsikirja, 11 Tehomuuntajat. (2000). Noudettu osoitteesta

[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/11\\_Tehomuuntajat.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/11_Tehomuuntajat.pdf)

ABB:n TTT-käsikirja, 19.2. Kiskostot. (2000). Haettu 26. 2. 2020 osoitteesta

[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/19\\_2\\_Kiskostot.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/19_2_Kiskostot.pdf)

Aura, L.;& Tonteri, A. J. (2005). *Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. 3-5. painos*. Helsinki: WSOY.

Elfa Distrelec. (2020). *Verkkokauppa*. Haettu 27. 3. 2020 osoitteesta [https://www.elfadistrelec.fi/fi/diazed-sulake-2a-500v-500v-dii-siemens-](https://www.elfadistrelec.fi/fi/diazed-sulake-2a-500v-500v-dii-siemens-5sb211/p/13380930?channel=b2c&price_gs=1.3888&source=googleps&pup_e=1&pup_cid=36045&pup_id=13380930&ext_cid=shgooaqfifi-P-Shopping-MainCampaign&gclid=Cj0KCQjw1Iv0BRDaARIsAGTWD1tloTmx_T)

[5sb211/p/13380930?channel=b2c&price\\_gs=1.3888&source=googleps&pup\\_e=1&pup\\_cid=36045&pup\\_id=13380930&ext\\_cid=shgooaqfifi-P-Shopping-MainCampaign&gclid=Cj0KCQjw1Iv0BRDaARIsAGTWD1tloTmx\\_T](https://www.elfadistrelec.fi/fi/diazed-sulake-2a-500v-500v-dii-siemens-5sb211/p/13380930?channel=b2c&price_gs=1.3888&source=googleps&pup_e=1&pup_cid=36045&pup_id=13380930&ext_cid=shgooaqfifi-P-Shopping-MainCampaign&gclid=Cj0KCQjw1Iv0BRDaARIsAGTWD1tloTmx_T)

Finnparttia. (2020). *Verkkokauppa*. Haettu 27. 3. 2020 osoitteesta

[https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi\\_FI/?ObjectPath=/Shops/2014102905/Products/%22KS1/250%22](https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014102905/Products/%22KS1/250%22)

Hietalahti, L. (2011). *Muuntajat ja sähkökoneet*. Vantaa: Amk-kustannus Oy Tammertekniikka.

Hirvonen, R. (5. 3. 2010). Diplomityö. *Sähköaseman ensiöpuolen suunnittelussa käytettävien laskentamenetelmien kehittäminen*. Espoo. Haettu 9. 4. 2020 osoitteesta

<https://aaltodoc2.org.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/3198/urn100191.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Huotari, K.;& Partanen, J. (1998). *Opetusmoniste Teollisuusverkojen oikosulkuvirtojen laskeminen*. Haettu 17. 3.

2020 osoitteesta [http://www.uotila.cc/images/teollisuusverkkojen\\_oikosulkuvirrat.pdf](http://www.uotila.cc/images/teollisuusverkkojen_oikosulkuvirrat.pdf)

Ijäs, J. (2019). *Sähkön laatu*. Haettu 2. 3. 2020 osoitteesta Savonia moodle:

[https://moodle.savonia.fi/pluginfile.php/714478/mod\\_resource/content/0/02%20S%C3%A4la%20kaapeleista.pdf](https://moodle.savonia.fi/pluginfile.php/714478/mod_resource/content/0/02%20S%C3%A4la%20kaapeleista.pdf)

Korpinen, L. (14. 10. 1998). *Muuntajat ja sähkökoneet*. Haettu 16. 3. 2020 osoitteesta leenakorpinen.com:

[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/9muuntajat\\_ja\\_sahkolaitteet.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf)

Korpinen, L. (14. 10. 1998). *Sähköverkkojen laskentaa*. Haettu 16. 3. 2020 osoitteesta leenakorpinen.com:

[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/4sahkoverkkojen\\_laskenta.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/4sahkoverkkojen_laskenta.pdf)

Korpinen, L. (3. 1. 2008). *Vikatilanteet*. Noudettu osoitteesta Leenakorponen.com:

<http://leenakorpinen.com/archive/sahkoverkko/vikatilanteet.pdf>

Lapp Connecto. (2020). *MJ-kiskosillat*. Haettu 4. 3. 2020 osoitteesta Lapp Connecto:

<https://lappconnecto.lappgroup.com/kiskosillat/mj-kiskosillat.html>



- Mäkinen, M.;& Koivisto, P. (2020). ST-Käsikirja 34. *Hyvät asennustavat Sähkö- ja tietotekniset järjestelmät*. Espoo: Sähkötieto ry.
- OBO. (2010). *Kaapelihyllyt*. Haettu 7. 4. 2020 osoitteesta OBO:  
<https://www.sahkonumerot.fi/1418111/doc/technicalinfodoc/>
- Rouvali, J. (16. 1. 2014). Sähkönjakelutekniikka (Pienjänniteverkko) opetusmoniste. *Pienjänniteverkon epäsymmetriset tilanteet*. Kuopio.
- Rouvali, J. (20. 4. 2020). Sähköpostikeskustelu.
- Rouvali, J.;& Rissanen, J. (16. 4. 2020). Opinnäytetyön Teams-palaveri. Kuopio.
- Salminen, P. (6. 2009). *Teollisuussähköverkon mallintaminen ja vikavirtatarkastelut, Diplomityö*. Haettu 17. 3. 2020 osoitteesta Tampereen teknillinen yliopisto.:  
[http://www.tut.fi/eee/opetus/pdf%20julkiset%20dtyot/Salminen\\_Petri\\_julk.pdf](http://www.tut.fi/eee/opetus/pdf%20julkiset%20dtyot/Salminen_Petri_julk.pdf)
- SFS-Käsikirja 600-1-1. (2017). *Pienjännitesähköasennukset. Osa 1-1: Yleismaavtimukset (SFS 6000 osat 1-6)*. Helsinki.
- SFS-Käsikirja 600-1-2. (2017). *Pienjännitesähköasennukset. Osa 1-2: Erikoistilojen ja täydentävät vaatimukset (SFS 6000 osat 7-8)*. Helsinki.
- SFS-käsikirja 640. (2016). *Sähkökeskukset*. Helsinki.
- SLO Oy, Mika Laukkanen. (2019). *Liitos on ratkaiseva rajapinta*. Haettu 11. 05. 2020 osoitteesta slo.fi:  
<https://ideat.slo.fi/liitos-on-ratkaiseva-rajapinta/>
- Suomen standardoimisliitto SFS. (6. 5. 2013). Standardi SFS-EN 61439-1. *Pienjännitekeskukset osa1: yleisvaatimukset*.
- Sähköala.fi. (12. 5. 2010). *Vikasuojauksen ja oikosulkusuojauksen erot*. Haettu 4. 3. 2020 osoitteesta Sähköala.fi:  
[https://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahkotekniikka/fi\\_FI/vika-ja\\_oikosulkusuojaus/](https://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahkotekniikka/fi_FI/vika-ja_oikosulkusuojaus/)
- Sähköala.fi. (2020). *Ohjeet ja lisätiedot*. Haettu 2. 3. 2020 osoitteesta Sähköala.fi:  
[https://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/teknisetmaaraykset/fi\\_FI/ohjeet/](https://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/teknisetmaaraykset/fi_FI/ohjeet/)
- Sähköala.fi. (2020). *Standardit*. Haettu 2. 3. 2020 osoitteesta Sähköala.fi:  
[https://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/teknisetmaaraykset/fi\\_FI/standardit/](https://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/teknisetmaaraykset/fi_FI/standardit/)
- Sähköinfo Oy: DI Esa Tiainen. (2017). *D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista* (25. p.). Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
- Sähköinfo Oy: Tiainen, Esa. (2015). *Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus*. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
- Sähkötieto ry. (15. 9. 2015). ST 53.45. *Sulakkeeton suojaus*. Espoo.
- Sähkötieto ry. (2015). ST-käsikirja 35. *Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien tilavaraukset*. Espoo.
- Sähkötieto ry. (2016). ST-Käsikirja 39. *Kaapeleit ja paloturvallisuus*. Espoo: Sähkötieto ry.
- Sähkötieto ry. (17. 10. 2017). ST 53.13. *Kiinteistön sähköverkon suojauksen selektiivisyys*. Sähkötieto Ry.
- Sähkötieto ry. (23. 11. 2017). ST 53.24. *Ohjeita kiinteistön enintään 1000 V johtojen mitoituksesta ja suojauksesta*. Espoo.
- Sähkötieto ry. (9. 3. 2018). ST 13.31. *Rakennusten sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen*. Espoo.
- Sähkötieto ry. (4. 9. 2018). ST 53.11. *Kuluttajamuuntamot*. Espoo.
- Sähkötieto ry. (13. 11. 2018). ST 53.14. *Ohjeet perinteisten sulakkeiden valinnasta ja käytöstä, alle 1000 V:n sähköjärjestelmät*. Espoo.
- Sähkötieto ry. (1. 11. 2018). ST 53.35. *Jakokeskuksen asennus ja käyttöönotto*. Espoo.

Sähköturvallisuuslaki: 1135/206. (16. 12. 2016). *Lainsäädäntö*. Haettu 26. 02. 2020 osoitteesta Finlex:

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>

Voimatel Oy. (2020). *Palvelut*. Haettu 8. 4. 2020 osoitteesta Voimatel Oy: <https://www.voimatel.fi/palvelut/>

## LIITE 1: KERTOIMEN K ARVO SUOJAJOHTIMEN MITOITUKSEEN

Kerroin  $k$  määritellään seuraavasta kaavasta

$$k = \sqrt{\frac{Q_c (\beta + 20 \text{ °C})}{A_{20}}} \ln \left( \frac{z + r_f}{z + r_i} \right)$$

jossa

- $Q_c$  johdinmateriaalin volumetrinen lämpökapasiteetti ( $\text{J/°C mm}^3$ ) 20 °C lämpötilassa  
 $\beta$  on resistiivisyyden lämpötilakertoimen käänteisarvo 0 °C johtimen lämpötilassa (°C)  
 $\rho_{20}$  johtimen materiaalin resistiivisyys 20 °C lämpötilassa ( $\Omega \text{ mm}$ )  
 $\theta_i$  johtimen alkulämpötila (°C)  
 $\theta_f$  johtimen loppulämpötila (°C).

Taulukko A.54.1 Parametrien arvot eri materiaaleilla

Materiaali	$\beta^a$ °C	$Q_c^a$ $\text{J/°C mm}^3$	$\rho_{20}^a$ $\Omega \text{ mm}$	$\sqrt{\frac{Q_c(\beta + 20\text{°C})}{\rho_{20} \frac{A(\sqrt{s})}{\text{mm}^2}}}$
Kupari	234,5	$3,45 \times 10^{-3}$	$17,241 \times 10^{-6}$	226
Alumiini	228	$2,5 \times 10^{-3}$	$28,264 \times 10^{-6}$	148
Teräs	202	$3,8 \times 10^{-3}$	$138 \times 10^{-6}$	78

<sup>a</sup> Arvot on otettu IEC 60949:stä.

Taulukko A.54.2 Kertoimen  $k$  arvot eristetyille erillisille suojajohtimille, jotka eivät sisälly kaapeliin eivätkä ole niputettu yhteen muiden kaapelien kanssa

Johdineristys	Lämpötila $C^b$		Johtimen materiaali		
	Alku	Loppu	Kupari	Alumiini	Teräs
			Arvot kertoimelle $k^c$		
70 °C PVC	30	160/140 <sup>a</sup>	143/133 <sup>a</sup>	95/88 <sup>a</sup>	52/49 <sup>a</sup>
90 °C PVC	30	160/140 <sup>a</sup>	143/133 <sup>a</sup>	95/88 <sup>a</sup>	52/49 <sup>a</sup>
90 °C PEX, EPR	30	250	176	116	64
60 °C EPR-kumi	30	200	159	105	58
85 °C EPR-kumi	30	220	166	110	60
185 °C Silikonikumi	30	350	201	133	73

<sup>a</sup> Alemmat arvot ovat poikkipinnaltaan yli 300 mm<sup>2</sup> PVC-eristeisille johtimille.  
<sup>b</sup> Lämpötilarajat erityyppisille eristeille on annettu IEC 60724:ssä.  
<sup>c</sup> Tämän liitteen alussa esitetyssä kaavassa on annettu kertoimen  $k$  laskentamenetelmä.

(SFS-Käsikirja 600-1-1, 2017, s. 386)

**Taulukko A.54.3 Kertoimen  $k$  arvot eristämättömille suojajohtimille, jotka koskettavat kaapelivaippoja, mutta eivät ole niputettu yhteen muiden kaapelien kanssa**

Kaapelin päällyste	Lämpötila °C <sup>a</sup>		Johtimen materiaali		
			Kupari	Alumiini	Teräs
	Alku	Loppu	Arvot kertoimelle $k^b$		
PVC	30	200	159	105	58
Polyeteeni	30	150	138	91	50
CSP <sup>c</sup>	30	220	166	110	60

<sup>a</sup> Lämpötilarajat erityyppisille eristeille on annettu IEC 60724:ssä.  
<sup>b</sup> Tämän liitteen alussa esitetyssä kaavassa on annettu kertoimen  $k$  laskentamenetelmä.  
<sup>c</sup> CSP = polykloorisulfonieteeni.

**Taulukko A.54.4 Kertoimen  $k$  arvot eristämättömille suojajohtimille, jotka ovat kaapelin johtimia tai niputettu yhteen muiden kaapelien tai johtimien kanssa**

Johtimen eriste	Lämpötila °C <sup>b</sup>		Johtimen materiaali		
			Kupari	Alumiini	Teräs
	Alku	Loppu	Arvot kertoimelle $k^c$		
70 °C PVC	70	160/140 <sup>a</sup>	115/103 <sup>a</sup>	76/68 <sup>a</sup>	42/37 <sup>a</sup>
90 °C PVC	90	160/140 <sup>a</sup>	100/86 <sup>a</sup>	66/57 <sup>a</sup>	36/31 <sup>a</sup>
90 °C PEX, EPR	90	250	143	94	52
60 °C kumi	60	200	141	93	51
85 °C kumi	85	220	134	89	48
185 °C Silikonikumi	180	350	132	87	47

<sup>a</sup> Alemmat arvot ovat poikkipinnaltaan yli 300 mm<sup>2</sup> PVC-eristeisille johtimille.  
<sup>b</sup> Lämpötilarajat erityyppisille eristeille on annettu IEC 60724:ssä.  
<sup>c</sup> Tämän liitteen alussa esitetyssä kaavassa on annettu kertoimen  $k$  laskentamenetelmä.

**Taulukko A.54.5 Kertoimen  $k$  arvot, kun suojajohtimena toimii kaapelin metallinen rakennekerros, kuten armeeraus, metallivaippa, konsentrinen johdin jne.**

Johtimen eriste	Lämpötila °C <sup>b</sup>		Johtimen materiaali		
			Kupari	Alumiini	Teräs
	Alku	Loppu	Arvot kertoimelle $k^c$		
70 °C PVC	60	200	141	93	51
90 °C PVC	80	200	128	85	46
90 °C PEX, EPR	80	200	128	85	46
60 °C kumi	55	200	144	95	52
85 °C kumi	75	220	140	93	51
PVC:llä pinnoitettu mineraali <sup>b</sup>	70	200	135	-	-
Paljas mineraali	105	250	135	-	-

<sup>a</sup> Lämpötilarajat erityyppisille eristeille on annettu IEC 60724:ssä.  
<sup>b</sup> Tätä arvoa käytetään myös paljaille johtimille, jos ne ovat kosketeltavissa tai koskettavat palavia materiaaleja.  
<sup>c</sup> Tämän liitteen alussa esitetyssä kaavassa on annettu kertoimen  $k$  laskentamenetelmä.

**Taulukko A.54.6 Kertoimen  $k$  arvot eristämättömille johtimille, kun johtimen kuumeneminen ei voi vahingoittaa lähiympäristön materiaaleja**

Asennusolosuhteet	Alkulämpötila °C	Johtimen materiaali					
		Kupari		Alumiini		Teräs	
		$k$ arvo	Maksimi-lämpötila °C	$k$ arvo	Maksimi-lämpötila °C	$k$ arvo	Maksimi-lämpötila °C
Näkyvässä ja sähkötilassa	30	228	500	125	300	82	500
Normaalit olosuhteet	30	159	200	105	200	58	200
Palovaara	30	138	150	91	150	50	150