

Anton Westerholm

Oikosulkuvirtojen laskenta MagiCAD:llä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

12.12.2017

Tekijä Otsikko	Anton Westerholm Oikosulkuvirtojen laskenta MagiCAD:llä
Sivumäärä Aika	37 sivua + 2 liitettä 12.12.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Vesa Sippola Suunnittelupäällikkö Mika Lamminen
<p>Insinööriyö tehtiin Rejlers Finland Oy:lle. Insinööriyön tavoitteena oli luoda yksinkertainen ja ymmärrettävä ohje oikosulkuvirtojen laskentaan MagiCAD Electrical- ohjelmalla.</p> <p>Insinööriyössä pyritään selvittämään, miten hyvin MagiCADin laskentaominaisuuksia voidaan hyödyntää sähkösuunnitteluun, kiinteistön sähköverkkolaskentaan ja tulosten esittelyyn. Ohjelmaa hyödynnettiin insinööriyössä, koska ohjelma on tilaajayrityksellä jo käytössä.</p> <p>Työtä varten tutustuttiin oikosulkuvirtojen laskentaan eri menetelmillä. Työssä käsiteltiin erilaisten oikosulkuvirtojen laskemista käyttäen apuna erilaisia kaavoja, lähteitä ja tutkittiin syitä miksi oikosulkuvirtoja ylipäättänsä tulisi laskea ja miten.</p> <p>Työssä myös tehtiin vertailuanalyysi MagiCADin laskentaominaisuuden ja laskentaohjelma FebDok sekä Rejlers Finland Oy:llä käytössä olevan Excel-laskentataulukon välillä. Tämän työn pohjana käytettiin oikeaa sähkösuunnittelun kohdetta ja laskentojen varmistamiseksi on toteutettu tarkastuslaskennat.</p> <p>Insinööriyön konkreettinen tulos on Rejlers Finland Oy:lle tehtävä sisäinen ohje oikosulkuvirtojen laskentaan, joka perustuu tähän insinööriyöhön.</p>	
Avainsanat	oikosulkuvirta, MagiCAD, oikosulku

Author(s) Title	Anton Westerholm Short-circuit Current Calculation with MagiCAD
Number of Pages Date	37 pages + 2 appendices 12th December 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Vesa Sippola, Senior Lecturer Mika Lamminen, Planning Manager
<p>This study was made for Rejlers Finland Oy. The goal of the study was to create a simple and understandable guide for short circuit calculations using MagiCAD Electrical - program.</p> <p>This thesis also explores, how well the properties of MagiCAD- program are usable in electrical engineering, electricity network calculations of the property and presenting results. The program is used in this study, because Rejlers Finland Oy has the program already in use.</p> <p>For the purpose of this study, various methods were used to calculate short-circuit currents. The study involved calculating the various short-circuit currents using different formulas, sources and exploring the reasons why short circuits should be calculated at all and how.</p> <p>A comparative analysis was also carried out between the MagiCAD calculation properties and the calculation program FebDok, as well as the Excel spreadsheet already in use with Rejlers Finland Oy. As the basis of this study, real electrical property designs were used and the verification calculations were carried out to ensure the original calculations.</p> <p>The concrete result is an internal instruction on calculating short-circuit currents for Rejlers Finland Oy, based on the results of this study.</p>	
Keywords	Short-circuit currents, MagiCAD, short circuit

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Rejlers Finland Oy	2
2	Oikosulku	2
2.1	Oikosulkujen vikatyypit	3
2.2	Oikosulkuvirran luonne	4
2.3	Oikosulkuvirtojen monet termit	6
3	Kaapeleiden oikosulkusuojaus	6
4	Vikasuojaus	10
5	Keskusten mitoitus	14
5.1	Oikosulkurasitukset ja oikosulkukestävyys	15
5.2	Keskuksen oikosulkukestävyyttä koskevat tiedot	16
6	Suojalaitteiden katkaisukyky	17
7	Oikosulkuvirtojen laskenta IEC 60909:n mukaan	19
8	Oikosulkuvirran rajoittaminen	26
8.2	Katkaisijan virran- ja energianrajoitus	27
8.3	Sulakkeiden virran- ja energianrajoitus	28
9	MagiCAD Electrical verkonlaskenta	31
9.1	Oikosulkuvirtojen laskenta MagiCADillä	32
10	Vertailuanalyysi	33
11	Yhteenveto	34
	Lähteet	35

Liitteet

Liite 1. Oikosulkulaskemien vertailu

Liite 2. Suurimmat sallitut ryhmäjohtopituudet

Lyhenteet

A	Vaimeneva tasavirtakomponentti.
BIM	Rakennuksen tietomalli.
C-kerroin	IEC 60909 mukainen jännitekerroin oikosulkuvirtojen laskennassa.
CO	KiinnikytKentä ja katkaisu.
I_c	Oikosulkuvirta.
I_{cc}	Ehdollinen mitoitusoikosulkuvirta.
I_{cp}	Prospektiivinen oikosulkuvirta.
I_{cm}	KytKentäkykyarvo.
I_{cn}	Oikosulun nimelliskatkaisukyky.
I_{cs}	Käyttöaikaisen oikosulun nimelliskatkaisukyky.
I_{cu}	Oikosulun nimellinen mitoituskatkaisukyky.
I_{cw}	Lyhytaikainen mitoituskestovirta.
I_k''	Symmetrinen alkuoikosulkuvirta.
I_k	Jatkuvan tilan oikosulkuvirta.
I_{k1}''	Yksivaiheinen alkuoikosulkuvirta.
i_p	Oikosulkuvirran huippuarvo.
I_{pk}	Mitoituskestovirran huippuarvo.

I_{th}	Terminen oikosulkuvirta.
\int^t	Joule-integraali.
k^2A^2	Energiakestoisuuden arvo.
κ	Oikosulkuvirran sysäyskerroin.
O	Katkaisu.
S_k	Näennäinen alkusulkuteho.
t_k	Oikosulunkesto aika.
Z_1	Myötäimpedanssi.
Z_2	Vastaimpedanssi.
Z_k	Oikosulkuimpedanssi.

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on luoda yksinkertainen ja ymmärrettävä ohje oikosulkuvirtojen laskentaan MagiCAD Electrical 2016.11 ohjelmalla. Rakennuksen sähköverkossa on oikosulkuvirtaa tarkasteltava laitteistojen kestävyys ja suojausten toimivuuden kannalta. SFS 6000 standardi vaatii, että prospektiivinen oikosulkuvirta eli virta, joka kulkisi, jos oikosulkuvirtapiiri korvattaisiin ideaalisella merkityksettömän pienellä impedanssilla muuttamatta syöttöjärjestelmää, on määritettävä tarpeellisissa asennuksen pisteissä. Nämä arvot täytyy myös esittää sähköasennusten dokumentoinnissa. (1, s. 32, s. 193.)

Insinööriyön tilaajana toimii Rejlers Finland Oy. Insinööriyössä pyritään selvittämään, miten hyvin MagiCADin laskentaominaisuutta voidaan hyödyntää sähkösuunnitteluun, kiinteistön sähköverkkolaskentaan ja tulosten esittelyyn. MagiCAD Electrical on BIM-ohjelmisto sähkö-, tele-, ja datajärjestelmien suunnitteluun ja piirtoon (2). MagiCADin laskentaominaisuus mahdollistaa kiinteistöön tulevien huipputehojen laskennan sekä sähköverkon oikosulkuvirtojen minimi -ja maksimilaskennat. Ohjelmaa hyödynnetään tässä insinööriyössä, koska ohjelma on tilaajayrityksellä käytössä.

Insinööriyössä yhdistetään monia tutkimus- ja laskentamenetelmiä ja tehdään vertailuanalyysi MagiCADin laskentaominaisuuden ja laskentaohjelma FebDok v. 6.0.36 sekä Rejlers Finland Oy:llä käytössä olevan Excel-laskentataulukon välillä. Insinööriyön tarkoituksena on selvittää, soveltuuko MagiCAD:n laskentaominaisuus tilaajayrityksen tarpeisiin. Insinööriyössä laskentaan käytetty MagiCAD Electrical ohjelmistoversio on 2016.11 ja FebDok ohjelmistoversio on 6.0.36. Työn pohjana käytetään oikeita sähkösuunnittelun kohteita ja laskentojen varmistamiseksi on toteutettu tarkastuslaskennat.

Insinööriyön konkreettinen tulos on Rejlers Finland Oy:lle tehtävä sisäinen ohje oikosulkuvirtojen laskentaan. Tilaajayrityksellä on tarvetta kehittää itselleen sisäinen ohjeistus oikosulkuvirtojen laskennasta, jota voidaan hyödyntää kaikkien työntekijöiden kesken. Mahdollisuutena on laatia hyvä ja käytännönläheinen ohje, joka helpottaa työskentelemistä.

1.1 Rejlers Finland Oy

Rejlersin perusti Gunnar Rejler Växjössä Ruotsissa vuonna 1942. Yrityksen ensimmäiset tehtävät liittyivät Ruotsin sähköistämiseen ja sähkön jakeluun. Suomen Rejlers on osa pohjoismaista Rejlers AB -yhtiötä. Rejlers on yksi suurimmista konsultointiyrityksistä Pohjoismaissa. Konsernilla on 2100 ammattitaitoista työntekijää ja yli 80 toimistoa Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Toiminta Suomessa alkoi vuonna 1980 Mikkelissä. Suomessa Rejlers toimii 18 paikkakunnalla. Rejlers-konsernin Suomen yhtiöiden liikevaihto vuonna 2015 oli noin 38 miljoonaa euroa. (3.)

Rejlersillä on toimintaansa ohjaavaa tavoitetta, jotka tuovat lisäarvoa asiakkaille, työntekijöille ja osakkeenomistajille. Rejlersin taloudellisena tavoitteena vuodesta 2015 eteenpäin on vähintään 8 prosentin liikevoittomarginaali kullakin tarkastelujaksolla. Rejlersin vuosittaisena tavoitteena on kasvattaa liikevaihtoa noin 15 prosenttia ja lisätä työntekijämäärää noin 10 prosenttia. Tavoitteena on vakaa kehitys, jolla omavaraisuusaste pidetään yli 30 prosentin tasolla. (3.)

Rejlers tarjoaa monipuolisia insinööripalveluja teollisuuden, energian, rakentamisen ja infran asiakaskunnille. Rejlers yhdistää ICT:n insinööriosaamiseen ja tarjoaa asiakkailleen myös digitaalisia palveluratkaisuja. Rejlersin osaaminen on asiakkaiden käytössä konsulttipalveluina, palvelutuotteina ja projektiratkaisuina. (3.)

2 Oikosulku

IEC 60909 standardin mukaan oikosulun määritelmä on vahingossa tapahtunut tai tahallinen yhdistys yhden tai useamman johtavan osan välillä, joka pakottaa potentiaalierot näiden johtavien osien välillä nolaksi tai lähelle nolaa. Ohmin lain mukaan virta kasvaa hyvin suureksi, koska vastus oikosulkuun joutuvien osien välillä on pieni. Mitä suurempi on syöttävän energialähteen (muuntajan, generaattorin) teho, sitä suurempi on oikosulkuvirta. (1, s. 8; 4, s.73)

Oikosulku voi tapahtua keskuksen sisällä, keskuksen syöttämässä johdossa tai johtoon liitetyssä laitteissa. Oikosulkuvirtaa pienentää oikosulkupiirin impedanssi, joka muodostuu muuntajan, keskusta syöttävän kaapelin, kokoomakiskojen, kaapeli- ja kiskoliitoksien, kytkinlaitteiden, mahdollisten virtamuuttajien ja vastaavien

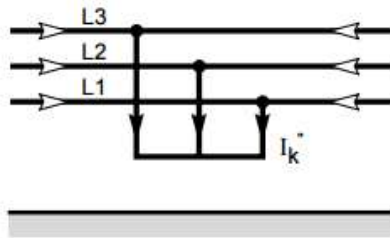
impedansseista. Oikosulun tapahtuessa keskuksen piirissä, oikosulkupiirin impedanssi kasvaa. Oikosulkupiirin impedanssi kasvaa myös keskukselta lähtevän kulutuslaitetta syöttävän kaapelin vaikutuksesta, mitä kauempana keskukselta oikosulku tapahtuu, sitä pienempi oikosulkuvirta on. (1, s. 8; 4, s.73)

Rakennuksen sähköverkossa on oikosulkuvirtaa tarkasteltava laitteistojen kestävyys ja suojausten toimivuuden kannalta. Vaikka oikosulku ei olekaan ilmiönä aivan jokapäiväinen, on sen esiintymiseen laitteiston mitoituksessa aina varauduttava. Sähköturvallisuusmääräykset vaativat laitteiston mitoittamista siten, että sen komponentit kestävät oikosulkuvirtojen termiset ja dynaamiset vaikutukset. Oikosulkuvirta aiheuttaa nopeasti vaurioita, koska se on yleensä suuruusluokkaa suurempi kuin laitteen normaali käyttövirta. Tämän takia sähköturvallisuusmääräykset edellyttävät sähkölaitteiston varustamista sellaisilla laitteilla, jotka kytkevät oikosulkuvirran itsetoimivasti ja nopeasti pois ennen vahinkojen syntymistä. (1, s. 8; 4, s.73)

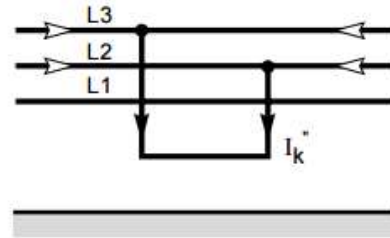
2.1 Oikosulkujen vikatyypit

Oikosulku on yksivaiheinen, jos eristysvika sattuu yhden vaihejohtimen ja nollajohtimen tai nollajohtimeen yhdistetyn suojajohtimen välillä (kuva 1). Oikosulku on monivaiheinen, jos eristysvika sattuu kahden tai useamman äärijohtimen välillä. Oikosulun seurauksena syntyy verkkoon oikosulkuvirta, joka on huomattavasti ylikuormitusvirtaa suurempi ja oikosulkutilanteessa suojalaitteiden täytyy toimia selvästi nopeammin kuin ylikuormitustilanteessa. Jos keskukseseen on liitetty epätahtimoottoreita, nämä toimivat hetken aikaa generaattoreina syöttäen virtaa vikapaikkaan ja kasvattavat oikosulkuvirtaa kolmivaiheisessa oikosulkutilanteessa. Energia vaiheiden välisessä oikosulussa on suurempi ja seuraukset siitä vastaavasti vakavampia, koska jännite on vaihejohtimien- ja kiskojen välillä suurempi kuin vaiheen ja nollan tai vaiheen ja maan välillä. (4, s. 73.)

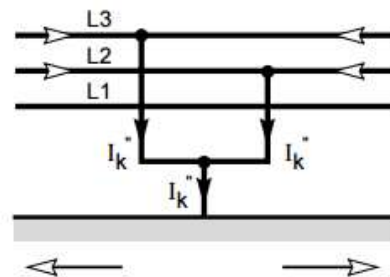
a) Symmetrical three-phase short-circuit.



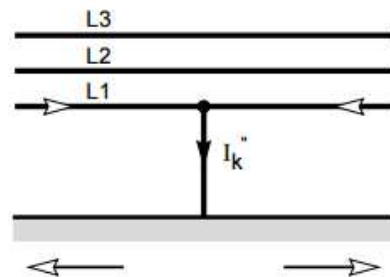
b) Phase-to-phase short-circuit clear of earth.



c) Phase-to-phase-to-earth short-circuit.



d) Phase-earth short-circuit.



← Short-circuit current,

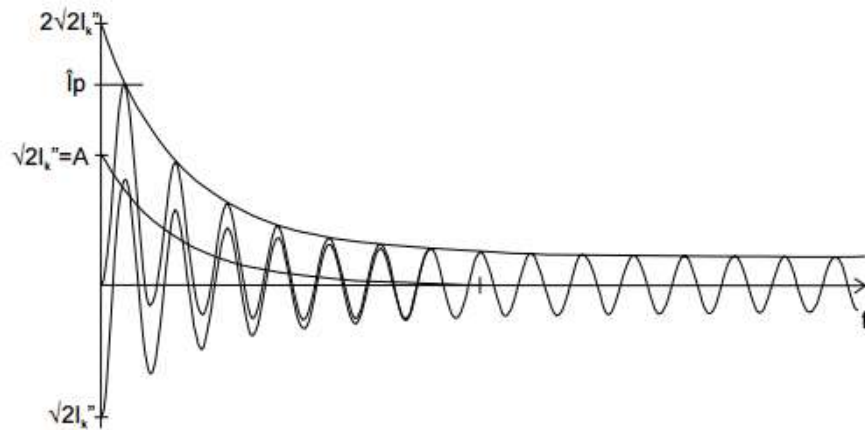
↔ Partial short-circuit currents in conductors and earth.

In calculations, the various currents (I_k'') are identified by an index.

Kuva 1. Oikosulkujen vikatyypit (5, s. 6).

2.2 Oikosulkuvirran luonne

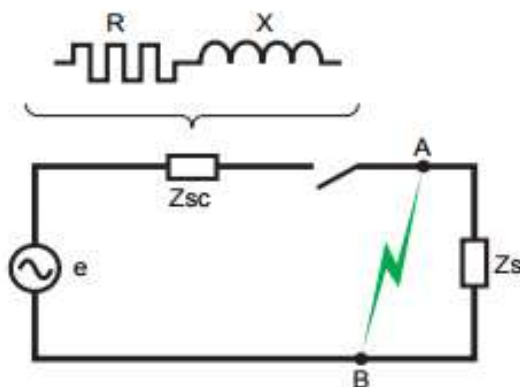
Kuvassa 2 on esitetty oikosulkuvirran käyrämuotoa. Kuvasta 2 nähdään Alkuoikosulkuvirta I_k'' , joka on vaihtosähköjärjestelmän symmetrisen prospektiivisen oikosulkuvirran tehollisarvo vian alkuhetkellä ja se vastaa generaattoreiden reaktansseja vian syntyhetkellä. Vian aikana reaktanssit kasvavat ja virta vaimenee jatkuvuustilan arvoon I_k .



Kuva 2. Oikosulkuvirran käyrämuoto (6, s. 197).

Kuvasta 2 nähdään myös oikosulkuvirran huippuarvo i_p , joka noin 2-kertainen pienjännitepuolella (<1000 V) alkuoikosulkuvirtaan I_k'' nähden. Dynaaminen rasitus syntyy oikosulkuvirran huippuarvosta, joka saavuttaa noin 10 ms:n kuluttua oikosulun syntyhetkestä suurimman mahdollisen huippuarvonsa. Dynaamisella rasituksella tarkoitetaan oikosulun aiheuttamia mekaanisia vaikutuksia verkon komponentteihin.

Kuvasta 3 on nähtävissä vaimeneva tasavirtakomponentti A, jonka suuruus riippuu oikosulun syntyhetkestä ja vaimenemisnopeus piirin R/X-suhteesta, ja vaihtovirtakomponentti, jossa voi olla myös vaimeneva osa. (5, s.197.) Oikosulkuvirran syntymistä voidaan tarkastella yksinkertaistetun verkon avulla (kuva 3).



Kuva 3. Yksinkertaistettu verkko (5, s. 7)

Kun vika ilmenee A:n ja B:n välille, näiden pisteiden välinen vähäinen impedanssi Z_s aiheuttaa erittäin suuren oikosulkuvirran jota rajoittaa ainoastaan impedanssi Z_{sc} .

2.3 Oikosulkuvirtojen monet termit

Oikosulkuvirtojen laskennassa käytetyt termit ja symbolit vaihtelevat eri standardien sekä julkaisujen mukaan. Termien ja symbolien vaihtelevat käytännöt hankaloittavat oikosulkuvirtojen todellista laskentaa, sillä eri tietolähteitä käyttäen laskennoista tulee epä johdonmukaiset. SFS 60909-0 kääntäminen kokonaan suomenkieliseksi auttaisi termien ja symbolien merkitysten yhtenäistämässä.

Osa suomenkielisistä virallisista termien käännoksistä SFS 60909-0-standardille löytyvät SESKO:n *Sähkötekniikan peruskäsitteet* –julkaisusta (7.) Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty suomenkieliset termit ja niiden englanninkieliset vastaavat, joita käytetään insinööriyössä.

Taulukko 1. Oikosulkuvirtojen symbolit ja termit.

SFS-EN 60909-0:2016 mukaan			Yleisesti muita käytettyjä symboleja ja termejä		
I''_k	Symmetrinen alkuoikosulkuvirta	Initial symmetrical short-circuit current (rms)	I_c	Oikosulkuvirran tehollisarvo	
I_p	Oikosulkuvirran huippuarvo	Peak short-circuit current	I_{pk}, I_p, I_s	Dynaaminen oikosulkuvirta, Sysäsoikosulkuvirta	
I_{th}	Terminen oikosulkuvirta	Thermal equivalent short-circuit current	I_{th}	Lyhytaikainen oikosulkuvirta	
SFS-EN 61439-1 mukaan			Yleisesti muita käytettyjä symboleja ja termejä		
I_c	Oikosulkuvirta	Short-circuit current			
I_{cc}	Ehdollinen mitoitusoikosulkuvirta	Rated conditional short-circuit current	I_{cc}	Ehdollinen nimelliskestovirta	
I_{cp}	Prospektiivinen oikosulkuvirta	Prospective short-circuit current	I_p	Prospektiivinen oikosulkuvirta	
I_{pk}	Mitoituskestovirran huippuarvo	Rated peak withstand current	I_{dyn}	Dynaaminen nimelliskestovirta	
I_{cw}	Lyhytaikainen mitoituskestovirta	Rated short-time withstand current	I_{th}	Terminen nimelliskestovirta	

3 Kaapeleiden oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojan on pystyttävä katkaisemaan piirin suurin esiintyvä prospektiivinen oikosulkuvirta sekä poiskytkennän on tapahduttava ennen kuin se aiheuttaa johtimissa ja liitoksissa lämpö- ja mekaanisista vaikutuksista johtuvaa vaaraa. Oikosulkuvirrat on katkaistava viimeistään ajassa, joka ei ylitä aikaa, jossa johtimet saavuttavat suurimman sallitun rajalämpötilan. Oikosulkusuojaus on monesti sekoitettu vikavirtasuojaukseen. Oikosulkusuojauksessa suojataan oikosulkuvirran aiheuttamilta lämpövaikutuksilta johtimia ja siten palovaaralta eikä vian aiheuttaman kosketusjännitteeltä suojautumiselta. (1, s. 132.)

Oikosulkusuojaus täytyy toteutua minkä tahansa johtimien välisessä oikosulussa, tapahtuipa oikosulku missä tahansa kohtaa johdinta. Yleisesti oikosulkusuoja pitää asentaa jokaiseen piiriin ja useimmiten piirin alkupäähän, kun taas ylikuormitussuoja voidaan asentaa mihin tahansa kohtaa johtoa, kunhan edellytykset täyttyvät. Ylikuormitus- sekä oikosulkusuojana voi toimia sama suojalaite, mutta suojalaitteet voivat olla myös erilliset. Jossain sovelluksissa oikosulkusuoja voidaan asentaa muulla tavalla, kuitenkin edellyttäen, että suojaus säilyy toimivana. (1, s. 132.)

Sallittu lämpötila ja sen kestoaika riippuu lähinnä käytetystä johdineristeestä. Usein kaapelin oikosulkukestoisuus ilmoitetaan 1 sekunnin vian kestoajaa vastaavana oikosulkuvirtana. Oikosulkusuoja voidaan jättää pois määrätyistä asennuksista (kuten muuntajista tai mittauspiireistä) jos oikosulun, tulipalon sekä henkilöille aiheutuvat vaarat on pienennetty minimiin. (1, s. 133.)

SFS 6000 edellyttää, että suunnitteluvaiheessa on laskelmilla tai muilla tavoin osoitettava, että oikosulun vaatimukset täyttyvät. Vaatimusten täytyminen on osoitettava dokumenteissa. Toteutumisen tarkastaminen on suunnitteluvaiheessa tärkeää, sillä käyttöönottotarkastuksissa ei ole vaatimuksia mitata oikosulkusuojauksen toimivuutta. Lisäksi suojauksen korjaaminen valmiissa asennuksessa on työläämpää ja kalliimpaa kuin suojausvaatimusten toteutumisen varmistaminen suunnitteluvaiheessa. Käytännössä oikosulkusuojauksen toteutuminen voidaan varmistaa käyttämällä apuna valmiiksi laskettuja taulukoita (10, s.140.) tai käyttämällä suunnittelun apuna soveltuvaa laskentaohjelmaa. Laskeminen on tarpeen monimutkaisimmissa suojaustarkasteluissa, esimerkiksi kytkettäessä kolme tai useampia kaapeleita rinnan. (8.)

Alla olevasta kaavasta 1 voi laskea aika t enintään 5s kestävässä oikosuluissa, jonka kuluessa johtimen lämpötila nousee sallittuun rajalämpötilaan.

$$t = (k * S/I)^2 \quad (1)$$

t on oikosulun sallittu kestoaika (s)

k on johdinvakio

I on oikosulkuvirran suuruus tehollisarvona (A)

S on johtimen poikkipinta (mm²)

Oikosulun kestäessä kauemmin, kyseinen kaava ei ole tarkka. Kaava 1 perustuu siihen olettamukseen, että oikosulun kehittämä lämpö jää kaapeliin kokonaisuudessaan. Mikäli oikosulku kestää 5:ttä sekuntia kauemmin, alkaa kaapeli jo luovuttaa lämpöä ympäristöön. Kaava 1 antaisi 5:ttä sekuntia pidemmissä oikosuluissa sellaisia oikosulun kestoarvoja, jotka ovat lyhempiä kuin se aika, joka on turvallisemmalla puolella johtimien lämpenemisen kannalta. (1, s. 133.)

Ominaisuus/ olosuhde	Johtimen eristys							
	PVC Kestomuovi		PVC Kestomuovi 90 °C		EPR PEX Kertamuovi	Kumi 60 °C	Mineraali	
	≤ 300	> 300	≤ 300	> 300			PVC päällystämätön	Paljäs päällystetty
Johtimen poikki-pinta-ala mm ²								
Aikulämpötila °C	70		90		90	60	70	105
Loppulämpötila °C	160	140	160	140	250	200	160	250
Johtimen materiaali:								
Kupari	115	103	100	86	143	141	115	135 -115 *
Alumiini	76	68	66	57	94	93	-	-
Kuparijohtimien linajuotetut liitokset	115	-	-	-	-	-	-	-
* Tätä arvoa pitää käyttää kosketettavissa oleville paljaille johtimille.								
HUOM. 1 Muut kertoimen k arvot ovat harkittavana: - pienille johtimille (erityisesti alle 10 mm ² 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.								

Kuva 4. k-arvot äärijohtimille (1. s.134).

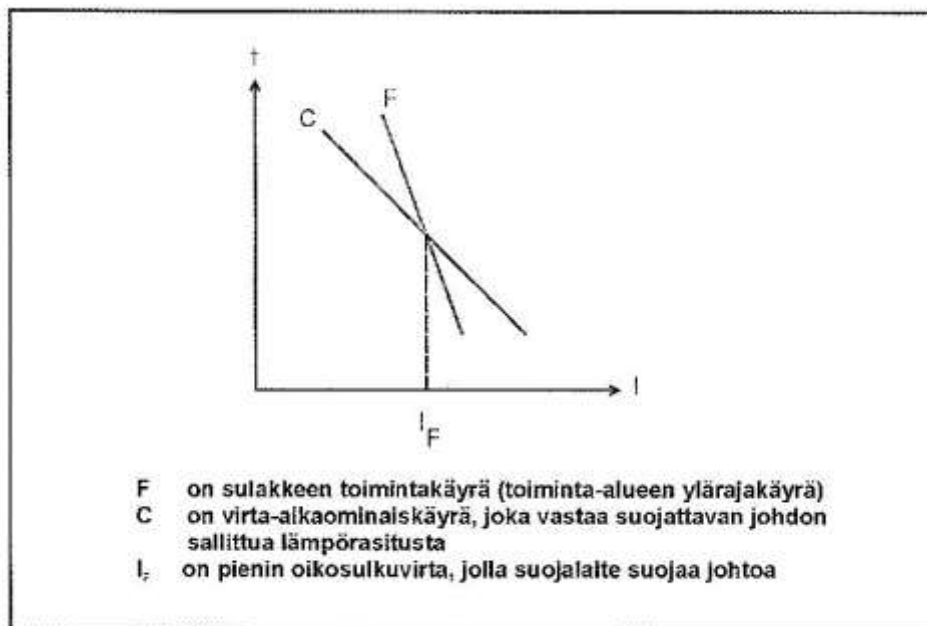
Oikosulun kestoajan ollessa alle 0,1 s on virran epäsymmetrialla vaikutusta, jolloin virtaa rajoittavilla laitteilla k^2A^2 -arvon on oltava suurempi kuin suojalaitteen läpimenevä energia I^2t . Valmistaja ilmoittaa läpimenevän energian I^2t -arvot suojalaitteelle.

Sähköasennuksen suunnittelijan tulee selvittää johdon k^2A^2 -arvo, joka lasketaan yllä olevasta kaavasta (kaava 1, kuva 4.) ja valita sen perusteella I^2t -arvoltaan sopiva suojavaite. Oikosulkusuoja on valittava niin, ettei suojan läpipäästämä energia ole suurempi kuin johtimille sallittu energia. Käytännössä valmistajat ilmoittavat suurimman johdolle sallitun oikosulkusuojalaitteen nimellisvirran. (9, s. 74.)

Oikosulkusuojat suojaavat johtoa liiallisilta termisiltä rasituksilta, jolloin suojaus toimii, kun suojattavan johdon sallittua termistä rasitusta kuvaava virta-aikaominaiskäyrä on

sitä suojaavan suojalaitteen virta-aikaominaiskäyrän yläpuolella kaikilla odotettavissa olevilla oikosulkuvirran arvoilla. Tämän takia on selvitettävä pienin ja suurin oikosulkuvirta. Pienin oikosulkuvirta täytyy selvittää, jotta oikosulkusuoja toimisi riittävän nopeasti. Suurin oikosulkuvirta pitää selvittää, jotta varmistetaan, että suojalaite pystyy katkaisemaan oikosulkuvirran. Pienin oikosulkuvirta tapahtuu suojattavan johdon siinä päässä, joka on kauimpana suojalaitteesta ja suurin oikosulkuvirta esiintyy välittömästi suojalaitteen jälkeen tapahtuvassa oikosulussa. (1, s. 433.)

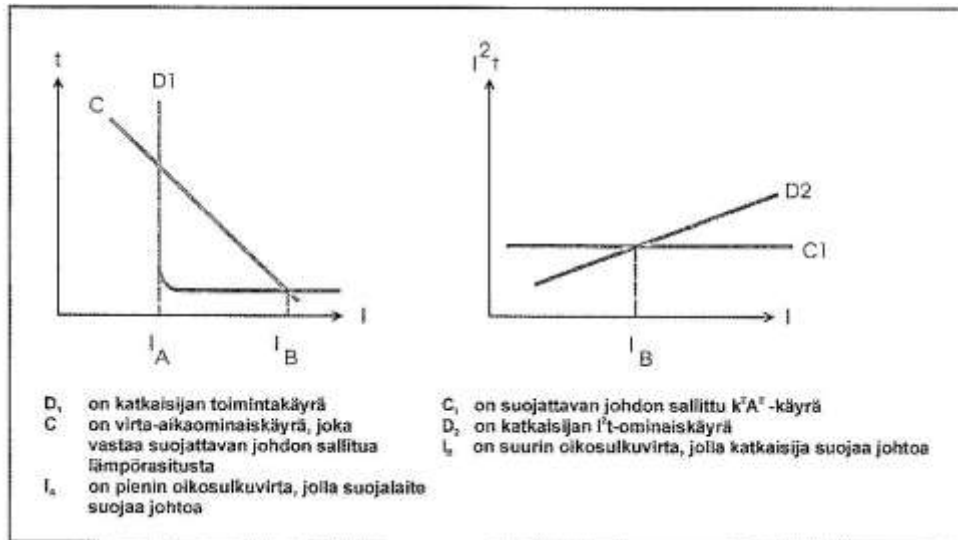
Käytettäessä yhteistä ylikuormitus- ja oikosulkusuojaa, kaavaa 1 ei tarvitse käyttää vaan suojauksen toimivuus varmistetaan siten, että suojalaite toimii ylikuormitussuojana ja sen katkaisukyky on vähintään yhtä suuri kuin asennuspaikalla esiintyvä suurin prospektiivinen oikosulkuvirta. Tällöin suojalaite suojaa myös oikosulkuvirran lämpövaikutuksilta. (1, s.433).



Kuva 5. Sulake oikosulkusuojana. (10. s.261).

Sulakkeen nimellisvirta voi olla suurempi kuin johdon kuormitettavuus, jos se toimii ainoastaan oikosulkusuojana. Kuvasta 5 nähdään, että sulake suojaa johtoa oikosulkuvirroilta, jotka ovat yhtä suuria tai suurempia kuin I_F . Johto on tietenkin suojattava I_F pienemmiltä oikosulkuvirroilta, joita syntyy esimerkiksi vikaimpedanssin kautta tapahtuvassa oikosulussa. Tällainen tilanne vastaa ylikuormitusta, ja suojaus on toteutettavissa ylikuormitussuojan avulla. Pelkästään oikosulkusuojana toimiva sulake

voidaan valita myös taulukon (10, s.141.) mukaan tai suojalaitteiden valmistajien ohjeiden mukaan.



Kuva 6. Johdonsuojakatkaisija oikosulkusuojana (10. s.261).

Kuva 6 esittää tapausta, jossa oikosulkusuojaus on toteutettu johdonsuojakatkaisijalla. Kuvasta nähdään, että johdonsuojakatkaisija suojaa johdon oikosulkuvirroilta, joiden suuruus on I_A :sta I_B :hen. Esiintyessä I_B :tä suurempia oikosulkuvirtoja, oikosulkusuojaukseen on käytettävä etusulaketta tai sellaista johdonsuojakatkaisijaa, joka rajoittaa suojalaitteen läpi päästämää energiaa. Läpi pääsemän energian I^2t pitää olla pienempi kuin johdon k^2A^2 -arvon. (10, s.259.)

4 Vikasuojaus

Standardin SFS 6000 kohdan 132 mukaan vikasuojauksen toimivuus on varmistettava suunnitteluvaiheessa. Syötön automaattisessa poiskytkennässä pyritään katkaisemaan vikaantunut virtapiiri niin nopeasti, ettei siitä aiheudu vaaraa. Luku 131 sisältää vaatimuksen vikasuojauksesta. (1, s. 135.)

Suojausehtojen toteutumisen tarkastamiseksi on selvitettävä pienin sallittu oikosulkuvirran arvo, jolla valittu suojalaite toimisi vaaditussa ajassa. Suurimmat sallitut poiskytkentäajat riippuvat käytetystä maadoitusjärjestelmästä (TN, TT tai IT). Erityistä huomiota tulee kiinnittää oikosulkuvirtojen selvittämiseen silloin, kun sähköverkon syöttö

on poikkeuksellinen, kuten esimerkiksi UPS-laitteistolla ja varavoimageneraattorilla toteutetuissa syötöissä. (1, s. 135.)

SFS 6000 411.3 (vikasuojauksen vaatimukset) mukaan TN-järjestelmässä korkeintaan 5s poiskytkentäaika on sallittu pääjohdoille ja yli 32 A:n ylivirtasuojilla suojatuille johdoille. Korkeintaan 32 A:n suojalaitteella suojatuille ryhmäjohdoille suurimmat sallitut poiskytkentäajat TN-järjestelmässä on 0,4 sekuntia. (10, s. 92.)

Vikasuojauksen suunnittelu

Käytännön mitoituksessa tulee suunnittelun lähtötiedoksi selvittää pienin oikosulkuvirta liittymän luona. Jakeluyhtiöillä on tarjolla urakoitsijaohjeissaan mitoitusoikosulkuvirta- taulukoita, joiden mukaisia arvoja tulee lähtökohtaisesti käyttää liittymän sisäisen verkon suojausten mitoituksessa. Suuremmissa pienjänniteliitymissä käytetään mitoituksessa taulukon 2 oikosulkuvirtojen kerrannaisia käytettävien kerrannaisten pääsulakekokojen mukaisesti.

Taulukko 2. Mitoitusoikosulkuvirrat sähköliittymille (11. s. 12).

Pääsulake	Oikosulkuvirta liittymän päävarokkeella
A	min./ A
3x25	250
3x35	250
3x50	250
3x63	320
3x80	425
3x100	580
3x125	715
3x160	950
3x200	1250
3x250	1650

Taulukon 2 arvot ovat vähimmäisarvoja, jotka jakeluverkkoyhtiö takaa. Todellinen oikosulkuvirta voi olla paljon suurempikin, mutta taulukon arvoja on käytettävä suojausten mitoituksessa, koska syöttävä verkko voi myöhemmin muuttua mitoitusoikosulkuvirtojen reunaehtojen mukaisesti. Näillä taulukon arvoilla lasketaan vain vikasuojauksen toteutuminen, eikä esimerkiksi käytetä oikosulkukestävyyden tarkistamista ja mitoittamista varten. (11, s. 12.)

Poiskytkentäehtojen tarkastelussa kannattaa seuraavaksi selvittää, kuinka laajasti ja missä kohdissa asennusta oikosulkuvirta tulee määrittää. Esimerkiksi voidaan käyttää hyväksi kaikkein hankalimman virtapiirin arvoja muiden virtapiirien suojauksen toimivuuden selvittämisessä.

Suojauksen toimivuuden selvittäminen edellyttää pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran I_{k1}'' (kaava 5) määrittämistä ja tätä arvoa vertaillaan suojalaitteen vaatimaan toimintavirtaan. Taulukoista 3 nähdään vaaditut oikosulkuvirrat käytettäessä johdonsuojakatkaisijoita ja taulukosta 4 käytettäessä gG-sulakkeita.

Taulukko 3. Johdonsuojien vaatimat oikosulkuvirrat vikasuojaukseen ja oikosulkusuojaukseen (12).

Pienimmät oikosulkuvirrat, jolla erilaiset suojalaitteet toimivat 0,2, 0,4 tai 5,0 sekunnissa					
Suojalaitteen nimellisvirta A	Pienin sallittu yksivaiheinen oikosulkuvirta A				
	Johdonsuojakatkaisijat				
	B-tyyppi 0,2, 0,4 s ja 5,0 s	C-tyyppi 0,2 ja 0,4 s	C-tyyppi 5,0 s	D-tyyppi 0,2 ja 0,4 s	D-tyyppi 5,0 s
	Lask.arvo / mitattu arvo	Lask.arvo / mitattu arvo	Lask.arvo/ mitattu arvo	Lask.arvo / mitattu arvo	Lask.arvo / mitattu arvo
6	30 / 38	60 / 75	42 / 55	120 / 150	42 / 55
10	50 / 65	100 / 125	70 / 90	200 / 250	70 / 90
16	80 / 100	160 / 200	112 / 140	320 / 400	112 / 140
20	100 / 125	200 / 250	140 / 180	400 / 500	140 / 180
25	125 / 160	250 / 320	175 / 220	500 / 630	175 / 220
32	160 / 200	320 / 400	225 / 280	640 / 800	225 / 280
40	200 / 250	400 / 500	280 / 350	800 / 1000	280 / 350
50	250 / 320	500 / 630	350 / 440	1000 / 1250	350 / 440
63	315 / 400	630 / 790	440 / 550	1260 / 1600	440 / 550
80	400 / 500	800 / 1000	560 / 700	1600 / 2000	560 / 700
125	625 / 780	1250 / 1570	875 / 1100	2500 / 3130	875 / 1100

Taulukko 4. gG- sulakkeiden vaatimat oikosulkuvirrat vikasuojaukseen ja oikosulkusuojaukseen (12).

Sulakkeiden nimellisvirta A	Laukaisuaika	
	0,4 s	5,0 s
	Laskettu arvo / mitattu arvo	Laskettu arvo / mitattu arvo
2	16 / 20	9 / 12
4	32 / 40	18 / 23
6	46,5 / 58	28 / 35
10	82 / 103	46,5 / 58
16	110 / 138	65 / 81
20	145 / 180	85 / 105
25	180 / 225	110 / 138
32	270 / 340	165 / 210
35	290 / 365	175 / 220
40	315 / 395	190 / 240
50	470 / 590	250 / 315
63	550 / 690	320 / 400
80	840 / 1050	425 / 530
100	1000 / 1250	580 / 725
125	1450 / 1800	715 / 895
160	1600 / 2000	950 / 1190
200	2100 / 2625	1250 / 1560
250	2800 / 3500	1650 / 2065
315	3700 / 4625	2200 / 2750
400	4800 / 6000	2840 / 3550
500	6400 / 8000	3800 / 4750
630	8500 / 10625	5100 / 6375

Käytännössä tarpeellisissa kohdissa täytyy määrittää sallittu johtopituus, kun suojalaitetta edeltävän verkon impedanssi tai oikosulkuvirta on tunnettu. Sallittu johdon pituus voidaan laskea käyttäen kaavaa 2:

$$l = \frac{\left(\frac{cU_n}{\sqrt{3}I_{k1}}\right) - Z_v}{2Z} \quad (2)$$

l on johdonpituus (km),
 c on kerroin 0,95,
 U_n on syöttävän verkon jännite,
 Z_v on impedanssi ennen suojalaitetta
 Z on suojattavan johtimen impedanssi (Ω/km)

Sallittujen ryhmäjohtopituuksien määrittämiseen on olemassa myös taulukoita, joiden avulla voi suhteellisen nopeasti arvioida suojauksen toimivuutta. (10, s. 96.)

5 Keskusten mitoitus

Sähkölaitteiston suunnittelijan tulee antaa riittävät tiedot keskusvalmistajalle, jotta keskusvalmistaja voi rakentaa kuormitettavuuden ja oikosulkukestoisuuden kannalta vaatimukset täyttävän keskuksen. Mitoitusta varten on tarpeen tietää kuormitusten lisäksi myös käyttöpaikalla esiintyvät oikosulkuvirrat erityisesti silloin, kun oikosulkuvirrat ovat useita kymmeniä kA. Käyttöpaikalla esiintyvien oikosulkuvirtojen suuruuden määrittäminen kuuluu sähkölaitteiston suunnittelijalle. Keskusten tulisi kuitenkin kestää vähintään taulukon 5 mukaisia syöttöliittimissä esiintyvän oikosulkuvirran arvoja. (9 s, 129.)

Taulukko 5. Oikosulkukestävyyden suositellut arvot 400V jännitteellä (4. s. 61).

Keskuksen mitoitusvirta I_{NA} A	Lyhytaikainen mitoituskestovirta (oikosulkuvirran tehollisarvo kes- kuksen syöttöliittimissä) $I_{ow} 0,3 \text{ s}$ 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.

Taulukon 5 arvot eivät välttämättä päde prosessiteollisuuskohteissa ja suurissa liikekiinteistöissä, koska näissä kohteissa keskusta syöttävät muuntajat ovat yleensä suuria ja siirtoetäisyydet lyhyitä, niinpä keskusten on kestettävä huomattavasti suurempien oikosulkuvirtojen rasitukset.

5.1 Oikosulkurasitukset ja oikosulkukestävyys

Keskuksien pitää kestää mitoitusarvojen mukaiset oikosulkuvirran aiheuttamat termiset ja dynaamiset rasitukset. Keskuksen kokoomakiskojen kannalta merkittävä termien kestävyys ei ole ongelma. Lyhyt oikosulku ei yleensä nosta lämpötilaa liian suureksi, sillä kiskojen poikkipinta on määritetty kuormituksen perusteella jo niin suureksi. Kuparikiskolla sallitaan loppulämpötilaksi oikosulussa 200 °C ja alumiinilla 180 °C. Joissain tapauksissa termiseen kestoisuuteen on kiinnitettävä huomiota, kun selektiivisyysyistä on jouduttu valitsemaan pitkiä oikosulun katkaisuaikoja. (4, s. 73.)

Keskuksen oikosulkukestoisuuden kannalta kriittisimpiä ovat oikosulun aiheuttamat dynaamiset rasitukset. Oikosulkuvirta aiheuttaa dynaamisesti rasittavan voiman keskuksen kokoomakiskojen välille ja muidenkin oikosulkupiirin osien välille. Keskuksen kiskomateriaaleina käytetään kuparia ja alumiinia, joista valmistettujen kiskojen kestävyys perustuu näille metalleille määrättyyn myötörajaan. (4, s. 73.)

Myötörajalla tarkoitetaan rasitusta, joka aiheuttaa 0,2 %:n suuruisen pysyvän venymän. Kuparilla myötöraja on noin 240 N/mm² ja alumiinilla noin 170 N/mm². Rasituksen kasvattaessa myötörajaa suuremmaksi saavutetaan murtoraja, jolloin kisko katkeaa. Kiskojen dynaamisesti oikosulkukestävällä mitoituksella tarkoitetaan siis siten mitoitettua kiskostoa, että suurin esiintyvä oikosulkuvirta ei aiheuta kiskomateriaalien myötörajan ylittäviä muutoksia. Kiskojen oikosulkukestävyys voidaan laskea kirjallisuudessa esiintyvien ohjeiden ja yhtälöiden avulla kohtuullisen tarkasti. (4, s. 73.)

Sähkölaitteen oikosulkukestävyys tarkoituksena on henkilöturvallisuus. Ihmisvahinkojen välttämisen ja ympäristön aineellisten vahinkojen ohella laitteistojen säilyminen ehjänä on tärkeää. Oikosulkukestävydessä ei ole kyse vain itse keskuksista, vaan myös kaikista laitteistoista, jonka osa keskus on. Riittävällä sähkölaitteen oikosulkukestoisuudella varmistetaan sähkölaitteiston turvallinen käyttö ja käyttövarmuus. Keskuksen oikosulkukestoisuus määritellään testaamalla. SFS-EN 61439-1 ei kuitenkaan vaadi testausta, jos keskuksen lyhytaikainen mitoituskestovirta I_{cw} tai ehdollinen mitoitusoikosulkuvirta I_{cc} on enintään 10 kA. Testausta ei myöskään vaadita, jos keskus on suojattu virtaa rajoittavilla laitteilla, joiden rajoittama oikosulkuvirran huippuarvo I_{pk} ei ylitä keskuksen syöttöliittimissä 17 kA:ssa. (4, s. 150.)

Teoriassa kaikki sähkölaitteet voitaisiin rakentaa niin lujiksi, että ne kestäisivät kaikki niihin kohdistuvat oikosulkurasitukset. Tällöin laitteista tulisi kuitenkin niin paljon tilaa vieviä, materiaalia tuhlaavia ja kalliita, ettei se olisi kannattavaa. (4, s. 75.)

5.2 Keskuksen oikosulkukestävyyttä koskevat tiedot

Oikosulkusuojan ollessa keskuksen syöttöyksikössä annetaan prospektiivisen oikosulkuvirran suurin sallittu arvo syöttöyksikön liittimissä. Kyseinen arvo ei saa olla suurempi kuin keskukselle määritetty mitoituskestovirran huippuarvo, lyhytaikaisen mitoituskestovirta tai ehdollinen mitoitusoikosulkuvirta. Jos käytetään aikahidastetulla laukaisulla toimivaa katkaisijaa, valmistajan on annettava ilmoitettua prospektiivista oikosulkuvirtaa vastaava suurin sallittu aikaviive ja virta-asettelu. (4, s.131.)

Keskukselle, jossa oikosulkusuoja ei ole sen syöttöyksikössä, oikosulkukestävyys täytyy antaa määrittelemällä lyhytaikainen mitoituskestovirta yhdessä siihen liittyvällä kestoajalla ja mitoitusvirran huippuarvolla tai antamalla ehdollinen mitoitusoikosulkuvirta.

Lyhytaikaisen mitoituskestovirran I_{cw} on oltava yhtä suuri tai suurempi kuin oikosulkuvirran prospektiivinen tehollisarvo kussakin syöttöpisteessä. Keskukselle voidaan antaa erilaisia I_{cw} -arvoja eri kestoajoille (esimerkiksi 0,2 s; 1 s; 3 s). Ilmoitettaessa lyhytaikainen mitoituskestovirta tulee samalla ilmoittaa kesto aika, joka on yleensä 1 s. Aiemmin lyhytaikaisesta mitoituskestovirta I_{cw} on pienjännitekeskusstandardissa käytetty nimitystä terminen nimelliskestovirta. (4, s.131.)

Mitoituskestovirran huippuarvo I_{pk} pitää olla yhtä suuri tai suurempi kuin syöttöjärjestelmän prospektiivisen oikosulkuvirran huippuarvo. Huippuarvoa ei ole rajoitettu millään suojalaitteella. Mitoituskestovirran huippuarvo voidaan määritellä kertomalla kertoimella n oikosulkuvirran tehollisarvo. Kertoimen n arvot voidaan lukea taulukosta 7. Aiemmin mitoituskestovirran huippuarvosta I_{pk} on pienjännitekeskusstandardissa käytetty nimitystä dynaaminen nimelliskestovirta. (4, s.131).

Keskuksissa esiintyvää *ehdollista mitoitusoikosulkuvirtaa I_{cc}* voidaan pienentää asettamalla keskuksen syöttöjohtoon oikosulkuvirtaa rajoittavat sulakkeet tai katkaisija. Ehdollisen mitoitusoikosulkuvirran arvon pitää olla yhtä suuri tai suurempi kuin

prospektiivinen oikosulkuvirran tehollisarvo, jonka keskusta suojaavan sulakkeen tai katkaisijan toiminta-aika rajoittaa. Keskuksen valmistajan on annettava keskusta suojaamaan tarvittavien oikosulkusuojien arvot. Käyttämällä ehdollista mitoitusoikosulkuvirran I_{cc} arvoja saavutetaan käytännössä hyvin suuria säästöjä pienivirtaisten keskusten oikosulkukestoisuudessa. (4, s.131.)

6 Suojalaitteiden katkaisukyky

Suojalaitteen katkaisukyvyyn tulee olla vähintään suojalaitteen asennuspaikalla esiintyvän suurimman oikosulkuvirran suuruinen. Pienempi katkaisukyky sallitaan vain, jos suojalaitteen syöttöpuolella on toinen suojalaite, jonka katkaisukyky on riittävä. Tällöin on kumminkin varmistettava, että suojalaitteiden läpi kulkeva energia (I^2t -arvo) ei ylitä kuormituspuolen suojalaitteiden ja suojattavien johtimien vahingoittumatta kestävä arvoa. (9, s.73.)

Tulppasulakkeet soveltuvat käytettäväksi ylikuormitussuojana sekä oikosulkusuojana. Niitä on aiemmin käytetty yleisesti ryhmäjohtojen ylivirtasuojina, mutta niiden tilalle on kiinteistöjen ryhmäjohtojen suojauksessa tullut johdonsuojakatkaisijat. Tulppasulakkeiden katkaisukyky tulee olla vähintään SFS 5855 mukaan 50 kA vaihtosähköllä. Kuitenkin tulppasulakkeita on saatavilla edelleen aikaisempien standardien mukaisia sulakkeita, joiden katkaisukyky on vain 4 - 20 kA. (13).

Kahvasulakkeet soveltuvat erittäin hyvin oikosulkusuojaksi niiden katkaisuoimaisuuksien sekä hyvän oikosulkuvirran rajoituskyvyn vuoksi. Niitä käytetäänkin erityisesti silloin, kun kuormitusvirrat ovat suuria tai asennuspaikalla on suuret oikosulkuvirrat. Kahvasulakkeiden katkaisukyky on vähintään 50 kA, mikäli valmistaja ei ole ilmoittanut suurempaa nimelliskatkaisukykyä. Kuitenkin monilla kahvasulakkeilla suurin katkaisukyky on 100 kA. Virranrajoitustaulukosta (kuva 12) voidaan lukea suurin virtahuippu, jonka sulake päästää läpi tietyllä prospektiivisen oikosulkuvirran arvolla. (13).

Johdonsuojakatkaisijoiden katkaisukyky määritellään kahdella tavalla:

I_{cn} on oikosulun nimelliskatkaisukyky; tämä arvo leimataan kojeeseen (O-t-CO)
 I_{cs} on käyttöaikaisen oikosulun nimelliskatkaisukyky (O-t-CO-t-CO)
 jossa O tarkoittaa katkaisua ja CO kiinnikytöntä ja katkaisua.

Johdonsuojakatkaisijat ovat korvanneet kiinteistöissä ryhmäjohtojen suojauksessa tulppasulakkeet. Niiden katkaisukyky on yleensä 400 V jännitteellä 6 kA talotekniikassa tai 10 kA vaativissa kohteissa ja teollisuudessa. Johdonsuojakatkaisijan katkaisukyky tulee olla suurempi kuin 3-vaiheisen prospektiivinen oikosulkuvirran tehollisarvo. Jos katkaisukyky ei ole riittävä on käytettävä kojeen edessä etusulaketta tai katkaisijaa. Johdonsuojakatkaisijoita käsittelevässä standardissa SFS-EN 60898 on esitetty seuraavat standardinmukaiset arvot katkaisukyvyille 3000 A, 4500 A, 6000 A 10000 A 15000 A, 20000 A ja 25000 A. (9, s.82.)

Kompakti- ja ilmakatkaisijoiden katkaisukyky

”Suurimman oikosulkuvirran suojaukseen käytetty suojalaite voidaan valita äärimmäisen oikosulkuvirran katkaisukyvyyn perusteella (I_{cu}). Suositellaan kuitenkin, että liittymispisteessä ja käyttötarkoituksen mukaan muuallakin olevat suojalaitteet valitaan oikosulun katkaisukyvyyn perusteella (I_{cs})” (1, s. 274).

ST 53.45 mukaan ilmakatkaisijat valitaan I_{cs} -arvon mukaan ja kompaktikatkaisijat I_{cu} -arvon mukaan. Valmistajan on ilmoitettava IEC 60947-2 mukaan I_{cu} , - I_{cs} - ja I_{cw} -arvot. (14, s.5.)

I_{cu} on oikosulun nimellinen mitoituskatkaisukyky (O-t-CO). Se ilmaisee suurinta oikosulkuvirran tehollisarvoa, jonka katkaisija pystyy katkaisemaan turvallisesti. Katkaisijan ei tarvitse olla enää toimintakykyinen katkaistuaan suurimman oikosulkuvirran. (14, s.5.)

I_{cs} on käyttöaikaisen oikosulun nimelliskatkaisukyky (O-t-CO-t-CO). Se ilmaisee suurinta oikosulkuvirran arvoa, jonka suoja pystyy katkaisemaan vikaantumatta. Oikosulun jälkeen katkaisijan vaaditaan kestämään nimellisvirran katkaiseminen 25-75 kertaa. (14, s. 5.)

I_{cw} on katkaisijan lyhytaikainen terminen kestävyys. Se ilmaisee kykyä kestää katkaisijan läpikulkevaa suurinta sallittua tehollista oikosulkuvirtaa, joka ei aiheuta katkaisijan ominaisuuksien muuttumista. Ilmoitetaan yleensä 1 s:n arvona. (15, s.26.)

I_{cm} on kytkentäkyky arvo. Se ilmaisee katkaisijan kykyä kestää oikosulkuvirran huippuarvon aiheuttamaa mekaanista rasitusta. Kytkentäkyky arvo lasketaan katkaisijan katkaisukyvyistä kertoimella, joka riippuu oikosulkuvirran suuruudesta. $1,5...2,2 \times I_{cu}$. (14, s.5.)

7 Oikosulkuvirtojen laskenta IEC 60909:n mukaan

Standardi IEC 60909 koskee oikosulkuvirtojen laskemista kolmivaiheisessa vaihtovirrassa pien-, keski- ja suurjänniteverkossa aina 550 kV:iin asti, joiden taajuus on 50 Hz tai 60 Hz. Standardi pohjautuu Thevenin teoriaan, joka laskee vastaavan jännitelähteen oikosulun kohdassa ja määrittää siten vastaavan oikosulkuvirran. (5, s.11; s.24.)

Pienjänniteverkon kaikkien vikatapausten oikosulkuvirtoja ei ole tarpeen laskea. Oikosulkukestoisuuksien määrittämiseen riittää, kun tunnetaan suurimmat verkossa esiintyvät oikosulkuvirrat. Pienimmät verkon oikosulkuvirrat on tunnettava suojalaitteen toiminnan varmistamiseksi. Pienjänniteverkossa voidaan olettaa, että kolmivaiheiset oikosulkuvirrat ovat suurimpia oikosulkuvirtoja. Dyn-kytkentäisillä muuntajilla on nolaimpedanssi suurin piirtein myötäimpedanssin suuruinen, jolloin yksivaiheiset oikosulkuvirrat muodostuvat yhtä suuriksi kuin kolmivaiheiset. Pienimmät vikavirrat muodostuvat yksivaiheisissa oikosuluissa. Poikkeuksena on, että lähellä muuntajaan sattuvissa kaksivaiheisissa oikosuluissa oikosulkuvirrat muodostuvat pienemmiksi kuin yksivaiheisissa oikosuluissa(16, s.12.)

Maksimioikosulkujen laskennassa on IEC 60909:n mukaan otettava huomioon seuraavat olosuhteet (17, s. 41.):

- Maksimilaskennassa sovelletaan jännitekerrointa C_{max} .
- Verkon kytkentätilanne on valittava vastaamaan maksimioikosulkuvirtaa.
- Järjestelmän kaikkien johtimien ja kaapelien resistanssit esitetään 20 °C lämpötilassa.

Minimioikosulkujen laskennassa on IEC 60909:n mukaan otettava huomioon seuraavat olosuhteet (17, s. 42.):

- Minimilaskennassa sovelletaan jännite kerrointa C_{min} .
- Verkon kytkentätilanne on valittava vastaamaan minimioikosulkuvirtaa
- Moottorit oletetaan seisoviksi.
- Järjestelmän kaikkien johtimien ja kaapelien resistanssit esitetään suurinta käyttölämpötilaa vastaavina.

Symmetrinen alkuoikosulkuvirta I_k''

Alkuoikosulkuvirta ilmoittaa vaihtosähköjärjestelmän kolmivaiheisen symmetrisen prospektiivisen oikosulkuvirran tehollisarvon. Siihen vaikuttaa vikapaikkaa edeltävän verkon impedanssi, jonka suuruuden määrittää verkon komponenttien impedanssit. (18, s.5.)

Alkuoikosulkuvirta muodostaa oikosulkulaskennan perustapauksen, koska se johtaa useimmiten suurimpaan vikavirtaan. Alkuoikosulkuvirtaa tarvitaan lähinnä muiden oikosulkusuureiden määrittämiseen, eikä sitä sellaisenaan hyödynnetä verkon mitoittamiseen. Syöttävästä verkosta tunnetaan yleensä alkuoikosulkuvirta I_{kq}'' tai näennäinen alkusulkuteho S_{kq} . (18, s.6.)

Oikosulkuvirta saadaan yhtälöstä 3:

$$I_k'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_n^2 + X_n^2}} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_k} \quad (3)$$

c on taulukon 1 mukainen kerroin,
 U_n on syöttävän verkon jännite,
 Z_k on impedanssi vikapaikasta katsottuna.

Taulukko 6. IEC 60909-mukainen jännitekerroin c . (17. s.22).

Nominal system voltage U_n	Voltage factor c for the calculation of	
	maximum short-circuit currents c_{max}^a	minimum short-circuit currents c_{min}
Low voltage 100 V to 1 000 V (IEC 60038:2009, Table 1)	1,05 ^c 1,10 ^d	0,95 ^c 0,90 ^d
High voltage ^b >1 kV to 230 kV (IEC 60038:2009, Tables 3, 4)	1,10	1,00
High voltage ^{b, e} > 230 kV (IEC 60038:2009, Table 5)	1,10	1,00

^a $c_{max}U_n$ should not exceed the highest voltage U_m for equipment of power systems.
^b If no nominal system voltage is defined $c_{max}U_n = U_m$ or $c_{min}U_n = 0,90 \cdot U_m$ should be applied.
^c For low-voltage systems with a tolerance of $\pm 6\%$, for example systems renamed from 380 V to 400 V.
^d For low-voltage systems with a tolerance of $\pm 10\%$.
^e For nominal system voltages related to $U_m > 420$ kV, the voltage factors c are not defined in this standard.

Yksivaiheinen oikosulkuvirta I_{k1}''

Yksivaiheinen oikosulkuvirta täytyy määrittää oikosulkusuojauksen ja vikasuojauksen takia (taulukko 5) ja se tulee ottaa huomioon selektiivisyystarkastelussa. Pienimmän oikosulkuvirtojen selvittämiseen pitää kiinnittää erityistä huomiota esimerkiksi UPS-laitteistolla ja varageneraattorilla toteutetuissa syötöissä (10, s.97.)

Oikosulkuvirta saadaan yhtälöstä 4:

$$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3}cU_n}{|Z_1 + Z_2 + Z_3|} \quad (4)$$

c on taulukon 1 mukainen kerroin,
 U_n on syöttävän verkon jännite,
 Z_1 on myötäkomponenttiverkon impedanssi,
 Z_2 on vastakomponenttiverkon impedanssi,
 Z_3 on nollakomponenttiverkon impedanssi.

Pienjänniteverkon oikosulut ovat kaukana generaattorista tapahtuvasta oikosulusta, joten oikosulkupiirin vastaimpedanssi Z_2 on myötäimpedanssi Z_1 suuruinen, jolloin yhtälö sievenee muotoon:

$$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3}cU_n}{|2Z_1 + Z_2|} \quad (5)$$

jossa c on taulukon 1 mukainen kerroin,
 U_n on syöttävän verkon jännite,
 Z_1 on myötäkomponenttiverkon impedanssi,
 Z_2 on vastakomponenttiverkon impedanssi.

Oikosulkuvirran huippuarvo i_p

Oikosulkuvirran huippuarvo kuvaa suurinta mahdollista prospektiivisen oikosulkuvirran hetkellisarvoa. Oikosulkuvirta saavuttaa noin 10 ms:n kuluttua oikosulun syntyhetkestä suurimman mahdollisen huippuarvonsa. Tätä kutsutaan oikosulkuvirran huippuarvoksi i_p , jota käytetään sähköverkon komponenttien mitoittamisen perusteena. Sen avulla pyritään mitoittamaan komponentit siten, että ne kestävät oikosulkuvirran

voimavaikutuksia. Oikosulkuvirran huippuarvosta i_p käytetään myös nimityksiä sysäysoikosulkuvirta i_s ja dynaaminen oikosulkuvirta i_{dyn} . (16, s. 3.)

IEC 60909 mukaan oikosulkuvirran huippuarvo lasketaan yhtälöllä 6:

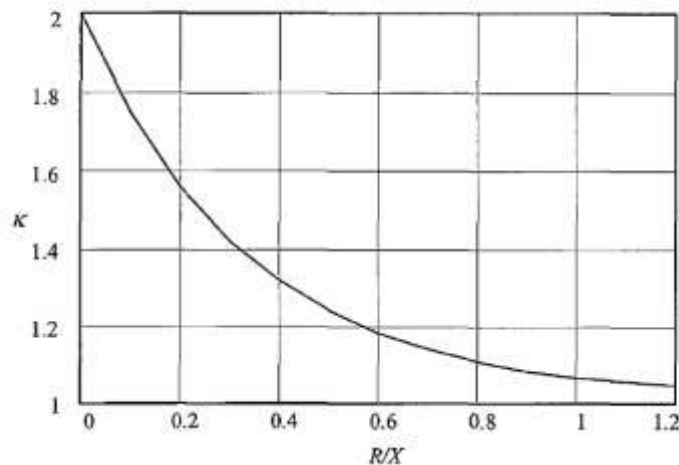
$$i_p = \kappa \sqrt{2} I_k'' \quad (6)$$

jossa I_k'' on alkuoikosulkuvirran tehollisarvo
 κ on sysäyskerroin

κ on oikosulkuvirran sysäyskerroin, joka riippuu resistanssin R ja reaktanssin X suhteesta (17, s.49.). Sysäyskerroin ottaa huomioon oikosulkuvirran tasakomponentin vaikutuksen oikosulkuvirran huippuarvon suuruuteen, joka lasketaan yhtälöstä 7:

$$\kappa = 1,02 + 0,98^{-3R/X} \quad (7)$$

κ on sysäyskerroin
 R on resistanssi
 X on reaktanssi



Kuva 7. Oikosulkuvirran huippuarvon sysäyskerroimen κ riippuvuus oikosulkuvirtapiirin resistanssin R ja reaktanssin X suhteesta. (17. s.50).

Sysäyskerroin voidaan määrittää kuvasta 7. Sysäyskerroimen teoreettinen maksimi on 2. Pienjänniteverkossa κ sysäyskerroin on yleensä alle 1,44, jolloin voidaan käyttää oikosulkuvirran huippuarvon i_p määrittämiseen yhtälöä 8:

$$i_p = \kappa \sqrt{2} I_k'' = 1,44 \sqrt{2} I_k'' \approx 2 I_k'' \quad (8)$$

Toisin sanoen pienjänniteverkossa oikosulkuvirran huippuarvo on noin kaksinkertainen alkuoikosulkuvirtaan nähden. Tarkemman sysäyoikosulkukertoimen määrittämiseen voidaan käyttää taulukkoa. Oikosulkuvirran tehollisarvon suuruuden perusteella taulukosta 7 määritetään sysäyskerroin κ . Toisin sanoen pienjänniteverkossa oikosulkuvirran huippuarvo on noin kaksinkertainen alkuoikosulkuvirtaan nähden.

Taulukko 7. Pienjänniteverkon oikosulkuvirran huippuarvon suhde oikosulkuvirran tehollisarvoon (16. s.24.)

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

Pienjännitekeskusten Standardi SFS-EN 61439-1:ssa ei käytetä sysäyskerrointa vaan oikosulkuvirran huippuarvon määrittelemiseksi kerrotaan oikosulkuvirran tehollisarvo kertoimella n . Kertoimen n ja vastaavat tehokertoimen arvot on annettu taulukossa 8.

Taulukko 8. Kertoimen n -arvot (17. s.164.)

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

^a 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.

Mikäli oikosulkupiirissä on useita oikosulkuvirtaa syöttäviä lähteitä, jotka eivät ole riippuvaisia toisistaan saadaan vikakohdan kokonaisuikosulkuvirran huippuarvo eri lähteiden oikosulkuvirran huippuarvojen summana yhtälöllä 9:

$$I_p = I_{p1} + I_{p2} + I_{p3} + \dots + I_{pn} \quad (9)$$

jossa I_p on kokonaisuikosulkuvirran huippuarvo vikakohdassa
 I_{pn} on ovat eri lähteiden aiheuttamat oikosulkuvirran huippuarvot

Laitteiden ja asennuksien on kestävä oikosulkuvirran huippuarvon aiheuttamat mekaaniset rasitukset (kaava 10), jolloin niiden mitoituskestovirran huippuarvo I_{pk} on oltava suurempi tai yhtä suuri kuin suurin mahdollinen oikosulkuvirran huippuarvo I_p (19, s. 11.)

$$I_{pk} \geq I_p \quad (10)$$

Kyseisen epäyhtälön täytyy olla voimassa.

Terminen oikosulkuvirta I_{th}

Sähköverkon komponenttien tulee kestää oikosulun termiset vaikutukset. Komponenttien lyhytaikaisen mitoituskestovirta I_{cw} mitoitetaan oikosulkuvirran aiheuttaman lämpenemän perusteella. Terminen oikosulkuvirran I_{th} kestoaika ilmoitetaan yleensä 1 s:n pituiselle jaksolle, mutta on huomattava, että käytössä on muitakin arvoja.

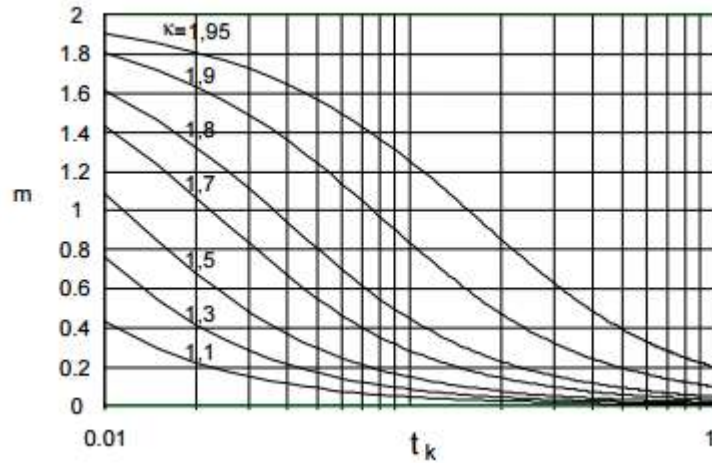
Terminen oikosulkuvirta I_{th} lasketaan alkuoikosulkuvirran I_k'' arvosta vaimenevan vaihtovirtakomponentin, vaimenevan tasavirtakomponentin sekä oikosulun keston avulla. (17, s.65.)

Terminen oikosulkuvirta I_{th} lasketaan yhtälöstä 11 (17.):

$$I_{th} = I_k'' \sqrt{(m+n)t_k} \quad (11)$$

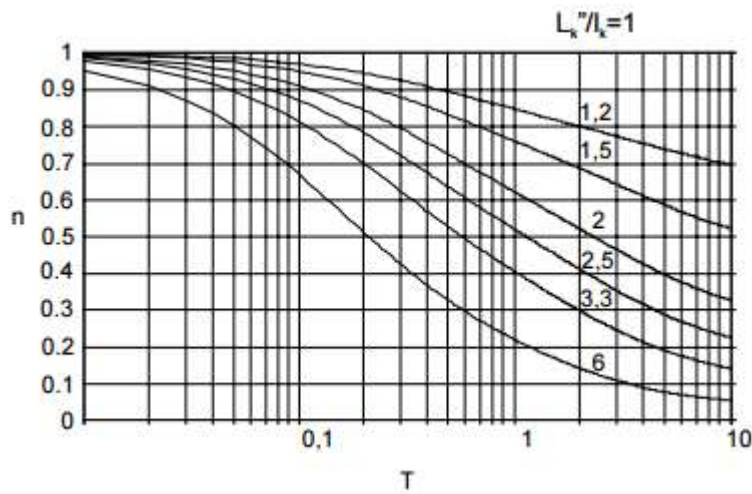
m on tasavirtatekijä
n on vaihtovirtatekijä
 t_k on oikosulun kestoaika

Tasavirtatekijän m arvo riippuu oikosulkuvirran huippuarvon sysäyskertoimesta κ ja oikosulun t_k kestoajasta (kuva 8). Tasavirtatekijällä m otetaan huomioon tasakomponentin vaimeneminen. (6, s.204.)



Kuva 8. Tasavirtatekijän m riippuvuus oikosulkuvirran huippuarvon sysäyskertoimesta ja oikosulun kestoajasta t_k (6. s. 205).

Vaihtovirtatekijä n määritellään kuvasta 9 alkuoikosulkuvirran I_k'' ja pysyvän oikosulkuvirran I_k suhteesta sekä oikosulun kestoajasta t_k . Vaihtovirtatekijällä otetaan huomioon vaihtovirtakomponentin vaimeneminen. (6, s.205.)



Kuva 9. Vaihtovirtatekijän n riippuvuus oikosulkuvirtojen I_k''/I_k suhteesta ja oikosulun kestoajasta t_k (6. s. 205).

Pienjänniteverkon oikosulkuvirtalaskelmissa (kuva 9) voidaan olettaa vaihtovirtatekijä n ja tasavirtatekijän m summan olevan 1, jos oikosulun kesto aika on 0,5 s tai enemmän, jolloin kaava 12 sievenee muotoon (17, s.67.):

$$I_{th} = I_k'' \sqrt{t_k} \quad (12)$$

Oikosulkuvirta voidaan laskea pidemmälle ajalle, jos se on mitattu hyvin lyhyellä ajalla ja joule-integraali I^2t pysyy vakiona. Laskennan helpottamiseksi voidaan käyttää seuraavaa kaavaa (kaava 13) alle 3 s:n ajoilla (17, s.65.):

$$I_{1s}^2 = I_k'^2 t \quad (13)$$

Laitteiden ja asennusten on kestettävä oikosulkuvirran termiset vaikutukset, jolloin niiden lyhytaikaisen mitoituskestovirtan I_{cw} on oltava suurempi tai yhtä suuri kuin laskettu termien oikosulkuvirta, jolloin epäyhtälön 14 on oltava voimassa (19, s.12.):

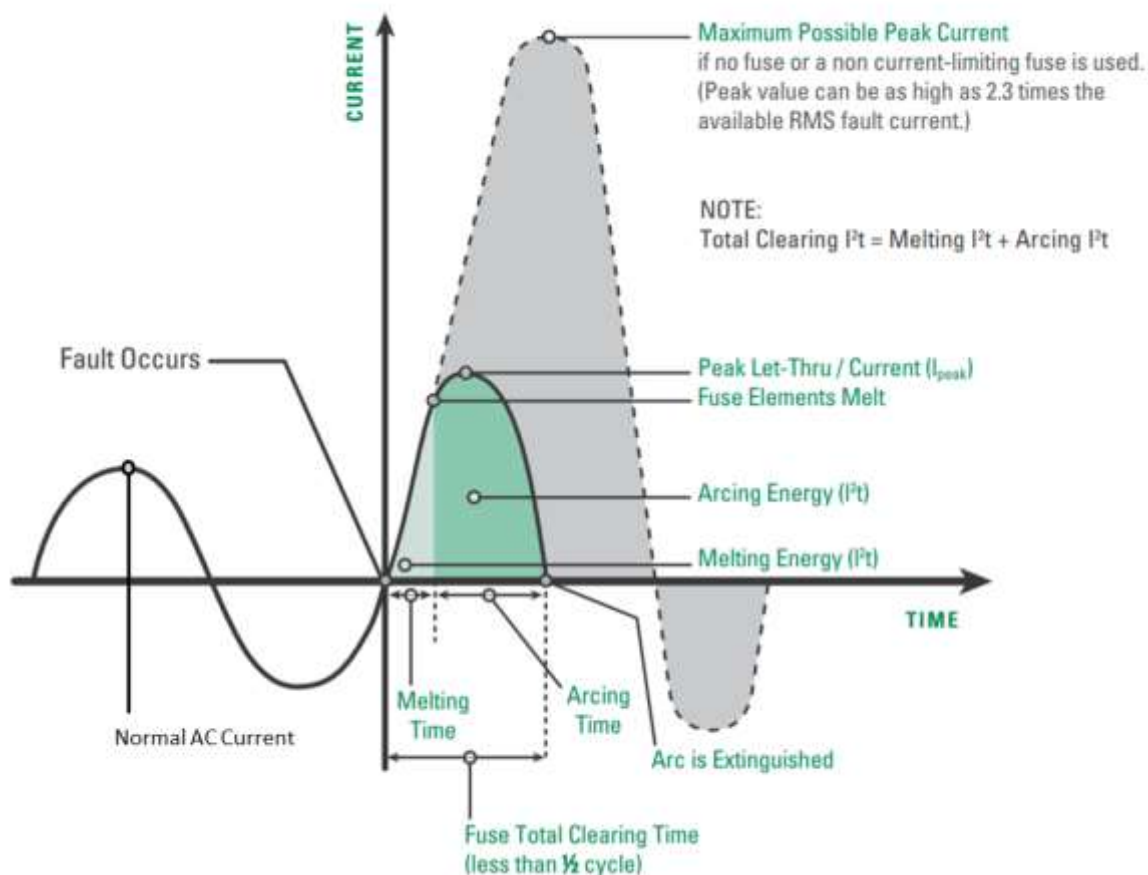
$$I_{cw} = I_{th} \sqrt{\frac{t_k}{t_{kr}}} \quad (14)$$

I_{cw} on lyhytaikainen mitoituskestovirta.
 t_k on tätä vastaava nimellinen kesto aika (yleensä 1 s).

8 Oikosulkuvirran rajoittaminen

Oikosulkuvirran rajoitus tarkoittaa, että suojalaitte toimii niin nopeasti, että se "leikkaa" sekä virran huippuarvoa että läpimenoenergiaa. Tämä mahdollistaa sen, että virtaa rajoittavan suojalaitteen jälkeen voidaan valita komponentit tai keskuksat rajoittamattomasti oikosulkuvirtaa pienemmän oikosulkukestoisuuden mukaan. Rajoittamattomien oikosulkuvirtojen käyttö komponenttien ja keskuksien mitoituserusteena johtaa turhaan ylimitoitamiseen, sekä kustannusten nousuun.

Kun käytetään virtaa rajoittavia suojalaitteita, on laskettava oikosulkuvirta siten, ettei näitä suojalaitteita olisi (kuva 10). Tämän jälkeen oikosulkuvirtaa rajoittavaa vaikutusta tarkastellaan suojalaitteiden ominaiskäyrien, valmistajan antamien tietojen tai laskentaohjelmien avulla. Suojalaitteen virranrajoitus vaikuttaa vasta, kun oikosulkuvirta on suojalaitteen virranrajoitusalueella. Virranrajoitusominaisuudet ovat aina valmistajakohtaisia.

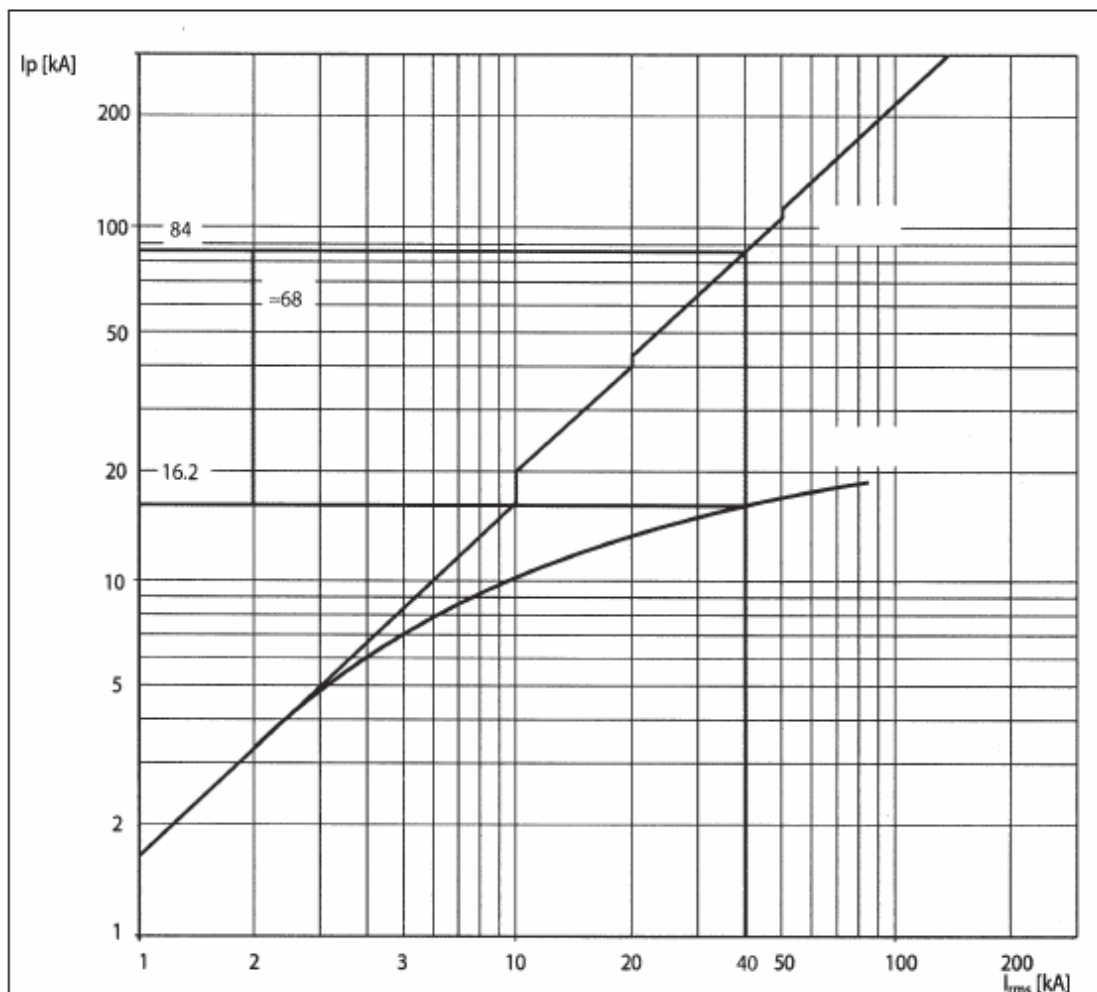


Kuva 10. Virranrajoitus (20. s.4).

8.2 Katkaisijan virran- ja energianrajoitus

Katkaisijoiden virranrajoitusalue on yleensä noin 10 tai 15 kertaa suojaeleen välittömän katkaisun asettelu arvo I_i . Oikosulkuvirran noustessa virranrajoitusalueelle, katkaisija katkaisee virran alle 10 ms:ssa.

Suurilla oikosulkuvirroilla sulakkeen virranrajoitus on tehokkaampi kuin katkaisijoilla 500 ja 690 V:n käyttöjännitteillä. Energianrajoituksessa katkaisijan ja sulakkeen nimellisvirran ollessa sama, katkaisija päästää energiaa lävitseen enemmän kuin sulake. Katkaisijan jälkeiset suojat on aina mitoitettava siten, että ne kestävät katkaisijan läpi päästämän energiamäärän. (15, s.28.)

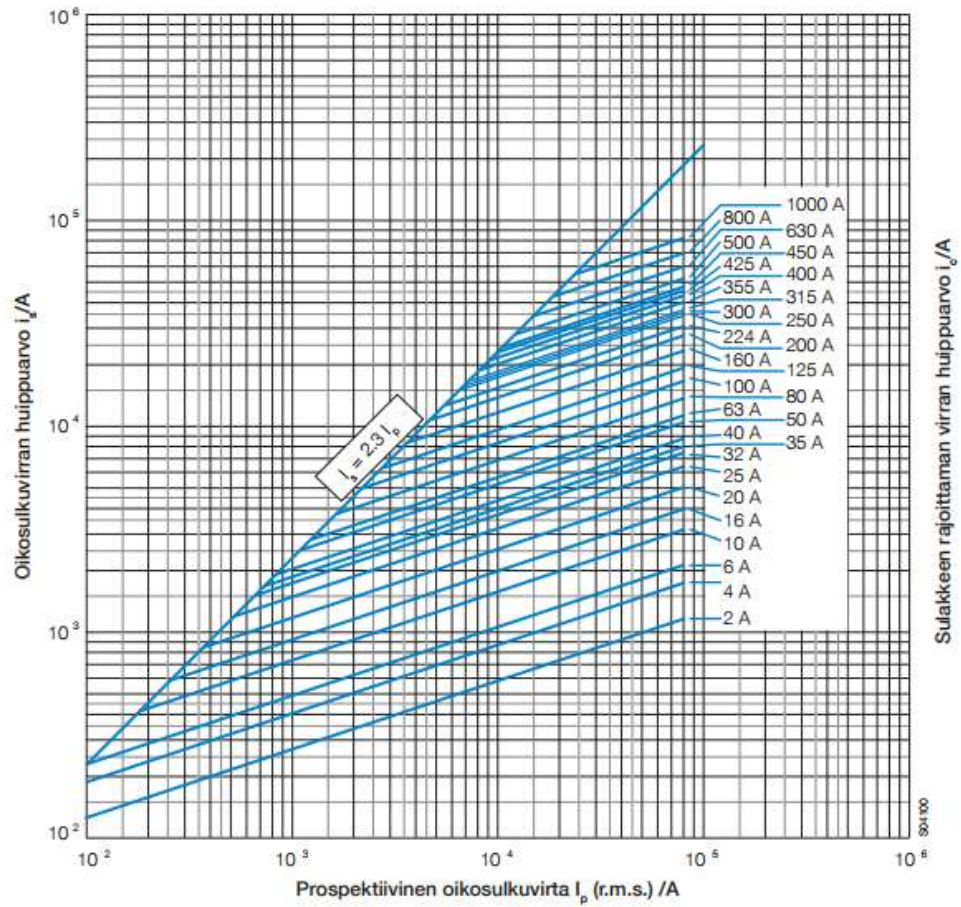


Kuva 11. Katkaisijan virranrajoituskäyrä (13. s. 12).

8.3 Sulakkeiden virran- ja energianrajoitus

Sulakkeilla oleva erinomainen virranrajoituskyky perustuu sulakkeen sisällä syntyvään valokaariresistanssin nopeaan kasvuun. Virranrajoituskäyristä voidaan lukea suurin virtahuippu, jonka sulake päästää läpi tietyllä oikosulkuvirran arvolla.

Esimerkiksi MagiCAD:illä on laskettu alakeskuksen kolmivaiheiseksi oikosulkuvirraksi 15 kA. Alakeskuksen syöttö on suojattu pääkeskuksessa 100 A:n gG-sulakkeella. Sulakkeen rajoittama virran huippuarvo sulakevalmistajan antaman käyrän (kuva 12) mukaan noin 9 kA, jonka perusteella määräytyy alakeskuksen mitoitusvirran huippuarvo I_{pk} .



Kuva 12.OFAA_GG Kahvasulakkeiden gG oikosulunrajoitus (21. s.33).

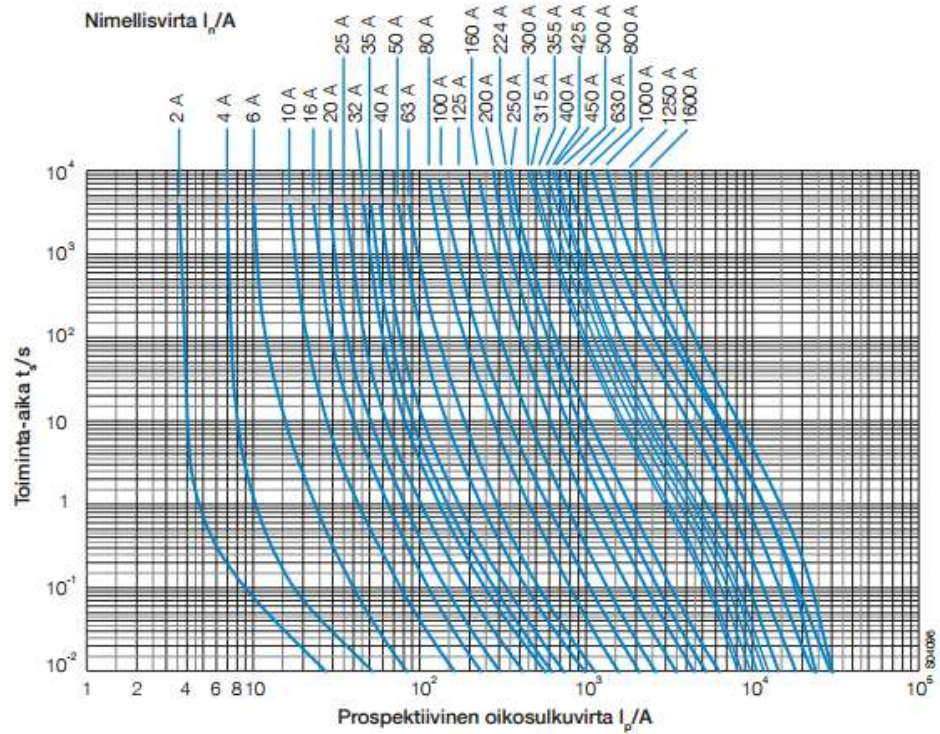
Kuvan 13 toiminta-aikakäyrästä nähdään, että 100 A:n sulake toimii alle 0,01 s:ssa ja siitä voidaan kaavan 15 mukaan laskea alakeskuksen lyhytaikaisen mitoituskestovirta:

$$I_{1s}^2 1s = I_k'^2 t_k \quad (15)$$

$$I_{1s}^2 1s = I_k'^2 * 0,01s$$

$$I_{1s} = 15 \text{ kA} * \sqrt{0,01s}$$

$$I_{1s} = 1,5 \text{ kA}$$



Kuva 13. OFAA_GG kahvasulakkeiden toiminta-ajat. (21. s.26).

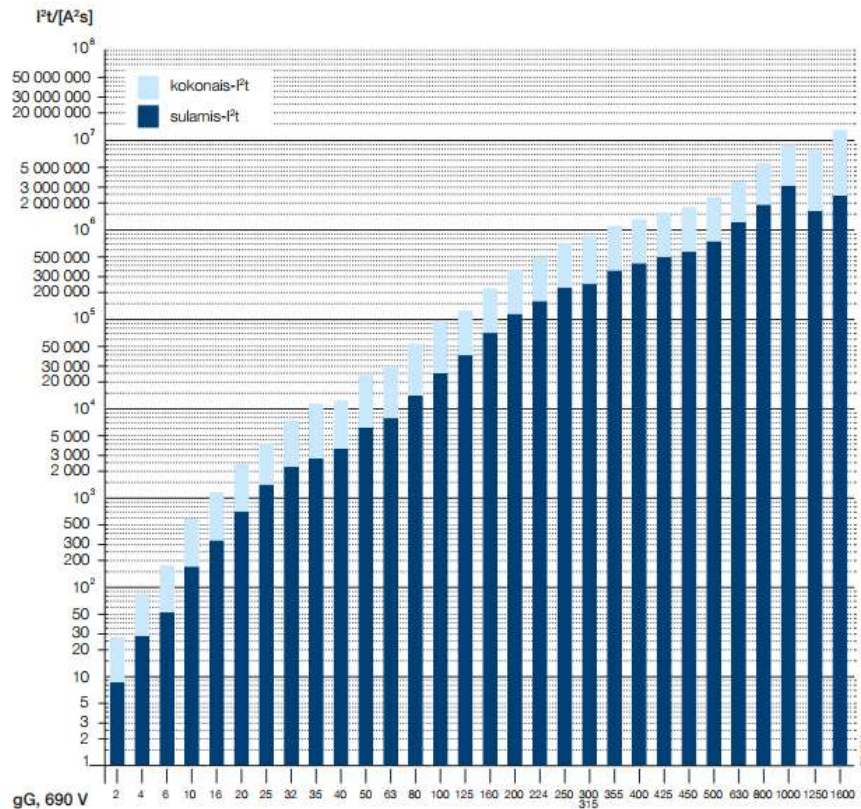
Kuvasta 14 taas nähdään, että 100 A:n OFAA -sulakkeella I^2t -arvo 0,01 s:n ajalla on $1 \times 10^5 A^2s$. Tästä saadaan:

$$I_{1s}^2 * t_k = 1 \times 10^5 A^2s \quad (16)$$

$$I_{1s}^2 = 1 \times 10^5 A^2s$$

$$I_{1s} = \sqrt{1 \times 10^5 A^2s}$$

$$I_{1s} = 316 A$$



Kuva 14. I^2t - kokonaisenergia (21. s.40).

Saatu sulakkeen I^2t -arvoon perustuvaa 1 s:n 0,316 kA:n arvoa voidaan pitää ehdottomana oikosulkuvirran minimiarvona (kuva 14). Sulakkeen katkaisuaajasta saatua 1,5 kA:n arvoa voidaan pitää oikosulkuvirran maksimiarvona, jonka perusteella määräytyy alakeskuksen lyhytaikaisen mitoituskestovirta I_{cw} .

9 MagiCAD Electrical verkonlaskenta

Tämän insinööriyön oikosulkuvirtojen tulosten laskentoja varten on käytetty MagiCAD Electrical- ohjelmiston verkonlaskentaominaisuutta. MagiCAD Electrical on CAD-ohjelmistoihin erikoistuneen suomalaisyrityksen Progman Oy:n tekemä laskentaominaisuus. Ohjelmistoa käytetään pohjoismaissa sekä Venäjällä ja Kiinassa rakennusteollisuuden tarpeisiin. MagiCAD:lla on yli 70:ssa maassa käytössä yli 20 000 lisenssiä ja ensimmäinen MagiCAD-versio julkaistiin vuonna 1988. MagiCadilla on saatavilla lisenssejä rakennusteollisuuden eri tarpeisiin, kuten LVI-suunnitteluun ja

sähkösuunnitteluun. Ohjelmisto on luotettava, sillä se sisältää tarkat mitat ja laitevalmistajien vahvistamat tekniset tiedot laskentaa varten (2.)

MagiCAD Electrical on BIM-ohjelmisto, joka on tarkoitettu data-,tele-,ja sähköjärjestelmien piirtoon ja suunnitteluun. Ohjelma toimii Autoeskin AutoCAD-ympäristössä. Ohjelmalla voi mm. lukea ja tuottaa DWG-, DXF-, ja PDF- tiedostoja ja se on IFC (Industry Foundation Classes) 2 x 3 sertifioitu. Sertifikaatilla tarkoitetaan sitä, että tietoa voidaan siirtää tietokonejärjestelmästä toiseen niin, että sillä voi siirtää parametrejä ja 3D-geometriaa, mutta ei esimerkiksi piirustusmuotoista tietoa. (2.)

Insinööriyössä laskentaan käytetty MagiCAD Electrical-ohjelmistoversio on 2016.11. Insinööriyössä käytetään MagiCADin oikosulkulaskenta-työkalua. Insinööriyössä verrataan olemassaolevaa Excel-taulukkoa ja päivitetään sitä MagiCAD:sta saatujen tulosten perusteella vastaamaan rakennuskohteen oikosulkulaskentaa. Insinööriyö antaa siis vastauksen, millaisia raportteja pystyy MagiCAD-ohjelmistolla tuottamaan. (2.)

9.1 Oikosulkuvirtojen laskenta MagiCADillä

MagiCAD laskee oikosulkuvirrat käyttäen Theveninin oikosulkuvirtojen laskentamenetelmää, joka on määritelty standardissa IEC 60909. Laskenta ei kuitenkaan noudata kaikkia standardin IEC 60909 osia tarkasti, vaan yksinkertaistaa laskentamenetelmää hieman. Esimerkiksi MagiCAD ei huomioi verkon moottoreita kolmivaiheissa oikosulkulaskelmissa. (22.)

Oikosulkulaskentatoiminto laskee suurimmat kolmivaiheiset oikosulkuvirrat, sekä pienimmät yksivaiheiset koko verkossa. Laskiessa kolmivaiheisia oikosulkuvirtoja MagiCAD:in oikosulkulaskentatyökalu antaa varoituksen aina, kun suojalaitteen oikosulkukestoisuus ylittyy. MagiCAD antaa varoituksen myös siitä, jos pienimmät yksivaiheiset oikosulkuvirrat eivät ylitä valittujen suojalaitteiden laukaisuvirtoja ja laukaisuaikoja. MagiCAD:n oikosulkuvirtalaskennassa verkon ensimmäiselle laskentapisteelle, esimerkiksi pääkeskukselle, pitää olla määritelty kolmivaiheinen alkuoikosulkuvirta, oikosulkuvirran huippuarvo sekä yksivaiheinen oikosulkuvirta. Tämä tarkoittaa sitä, että kohteissa, joissa kiinteistö liittyy oman muuntajan kautta keskijänniteverkkoon, joutuu joko käsinlaskennalla tai muulla ohjelmistolla selvittämään ensimmäisen laskentapisteen arvot. Oikosuluvirtojen varsinainen laskenta esitetään

insinööriyön tuloksena eli tilaajayrityksen ohjeessa miten laskea oikosulkuvirrat MagiCAD:llä. (22.)

10 Vertailuanalyysi

Oikosulkuvirtojen laskemisen tulosten saamiseksi on laskennoissa käytetty MagiCAD- ja FebDok-laskentaohjelmaa sekä olemassaolevaa Excel-oikosulkulaskelmataulukkoa. Laskennassa on myös käytetty ABB:n e-Design Curves- ohjelmistoa, jolla on määritelty sulakkeiden rajoittamat arvot laskelmiin.

MagiCAD:llä laskeminen oli nopeaa, koska MagiCAD:llä oikosulkulaskentatoiminto toimii samassa ohjelmassa muun suunnittelun kanssa, jolloin kaapelipituudet saadaan valmiina kyseisestä suunnitteluprojektista. Vertailuohjelmistona käytettiin FebDok v. 6.0.36-ohjelmistoa. FebDokilla voidaan määrittää laajan suojalaittekirjastonsa avulla tarkat suojalaitteet sekä niiden soveltuvuudet. FebDok myös varoittaa tarkemmin virhetilanteista ja antaa käyttäjälle tarkemman selvityksen (esimerkiksi, jos poiskytkennän vaatimukset eivät täyty).

MagiCAD:llä on kannattavampaa laskea kaikki kohteet, jossa ei ole varavoima- ja/tai UPS-järjestelmiä nopeutensa ansiosta. FebDok taas mahdollistaa UPS- ja varavoimajärjestelmien laskelman sekä määrittämisensä. MagiCAD on siis nopeampi ja käytännöllisempi ohjelmisto, mutta haastaviin kohteisiin tämän insinööriyön tulosten perusteella soveltuu paremmin FebDok.

Laskentaohjelmistoista saatuja tuloksia on vertailu olemassaolevan Excel oikosulkulaskelman taulukkoon (Liite 1). Tuloksista voidaan huomata, että erot laskentaohjelmien ja Excelin välillä ovat minimaalisia ja ovat virhemarginaalin sisällä. Ainoastaan Excelin sysäyoikosulkukerroin on verrattuna laskentaohjelmiin suurempi.

Tuloksista voidaan päätellä, että oikosulkuvirtoja laskettaessa voidaan käyttää kaikkia kolmea laskentamenetelmää (MagiCAD, FebDok, valmiit Excel-laskentapohjat) ja silti saada päteviä tuloksia. Tulokset myös osoittavat, että ei ole yhtä ainoa tapaa tehdä oikosulkuvirtojen laskentaa. Insinööriyön tilaajayrityksen näkökulmasta tulokset vahvistavat ajatusta siitä, että MagiCAD:ia kannattaa käyttää jatkossakin

oikosulkuvirtojen laskennassa, sillä ohjelmisto on yrityksellä jo käytössä ja se on tulosten pohjalta hyväksi todettu.

11 Yhteenveto

Insinööriyössä tutkittiin erilaisia tapoja laskea oikosulkuvirtoja, laskettiin oikosulkuvirratt MagiCAD:llä, FEBDOK:lla ja Excel-laskelman välillä, sekä vertailtiin laskennoista saatuja tuloksia. Työn tavoitteena oli luoda pohja, josta voisi myöhemmin tehdä tilaajayritykselle sisäisen ohjeistuksen oikosulkuvirtojen laskentaan. Siksi insinööriyössä esitetyt asiat ovat paikoin laajoja, mutta ohjetta varten tarvittiin hyvä ja laaja tietopohja.

Työssä käsiteltiin erilaisten oikosulkuvirtojen laskemista käyttäen apuna erilaisia kaavoja ja lähteitä ja tutkittiin syitä miksi oikosulkuvirtoja ylipäättänsä tulisi laskea ja miten. Tärkein havainto työtä tehdessä oli, että suomenkielistä materiaalia oikosulkuvirroista oli vaikeaa löytää ja jos tietoa löytyi, se oli vanhaa. Muita havaintoja oli, että työn aihe oli erittäin laaja ja haastava ja siitä olisi voinut kirjoittaa loputtomasti. Haasteita oli siis myös työn rajaamisessa.

Työn tuloksena on tilaajayrityksen käyttöön tuleva sisäinen ohje oikosulkuvirtojen laskentaan MagiCAD:llä. Koska kyseessä on sisäinen ohje, kaikkia tuloksia tai kaikkia laskentoja ei esitetä insinööriyössä, vaan ne sisältyvät ohjeeseen. Tämä asetti joitakin haasteita ja siksi työstä tuli teoriapohjainen.

Työn oleellinen osa oli myös päivittää aiheeseen liittyvää termistöä, sillä lähteet olivat usein ristiriidassa siinä, mitä termistöllä tarkoitettiin (standardit ovat päivittyneet ja termistö niiden mukana). Koska aihe oli niin laaja, joitakin asioita karsittiin pois. Mikäli aiheesta on kiinnostusta, tutkimista voisi jatkaa YAMK:n tai DI-opintojen puolella. Aiheen laajuus oli AMK-tutkintoon verrattaen suuri.

Lähteet

- 1 SFS-käsikirja 600-1. 2012. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 2 MagiCAD Electrical. 2017. Verkkoaineisto. Progman Oy. <<https://www.magicad.com/fi/lvis-sovellukset/magicad-electrical/#magicad-for-revit-mep>>. Luettu 12.9.2017.
- 3 Yritys. 2017. Verkkoaineisto. Rejlers Finland Oy. <<https://www.rejlers.fi/Yritys/>>. Luettu 12.9.2017.
- 4 SFS-käsikirja 640. 2016. Sähkökeskukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 5 de Metz-Noblat, Benoît; Dumas, Frédéric; Poulain, Christophe. 2005. Cahier technique no. 158. Calculation of short-circuit currents. Verkkoaineisto. Schneider Electric. <<https://www.schneider-electric.com/hk/en/download/document/ECT158/>>. Luettu 10.10.2017.
- 6 Suomalaiset ABB Yhtiöt. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita. Vaasa: ABB.
- 7 Sähkötekniikan peruskäsitteet. 2013. Verkkoaineisto. Helsinki: SESKO. <http://www.sesko.fi/files/80/osa_2_sahkovirta_-_kalvot.pdf>. Luettu 11.11.2017.
- 8 Ohjeita kiinteistöjen enintään 1000 V johtojen mitoituksesta ja suojauksesta. 2012. ST 53.24. Espoo: Sähkötieto.
- 9 Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus. 2015. Espoo: Sähköinfo.
- 10 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 2015. D1-2012. Espoo: Sähköinfo.
- 11 Tietoa sähköverkkoon liittymisestä. 2014. Verkkoaineisto. Tampere: Elenia Oy. <<https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Yleisohje%20s%C3%A4hk%C3%B6urakoitsijalle.pdf>>. Luettu 14.10.2017.

- 12 SFS 6000 mukainen mittausten ja laskelmien vaatimustaulukot. 2008. Verkkoaineisto. Suunnittelutoimisto Hakala Oy. <<http://nssoy.fi/uploads/nss/Vaaditut%20oikosulkuvirrat.pdf>>. Luettu 12.10.2017.
- 13 Harsia, Pirkko. 2008. Sulakkeet. Verkkoaineisto. Ensto. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1210594480264/1210594509783/1210594789763.html>>. Luettu 3.9.2017.
- 14 Sulakkeeton suojaus. 2015. ST 53.45. Espoo: Sähkötieto.
- 15 Saarela, Joonas. 2011. Pienjännitekatkaisijoiden säätö. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus- tietokanta.
- 16 Huotari, Kari & Partanen Jarno. 1998. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Doria- tietokanta.
- 17 Short-circuit currents in three-phase a.c. systems. 2016. Part 0: Calculation of currents. IEC 60909-0:2016. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 18 Salminen, Petri. 2009. Teollisuussähköverkon mallintaminen ja vikavirtatarkastelut. Diplomityö. Tampereen Yliopisto. TUT Dpub- tietokanta.
- 19 Hirvonen, Rauno. 2010. Sähköaseman ensiöpuolen suunnittelussa käytettävien laskentamenetelmien kehittäminen Diplomityö. Aalto Yliopisto. Aalto- doc- tietokanta.
- 20 Using current-limiting fuses to increase short circuit current rating. 2010. Verkkoaineisto. Littlefuse. <http://m.littelfuse.com/~media/electrical/white-papers/littelfuse_industrial_whitepaper_sccr.pdf>. Luettu 21.10.2017.
- 21 Pienjänniteohjeet. 2017. Verkkoaineisto. OF1FI 11-09. Kahvasulakkeet, 2...1600 A gG ja aM- tyypit. ABB. <<https://library.e.abb.com/public/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/1SCC317002C1801.pdf>>. Luettu 23.10.2017.

22 MagicCAD 2016. Electrical short circuit calculations. 2017. Verkkoaineisto.

Progman Oy.

<http://help.magicad.com/mcaca/2016.11/EN/Electrical/short_circuit_calculations.html>.Luettu 28.10.2017.

Oikosulkulaskelmien vertailu

		Ik''/kA		
		Excel	FebDok	MagiCAD
PK1	1600 A	30,81	27,79	30,80
JK11	125 A	6,57	7,11	7,01
JK12	125 A	10,81	10,84	11,17
JK13	630 A	22,70	20,41	18,68
JK15	125 A	16,17	16,17	16,72
JK16	125 A	7,61	8,82	8,05
JK21	80 A	6,27	6,78	6,66
JK22	80 A	9,19	9,56	9,64
JK23	125 A	5,85	6,22	6,10
JK25	80 A	9,92	10,67	10,43
JK26	80 A	3,76	4,21	4,01
JK31	80 A	6,43	6,94	6,70
JK32	80 A	8,06	8,51	8,48
JK33	125 A	5,65	6,15	6,09
JK35	125 A	14,42	14,64	15,01
JK41	80 A	5,84	5,83	6,16
JK42	80 A	6,96	6,94	6,81
JK43	125 A	5,45	5,95	5,88
JK45	125 A	13,32	13,65	13,91
JK51	80 A	5,34	5,83	5,68
JK52	80 A	6,18	6,64	6,53
JK53	125 A	5,27	5,53	5,64
JK55	125 A	11,78	12,23	12,37
JK61	80 A	5,02	5,50	5,27
JK62	80 A	6,12	6,62	6,48
JK63	125 A	5,05	5,53	5,42
JK64	125 A	8,69	9,57	9,30
JK77	125 A	6,31	6,70	6,63
NK.2	125 A	21,61	20,35	20,06
NK.1	400 A	16,60	15,66	15,22
JK24	250 A	15,53	14,61	14,37
JK75U	32 A	1,38	1,57	1,42
JK76U	32 A	1,97	2,24	1,98
JK75	63 A	3,35	3,47	3,16
JK76	63 A	4,20	4,59	4,14

Ip/kA				
		Excel	FebDok	MagiCAD
PK1	1600 A	65,35	60,30	65,40
JK11	125 A	13,01	10,28	10,12
JK12	125 A	18,34	16,17	16,39
JK13	630 A	46,22	37,62	34,65
JK15	125 A	32,02	24,39	24,80
JK16	125 A	15,06	12,77	11,63
JK21	80 A	10,65	9,80	9,61
JK22	80 A	15,60	13,97	13,98
JK23	125 A	9,93	8,99	8,81
JK25	80 A	19,65	15,44	15,07
JK26	80 A	6,37	6,07	5,78
JK31	80 A	10,92	10,03	9,68
JK32	80 A	13,68	12,37	12,27
JK33	125 A	9,58	8,89	8,79
JK35	125 A	24,47	21,78	22,04
JK41	80 A	9,91	8,42	8,89
JK42	80 A	11,82	10,03	9,82
JK43	125 A	9,26	8,60	8,48
JK45	125 A	26,36	20,16	20,33
JK51	80 A	9,06	8,42	8,19
JK52	80 A	10,49	9,60	9,43
JK53	125 A	8,95	7,98	8,13
JK55	125 A	23,33	17,92	17,99
JK61	80 A	8,51	7,93	7,61
JK62	80 A	10,39	9,57	9,36
JK63	125 A	8,57	7,98	7,82
JK64	125 A	14,75	13,89	13,45
JK77	125 A	10,71	9,72	9,58
NK.2	125 A	45,85	33,16	31,63
NK.1	400 A	32,86	25,30	23,60
JK24	250 A	26,35	23,15	22,08
JK75U	32 A	2,34	2,27	1,42
JK76U	32 A	3,35	3,23	2,85
JK75	63 A	5,34	5,01	4,56
JK76	63 A	7,13	6,63	5,97

Suojalaitteen rajoittama Ip/kA				
		Excel	FebDok	MagiCAD
PK1	1600 A			
JK11	125 A	8,09	8,29	8,26
JK12	125 A	9,54	9,55	9,67
JK13	630 A	36,1	34,81	33,21
JK15	125 A	10,90	10,90	11,08
JK16	125 A	8,48	8,91	8,65
JK21	80 A	5,67	5,81	5,78
JK22	80 A	6,43	6,52	6,53
JK23	125 A	7,79	7,92	7,89
JK25	80 A	6,70	6,76	6,72
JK26	80 A	4,80	4,95	4,87
JK31	80 A	5,70	5,84	5,79
JK32	80 A	6,16	6,26	6,26
JK33	125 A	7,70	6,12	7,88
JK35	125 A	10,50	10,50	10,70
JK41	80 A	5,51	5,52	5,63
JK42	80 A	5,87	5,85	5,82
JK43	125 A	7,84	7,82	7,79
JK45	125 A	10,20	10,30	10,44
JK51	80 A	5,30	5,90	5,48
JK52	80 A	5,64	5,77	5,74
JK53	125 A	7,75	7,63	7,67
JK55	125 A	9,82	9,94	10,03
JK61	80 A	5,25	5,53	5,35
JK62	80 A	5,61	5,76	5,73
JK63	125 A	7,40	7,63	7,57
JK64	125 A	8,50	9,16	9,07
JK77	125 A	7,97	8,13	8,10
NK.2	125 A	12,00	11,70	11,80
NK.1	400 A	24,40	23,90	23,70
JK24	250 A	20,10	19,70	19,40
JK75U	32 A	1,92	2,00	1,92
JK76U	32 A	2,16	2,23	2,15
JK75	63 A	3,60	3,75	3,63
JK76	63 A	3,99	4,11	3,97

Ik1v/kA				
		Excel	FebDok	MagiCAD
PK1	1600 A	30,03	24,60	17,00
JK11	125 A	1,98	1,98	1,84
JK12	125 A	4,90	3,58	3,19
JK13	630 A	13,50	11,73	8,34
JK15	125 A	6,00	5,87	4,82
JK16	125 A	2,33	2,55	2,13
JK21	80 A	2,67	2,30	2,07
JK22	80 A	4,42	3,40	2,99
JK23	125 A	1,75	1,71	1,60
JK25	80 A	3,88	3,99	3,35
JK26	80 A	1,36	1,42	1,30
JK31	80 A	2,75	2,36	2,09
JK32	80 A	3,68	2,97	2,63
JK33	125 A	1,68	1,69	1,59
JK35	125 A	5,10	5,01	4,22
JK41	80 A	2,44	1,96	1,92
JK42	80 A	3,04	2,36	2,12
JK43	125 A	1,62	1,62	1,54
JK45	125 A	4,58	4,51	3,86
JK51	80 A	2,19	1,96	1,78
JK52	80 A	2,74	2,21	2,00
JK53	125 A	1,56	1,50	1,47
JK55	125 A	3,91	3,87	3,37
JK61	80 A	2,04	1,84	1,65
JK62	80 A	2,59	2,24	2,02
JK63	125 A	1,49	1,50	1,42
JK64	125 A	2,71	2,82	2,47
JK77	125 A	2,22	1,92	1,77
NK.2	125 A	10,32	9,57	6,89
NK.1	400 A	7,37	6,61	4,57
JK24	250 A	6,64	5,79	4,21
JK75U	32 A	0,58	0,59	0,53
JK76U	32 A	0,84	0,84	0,73
JK75	63 A	0,98	0,81	0,82
JK76	63 A	1,37	1,24	1,07

Suurimmat sallitut ryhmäjohtopituudet

Suurimmat sallitut ryhmäjohtopituudet MMJ 3x1,5 S C10			
	Excel	FebDok	MagiCAD
JK75	65m	62m	61m
JK76	71m	66m	65m
JK75.2	72m	67m	66m
JK76.2	73m	69m	68m

Suurimmat sallitut ryhmäjohtopituudet MMJ 3x2,5 S C16			
	Excel	FebDok	MagiCAD
JK75U	61m	56m	55m
JK76U	69m	63m	61m
JK75	72m	68m	63m
JK76	73m	70m	67m