

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Tuomas Seppänen

OIKOSULKUVIRTOJEN LASKENTA JA SUOJUKSEN SELEKTIIVISYYS JOENSUUN  
VOIMALAITOSALUEELLA

Opinnäytetyö  
7. kesäkuuta 2017



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Kesäkuu 2017**  
**Sähkötekniikan koulutusohjelma**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
013 260 600

Tekijä(t)  
Tuomas Seppänen

Nimeke  
Oikosulkuvirtojen laskenta ja suojauksen selektiivisyys Joensuun voimalaitosalueella

Toimeksiantaja Fortum Oyj

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli uusia oikosulkuvirtalaskelmat Joensuussa Fortumin omistamilla voima- sekä lämpölaitoksilla. Kontionsuon voimalaitosalueella laskenta suoritettiin jakokeskustasolle asti ja lämpölaitoksilla pääkeskuksien tasolle. Laskelmat uusittiin, koska sähköverkkoihin on tehty huomattavia muutoksia edellisten laskelmien jälkeen ja ne haluttiin päivittää nykyaikaan. Työhön sisällytettiin myös sähköverkon suojauksen selektiivisen toiminnan tutkimusta Kontionsuon voimalaitosalueella. Oikosulkuvirtalaskennat suoritettiin käyttämällä ABB DOC-laskentaohjelmaa. Työ aloitettiin hankkimalla kaikki tarpeelliset tiedot jokaisen kohteen sähköverkosta. Laskenta suoritettiin sähköverkkojen normaalissa kytkentätilanteessa, jolloin laitokset ovat käynnissä. Laskennan tuloksia vertailtiin sähköverkon komponenttien oikosulkuvirtakestoisuuksiin ja tutkittiin niiden kestävyksiä.

Oikosulkuvirtalaskelmia eri verkoissa ja tilanteissa laskettiin yhteensä 11 eri kombinaatiossa. Sähköverkon tietojen kerääminen oli työlästä ja aikaa vievää kohteiden määrästä johtuen. Oikosulkuvirtalaskelmien avulla etsittiin mahdollisia ongelmia sähköverkosta, mutta niitä ei löytynyt. Laskelmien tuloksia voidaan käyttää hyödyksi sähköverkon kehitystyössä tulevaisuudessa.

Kieli  
suomi

Sivuja 46  
Liitteet 1  
Liitesivumäärä 1

Asiasanat  
Oikosulkuvirrat, ABB DOC, selektiivisyys



**Karelia**  
AMMATTIKORKEAKOULU

**THESIS**  
**June 2017**  
**Degree Programme in Electrical Engineering**  
Tikkarinne 9  
FIN 80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. +358 13 260 600

Author(s)  
Tuomas Seppänen

Title  
Calculation of Short-Circuit Currents and Studying the Selectivity of Protection Circuits at Joensuu Power and Heat Facilities

Abstract

The subject of the thesis was to update the short-circuit current calculation at Joensuu area's heat and power plants. The calculations were made to the main switchboard level at heat facilities and to the main and distribution switchboard levels at Kontiosuo's plant area. Short-circuit calculations were updated because the electric grid at Kontiosuo has changed significantly after the last calculations and they needed to be updated. Calculations from heat only facilities were also outdated and were updated. Studying the selectivity of protection circuits at Kontiosuo's electric grid was also included in the thesis. Short-circuit currents were calculated by using the ABB DOC software.

The process began by collecting the needed information about all of the electric grids. Calculations were made by assuming that the electric grids were in normal operation mode and that the facilities were in use. The results of these calculations were then used to find any weak spots in the electric grid by comparing them to the electric grid components' short-circuit durability values. No problems in the electric grids were found.

The total amount of different short-circuit calculation situations were 11 due to different locations and combinations. Collecting the information was hard, extensive and time consuming. Also interpreting the results was demanding due to the big amount of information collected.

Language  
Finnish

Pages 46  
Appendices 1  
Pages of Appendices 1

Keywords  
short-circuit current, ABB DOC, selectivity

## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	7
2	Fortum Oyj .....	8
2.1	Maintpartner .....	8
2.2	Fortum Joensuussa .....	8
2.2.1	Sähköverkko .....	9
2.2.2	CHP .....	10
2.2.3	Biolämpölaite .....	10
2.2.4	Bioöljylaitos .....	10
2.2.5	PyroHob .....	11
2.2.6	Savukaasulauhdutin .....	11
2.2.7	Lämpölaitokset .....	11
3	Oikosulku .....	12
3.1	Oikosulun syyt ja seuraukset teollisuudessa .....	12
3.2	Oikosulkujen ehkäisy .....	13
3.3	Oikosulkusuojaus voimalaitoksissa .....	14
3.4	Suojalaitteet .....	15
3.4.1	Kahvasulake .....	15
3.4.2	Katkaisija .....	19
3.4.3	Is-rajoitin .....	21
3.5	Oikosulun valvonta .....	22
3.6	Oikosulkuvirran laskeminen .....	22
4	ABB DOC-laskentaohjelma .....	27
4.1	ABB DOC:n käyttöönotto .....	27
4.2	Uuden projektin luominen .....	27
5	Tulokset .....	29
6	Suojausten toiminnan varmistaminen .....	31
6.1	Sähkökeskusten oikosulkukestoisuus .....	31
6.2	Katkaisijoiden oikosulkukestoisuudet .....	36
6.3	Suojareleet .....	37
6.4	Releiden virtaportaat .....	39
6.5	Selektiivisyyden tutkiminen .....	40
6.5.1	BBA-keskuksen selektiivisyys .....	41
6.5.2	Lähdön 3 selektiivisyys .....	41
6.5.3	Lähdön 15 selektiivisyys .....	42
6.5.4	Bioöljypuolen selektiivisyys .....	42
7	Pohdinta .....	43

Liitteet

Liite 1

Sähköpääkaavio

## Alkusanat

Haluaisin kiittää erityisesti Mainpartner Oy:n Arsi Näkkiä ja Fortum Power and Heat Oy:n Ville Kylliäistä tämän opinnäytetyön suorittamisen mahdollistamisesta. Haluaisin myös kiittää Maintpartnerin Joensuun kunnossapidon henkilökuntaa avusta, jota sain opinnäytetyötä suorittaessani. Opinnäytetyön aihe oli tärkeä ja sen tulokset tulevat tarpeeseen sähköverkkoa suunniteltaessa ja turvallisen toiminnan takaamisessa.

Tuomas Seppänen

Joensuussa

23.5.2017

## Käytetyt merkinnät ja niiden selitykset

Tekniset lyhenteet:

A	Ampeeri
c	Jännitekerroin
I	Virta
$I_c$	Sulakkeen rajoittaman virtahuipun arvo
$I_N$	Nimellisvirta
$I_k''$	Alkuoikosulkuvirta
$I_{k1}''$	Maasulkuvirta
$I_{k2}''$	Kaksivaiheinen oikosulkuvirta
$I_{k3}''$	Kolmivaiheinen oikosulkuvirta
$I_{KV}$	Käynnistysvirta
$I_{LV}$	Laukaisuvirran kerroin
$i_s, i_p, i_{dyn}$	Dynaaminen oikosulkuvirta
$I_{th}$	Terminen oikosulkuvirta
$I>, I_S$	Selektiivinen oikosulkusuojaus
$I>>$	Oikosulun pikasulku
$I\vartheta$	Ylikuormitus
K	Sysäyskerroin
m	Tasavirtatekijä
n	Vaihtovirtatekijä
s	sekunti
$t_s, t$	toiminta-aika
$U_N$	Nimellisjännite
V	Voltti
$Z_k$	Impedanssi vikapaikasta katsottuna
$Z_0$	Oikosulkupiirin nollaimpedanssi
$Z_1$	Oikosulkupiirin myötäimpedanssi
$Z_2$	Oikosulkupiirin vastaimpedanssi

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli uusien oikosulkuvirtalaskenta Joensuussa Fortumin omistamaan voimalaitokseen Kontiosuon tehdasalueella sekä lämpölaitoksiin kaupunkialueella. Laskennan kohteina olevia sähköverkkoja alueella on yhteensä 11. Edellisen laskennan jälkeen erityisesti Kontiosuon voimalaitoksen sähköverkkoon on tehty huomattavia muutoksia ja lisäyksiä, minkä takia oikosulkuvirratt oli hyvä laskea uudelleen. Oikosulkuvirtojen laskennan lisäksi varmistettiin sulakkeiden ja muiden suojalaitteiden sekä rakenteiden kestävyys ja toimivuus oikosulkutilanteen sattuessa.

Laskenta suoritettiin käyttäen apuna ABB DOC-ohjelmistoa. Laskentaan ei sisällytetty termistä oikosulkuvirran kestoa, koska DOC:n nykyinen ohjelmistoversio ei tue tätä mahdollisuutta.

Opinnäytetyötä lähdettiin suorittamaan hankkimalla ensiksi kaikki tarvittavat tiedot voimalaitoksen sähköverkosta oikosulkuvirtalaskentaa varten. Näihin tietoihin kuuluvat mm: kaapelien pituudet ja tyypit, muuntajat, verkkoon suorakytketyt moottorit, kytkinlaitoksen komponenttien tiedot ja sähköverkon kytkentätilanne.

## **2 Fortum Oyj**

Fortum on johtava suomalainen puhtaan energian yhtiö, joka toimittaa asiakkailleen sähköä, lämpöä ja jäähdytystä. Suomen valtio omistaa Fortumista 50,76 % (2017) eli se on valtionyhtiö [18]. Fortumin 2016 tuottamasta energiasta 64 % oli päästötöntä vesi ja ydinvoiman ansiosta. Yhtiönä se haluaa edistää yhteiskunnan ja asiakaskunnan muutosta kohti puhtaampaa maailmaa ja olla uusiutuvan energian edelläkävijä. Fortumin tavoitteena vuodelle 2017 on kasvaa aurinko- ja tuulivoiman sektoreilla. [10.] Fortumilla on noin 8000 työntekijää Pohjoismaissa, Venäjällä, Puolassa, Baltian maissa sekä Intiassa. Vuonna 2016 Fortumin liikevaihto kokonaisuudessaan oli 3632 milj. euroa ja liikevoitto 644 milj. euroa. [10.]

### **2.1 Maintpartner**

Joensuun voimalaitoksen ja lämpölaitoksien kunnossapidosta sekä käyttötöistä vastaa Maintpartner. Maintpartner on suomalainen yritys, joka tarjoaa teollisuudelle ja julkiselle sektorille kunnossapito- ja käyttöpalveluita. Se on alansa yksi johtavista toimijoista Pohjois-Euroopassa. Maintpartnerin toiminta perustuu asiakkaan tuottavuuden parantamiseen turvallisella ja kestäväällä tavalla yrityksen omia vahvuuksia käyttäen. Maintpartnerilla työskentelee kokonaisuudessaan noin 1900 henkilöä, joista Suomessa olevien osuus on noin 1100 henkilöä. Suomen lisäksi Maintpartnerin päämarkkina-alueisiin kuuluvat myös Ruotsi, Puola ja Viro. Yrityksen liikevaihto vuonna 2016 oli noin 156 milj. euroa. [19.]

### **2.2 Fortum Joensuussa**

Fortum omistaa Joensuussa yhteensä 12 erillistä lämpölaitosta, jotka tuottavat pääasiassa kaukolämpöä Fortumin hallinnoimaan kaukolämpöverkkoon. Yksi voimalaitos tuottaa kaukolämmön ohessa sähköä. Kaukolämpöverkko on noin 220 km pitkä ja pitää sisällään 7700 kuutiometriä kaukolämpövettä. Kaukolämpöverkko on laajentunut viime vuosina uusien asuinalueiden rakentamisen myö-



tä, kun uudet kotitaloudet liittyvät kaukolämmön piiriin. Vuoden 2015 alussa kaukolämpöä käyttävien asukkaiden määrä Joensuussa oli noin 50 tuhatta. Fortum on investoinut Joensuun alueeseen viime vuosien aikana monen eri hankkeen kautta. Alla on kerrottu lyhyesti voimalaitoksien historiasta ja perustiedoista.

### 2.2.1 Sähköverkko

Joensuun Kontionsuon voimalaitosalueen sähköverkko on normaalissa käyttötilanteessaan puhtaasti säteittäinen. Säteittäisessä sähköverkossa yhdestä pisteestä voi lähteä monta eri haaraa sähköverkon eri osiin, mutta nämä haarat eivät yhdisty missään vaiheessa. Sähköverkossa on mahdollisuus kytkeä muutamia sähkökeskuksia rinnakkain esimerkiksi muuntajarikon vuoksi, jolloin rikki­näisen muuntajan syöttämä sähkökeskus ei jää sähköttömäksi ja voimalaitos voi jatkaa normaalia toimintaansa. Tällöinkin kytkentä säilyy säteittäisenä kytkentänä, olettaen, että rikki­näinen muuntaja erotetaan irti verkosta. [Liite 1].

Sähköverkko saa syöttönsä Carunan omistamalta 110 kV:n kytkinkentältä, jonka kautta syötetään 90 MVA:n päämuuntajaa sekä sähkökattilan ja bioöljyalueen 40 MVA:n muuntajaa. Molemmat muuntajat ovat jännitteiltään 110/10,5 kV. Generaattori on kytketty päämuuntajan 10,5 kV:n puolelle ja se syöttää energiaa myös laitoksen omakäyttömuuntajalle sähköverkon syöttämisen lisäksi. Generaattorin nimellinen sähköteho on 76,5 MVA. Omakäyttömuuntaja on jännitteeltään 10,5/6 kV ja teholtaan 10 MVA. Se saa sähkönsyöttönsä päämuuntajalta sekä generaattorilta. Omakäyttömuuntaja vastaa tehtaan 6 kV:n pääkeskuk­sen syötöstä, minkä kautta syötetään kaikkia muita isoimpia sähkökeskuksia voimalaitosalueella paitsi bioöljypuolta, jolla on oma muuntajansa. Sähkökattilan muuntaja BCT01 syöttää sähkökattilan keskusta BAH sekä bioöljypuolen sähköpääkeskusta 3BBA. [Liite 1].

Sähköverkossa on teholtaan suuria oikosulkumoottoreita. Osa moottoreista on suorakytkettyjä sähköverkkoon, eli ne pyörivät nimellisellä nopeudellaan jatkuvasti ollessaan käytössä. Tällainen on mm. syöttövesipumppua pyörittävä 1950

kW:n tehoinen moottori. Suorakytketyt moottorit suurentavat oikosulkuvirran alkuarvoa, jolloin sähkökeskusten rakenteisiin kohdistuvat dynaamiset rasitukset kasvavat [5, s. 19].

### **2.2.2 CHP**

Joensuun kontiosuon voimalaitosalueen CHP-laitos eli Combined Heat and Power on valmistunut vuonna 1986. Valmistuessaan sen sähköteho oli maksimissaan 76,5 MW ja kaukolämpöteho 110 MW. Silloin käytössä oli pölypoltto ja polttoaineena käytettiin turvetta. Laitoksen polttokattilaa muokattiin vuonna 2000, jolloin siitä tehtiin leijupetikattila. Tällaisessa kattilatyypissä tulikuuma hiekka leijuu kattilan sisällä ja polttoainetta syötetään hiekan päälle, jossa se syttyy. Kattilatyypin vaihto mahdollisti turpeen käytön vähentämisen ja puuhakkeen käyttöönottamisen polttoaineeksi. Tämä vähensi laitoksen päästöjä, mutta samalla kattilan maksimiteho ja höyryntuotanto laskivat. Uudistuksen jälkeen sähköteho tippui noin 50 MW:iin ja kaukolämpöteho 100 MW:iin.

### **2.2.3 Biolämpölaitos**

Vuonna 2009 laitosalueelle valmistui 30 MW:n tehoinen biolämpölaitos HOB (Heat Only Boiler). Lämpölaitos tuottaa siis vain lämpöä kaukolämpöverkkoon. Se rakennettiin, koska kaukolämpöverkon laajentuessa Joensuun mukana, myös kaukolämpöverkon tehontarve lisääntyi. Biolämpölaitos käyttää polttoaineenaan puuhaketta ja sen kattilan tyyppi on leijupetikattila. Laitoksen ansiosta fossiilisten polttoaineiden käyttötarve Joensuun alueella vähentyi. [20.]

### **2.2.4 Bioöljylaitos**

Voimalaitosalueelle rakennettiin vuosina 2012–2013 bioöljylaitos, joka tuottaa metsähakkeesta ja muusta puubiomassasta bioöljyä. Se perustuu nopeapyylysiteknologiaan ja on maailman ensimmäinen teollisessa mittakaavassa ra-

kennettu laitos. Sen tuotanto on noin 50 000 tonnia bio-öljyä vuodessa, mikä vastaa energiamäärältään noin 10 000 pientalouden lämmitystarvetta vuotuisesti. Bioöljyä käytetään aluksi raskaan polttoöljyn korvaamiseen lämpölaitoksilla ja tulevaisuudessa se voi toimia myös liikenteen polttoaineena tai raaka-aineena uusille biokemikaaleille. [12.]

### **2.2.5 PyroHob**

PyroHob rakennettiin v. 2014 biolämpölaitoksen viereen tehdasalueella. Rakentamiskustannuksissa säästettiin rakentamalla se biolämpölaitoksen viereen, koska tällöin ne voivat jakaa saman savupiipun. PyroHob käyttää polttoaineenaan bioöljylaitoksella tuotettua bio-öljyä. PyroHobin kattila on teholtaan 10 MW ja se tuottaa vain kaukolämpöä.

### **2.2.6 Savukaasulauhdutin**

Voimalaitoksen uusin päivitys on savukaasulauhdutin, joka valmistui vuonna 2015. Savukaasulauhdutin lauhduttaa CHP-laitoksen savukaasua, josta saatava lämpöenergia käytetään hyödyksi kaukolämpöverkossa. Savukaasulauhdutin lisää laitoksen hyötysuhdetta ja vähentää sen päästöjä sekä polttoaineen tarvetta. Savukaasulauhdutin on teholtaan 30 MW. Rakentamisen yhteydessä CHP-laitoksen vanha piippu purettiin ja sen tilalle rakennettiin uusi ruostumattomasta teräksestä valmistettu piippu. [14.]

### **2.2.7 Lämpölaitokset**

Joensuun alueella sijaitsee myös kahdeksan muuta kaukolämpölaitosta, jotka käyttävät polttoaineenaan raskas- tai kevytpolttoöljyä. Niiden tehot vaihtelevat kokoluokassa 10–45 MW. Kaupunkilaitoksia käytetään varareservinä tuotantokatkoksien varalle ja ne tukevat kaukolämmön tuotannossa CHP:tä kovilla pakkasilla, kun kaukolämmön kulutus on suurimmillaan.

### **3 Oikosulku**

Oikosululla tarkoitetaan tilannetta, missä kaksi tai useampi eri vaihejohtinta kytkeytyvät yhteen. Kytkeytyminen voi tapahtua suoran kosketuksen, valokaaren tai vikaimpedanssin kautta. Yksivaiheisesta oikosulusta puhutaan yleensä nimellä maasulku. Maasulussa oikosulkuvikavirtapiiriin liittyy myös sähköverkon maadoitukset ja maa. [1, s. 166.]

Oikosulkuvirrat on tärkeä saada hallittua erityisesti teollisuusverkoissa, koska niissä kaapeleiden pituudet ovat lyhyitä ja oikosulkuvirrat nousevat pienien impedanssien takia suuriksi. Teollisuuslaitoksien sähkönjakeluverkoissa on yleisesti paljon suuria muuntajia, generaattoreita sekä monia sähkömoottoreita, mitkä edesauttavat oikosulkuvirtojen kasvamista suureksi. Sähköverkon oikosulkuvirrat olisi hyvä saada mahdollisimman pieniksi, jotta turvallinen toiminta voidaan taata ja välttää vaurioita. [5, s. 1.]

Oikosulkuvirraltaan suurin oikosulku syntyy, kun kolmivaiheisessa järjestelmässä tapahtuu kolmivaiheinen oikosulku, eli kun kaikki vaihejohtimet yhdistyvät. Kolmivaiheisen oikosulun virta voi nousta jopa 10–40-kertaiseksi normaaliin kuormitukseen verrattaessa. Tämän takia oikosulkusuojauksen nopeus on tärkeää, jotta se katkaisee virran nopeasti ja suojaa ylimääräisiltä laitevaurioilta. [1, s. 170.]

#### **3.1 Oikosulun syyt ja seuraukset teollisuudessa**

Oikosulku voi sattua monen erilaisen syyn vuoksi. Aiheuttajia voivat olla esimerkiksi ylijännite, jolloin valokaari voi hypätä eristysvälin yli, laitteiden rikkoutumiset tai toimintahäiriöt, eristeiden rikkoutuminen tai vanhentuminen, työmaadoitusten jääminen paikalleen työskentelyvirheen takia, väärät käyttötoimenpiteet ja myös ilkeältä. [5, s. 1.]

Oikosulun aiheuttamia haittoja ovat muun muassa sähkön katkeamisesta johtuvat menetykset [3, s. 73.], laitteiden ja johtimien vaurioituminen, valokaaren aiheuttamat mekaaniset vauriot, palovammat ja kaasun muodostumiset [4, s. 159].

Esimerkiksi Joensuun Kontionsuon voimalaitosalueella oikosulun aiheuttaman käyttökatkoksen menetyksiin kuuluisivat kaukolämmön ja sähkön tuotannon menetykset, oikosulun aiheuttajan korjauskustannukset ja mahdollisten muiden vaurioiden korjaaminen. Pahin tilanne olisi talvella kovalla pakkasella, kun kaukolämpö jouduttaisiin tuottamaan kaupunkilaitoksien avulla, jolloin täytyisi polttaa suuret määrät raskas- tai kevytöljyä. Öljyn polttamisen kustannukset ovat merkittävästi suuremmat, kuin voimalaitosalueella poltetun puun tai turpeen kustannukset.

### **3.2 Oikosulkujen ehkäisy**

Sähköverkkoa voidaan kehittää analysoimalla vikatilanteiden tapahtumia. Tapahtumista saatavia tietoja voi käyttää apuna sähköverkkoa muokkaavien toimenpiteiden suunnitteluun. Yleensä toimenpiteinä ovat verkon säädön suunnittelu, suojarleiden asetusten tarkistaminen ja katkaisijoiden lisääminen. Edellä mainitut toimenpiteet ovat yleisiä, koska ne ovat kustannuksiltaan edullisimpia. Muita vaihtoehtoja ovat myös sähköverkon fyysinen vahvistaminen tai sähkön käyttämiselle asetettavat rajoitteet. Toimenpiteiden tavoitteena on saada sähköverkko kestämään ilman häiriöitä vikatilanteissa. [3, s. 73.]

Oikosulkuvirtaa voidaan pienentää kasvattamalla sähköverkon jännitettä, muuntajien ja generaattoreiden oikosulkuimpedanssien kasvattamisella tai nimellistehon vähennyksellä sekä välttämällä rinnakkaisia syöttöjä sähköverkossa. [6, 7.3.1.]

### 3.3 Oikosulkusuojaus voimalaitoksissa

Oikosulkusuojauksen toimivuuden tärkeys korostuu teollisuudessa, kun sähkön häiriötön saatavuus ja laatu ovat tärkeitä ja samalla oikosulkuvirrat ovat suuria. Huonosti toimiva suojaus ja sähkökatkokset voivat aiheuttaa huomattavia taloudellisia tappioita. Sähköverkon häiriöt ja viat voivat myös aiheuttaa vaaratilanteita, joita hyvin toimiva suojaus auttaa ehkäisemään lisäten näin sähköturvallisuutta. Suojalaitteiden tärkein ominaisuus on torjua vikojen ja häiriöiden haittavaikutuksia. [4, s. 167.]

Sähköverkon vikaantuessa suojalaitteiden on toimittava itsenäisesti ja laukaistava vikaantunut alue mahdollisimman ripeästi sähköttömäksi. Vikaantuminen verkossa tapahtuu niin nopeasti, että suojalaite ei voi odottaa käyttökannan toimenpiteitä. Joissain tapauksissa, kun häiriö ei aiheuta välitöntä vaaratilannetta tai ole turvallisuusriski, voidaan käyttää hälyttävää suojausta. Tällainen tilanne on esimerkiksi yksivaiheinen maasulku, jos maadoitusresistanssiin aiheutuva maadoitusjännitteen nouseminen ei ole liian suuri. [4, s. 167–168.]

Suojausta suunniteltaessa täytyy tietää sähköverkossa esiintyvät oikosulkuvirrat eri kytkentätilanteissa ja sähköverkon osissa. Kaikkien verkossa käytettävien komponenttien täytyy kestää nämä oikosulun aiheuttamat rasitukset, kuten dynaaminen ja terminen rasitus. Oikosulkuvirran suuruus vaikuttaa suojalaitteiden valintaan ja niiden asetteluun. [6, 7.1]. Suojaukselta vaadittavia keskeisiä vaatimuksia ovat muun muassa sen selektiivinen toimivuus, suojauksen täytyy kattaa koko verkon alue, riittävän nopea laukaisukyky, käyttövarmuus ja esimerkiksi suojareleiden asetusarvoja täytyy pystyä muuttamaan kun se on käytössä [4, s. 167].

Sähköverkon oikosulkusuojauksen tulisi toimia selektiivisesti. Selektiivisellä suojauksen toiminnalla tarkoitetaan, että verkossa aiheutuva vika rajautuu vain mahdollisimman pieneen osaan verkkoa. Suojalaite siis irrottaa sähköverkosta vain sen osan, jossa vika on tapahtunut. Muu sähköverkko jatkaa tällöin normaalia toimintaansa. Selektiivisessä suojausjärjestelmässä suojalaite saa toimia vain, kun vika tapahtuu kyseisen suojalaitteen hallinnoiman verkon osassa,

eli se ei saa toimia silloin, kun vika on sen alueen ulkopuolella. Näin toteutuu suojauksen porrastuneisuus. Porrastus toteutetaan käyttämällä joko aikaselektiivisiä ja/tai virtaselektiivisiä suojalaitteita. Sähköverkossa tämä tarkoittaa, että mitä pidemmälle sähköverkossa edetään sitä pienemmällä virralla tai lyhyemmässä ajassa suojalaitteen täytyy reagoida. Tällöin edellisen suojalaitteen asettelu on aina hieman suurempi, kuin sen jälkeisellä on. [4, s. 167.]

### **3.4 Suojalaitteet**

Oikosulkua ja sen seurauksia ehkäisemään on kehitetty monia eri suojalaitteita. Suojalaitteet on tärkeää mitoittaa ja asetella erikseen jokaiselle sähköverkon osalle, että ne toimivat vikatilanteissa oikein. Lisää teollisuuden sähköverkkojen yleisimmistä suojalaitteista on kerrottu alla:

#### **3.4.1 Kahvasulake**

Kahvasulakkeet ovat yleisin teollisuuden pienjännitteellisten eli alle 690 voltin sähköverkkojen suojalaitteiden taloudellisuuden, turvallisuuden, virranrajoituskyvyn ja selektiivisyyden helpon toteuttamisen takia. Kahvasulake on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen. Sen rakenneosiin kuuluvat runkolieriö, hiekka ja sulakelanka, joka sulaa suuren virran vaikutuksesta. Sulakelanka sijaitsee hiekan ympäröimänä runkolieriön sisällä. Hiekan tehtävänä on absorboida valokaaresta aiheutuvaa energiaa itseensä. Sulakelangan ominaisuuksia muuttamalla voidaan muuttaa sulakkeen toimintaominaisuuksia, kuten laukaisuvirtaa ja aikaa. [6, 7.4.1.] Kahvasulake asennetaan varokepesäänsä käyttäen erillistä työkalua, koska sen napoihin syntyy vaarallinen kosketusjännite sulaketta asennettaessa [4, s. 318].



Kuva 1. Kahvasulake [13.]

Standardissa IEC 60269-1 käsitellään kahvasulakkeiden ominaisuuksia sekä muun muassa kahvasulakkeiden toiminta-aikaa. Standardissa määritellään, millä virran arvoilla sulakkeen täytyy toimia tietyssä ajassa. Taulukosta 1 nähdään, että tyypin gG-sulake kooltaan 500 A (kuten kuvassa 1) ei saa toimia 1,25-kertaisella nimellisvirralla, eli 625 A:n kuormituksella neljän tunnin aikana. Sulakkeen taas täytyy toimia neljän tunnin aikana, kun sen kuormitus nousee 1,6-kertaiseksi nimellisvirtaan nähden. [6, 7.4.1.]

Taulukko 1. gG-kahvasulakkeen toiminta-aika [6, 7.4.1].

Sulake $I_n/A$	$I_{nf}$	$I_f$	t/h
$I_n \leq 4$	$1,5 \times I_n$	$2,1 \times I_n$	1
$4 < I_n < 16$	$1,5 \times I_n$	$1,9 \times I_n$	1
$16 \leq I_n \leq 63$	$1,25 \times I_n$	$1,6 \times I_n$	1
$63 < I_n \leq 160$	$1,25 \times I_n$	$1,6 \times I_n$	2
$160 < I_n \leq 400$	$1,25 \times I_n$	$1,6 \times I_n$	3
$400 < I_n$	$1,25 \times I_n$	$1,6 \times I_n$	4

$I_n$  = sulakkeen nimellisvirta

$I_{nf}$  = kestopäävirta; sulake ei saa toimia ajassa  $t$

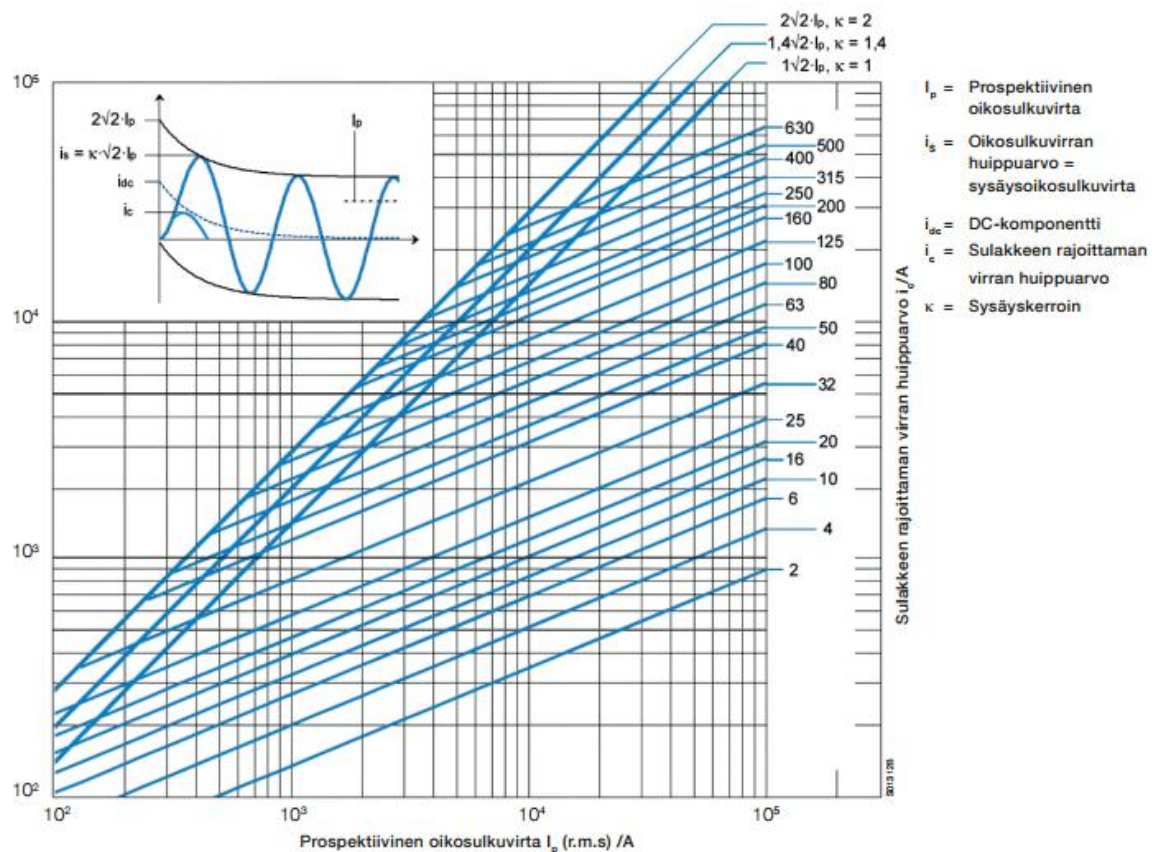
$I_f$  = sulamisrajoitusvirta; sulakkeen tulee toimia ajassa  $t$

Kahvasulake voi tyypistään riippuen suojata verkkoa joko oikosululta tai oikosululta sekä ylikuormitukselta. Tyyppi on kirjattu kahvasulakkeen runkoon kirjaimilla. Ensimmäinen kirjain ilmaisee sulakkeen katkaisualueen. Katkaisu-



alueita on kaksi ja niitä ilmaistaan kirjaimin g ja a. Pienellä g-kirjaimella tarkoitetaan, että sulakkeella on koko virta-alueen kattava katkaisukyky, eli tällöin se soveltuu oikosulun ja ylikuormituksen suojaukseen. Pienellä a-kirjaimella tarkoitetaan, että sulakkeella on vain osan virta-alueesta kattava katkaisukyky, eli se soveltuu vain oikosulkusuojaimeksi. Toisella kirjaimella ilmaistaan sulakkeelle tarkoitettu käyttökohde. Käyttökohteita voivat olla G eli yleiskäyttöinen johdon suojaukseen kelpaava sekä M, eli moottorin suojaamiseen tarkoitettu. [6, 7.4.1.]

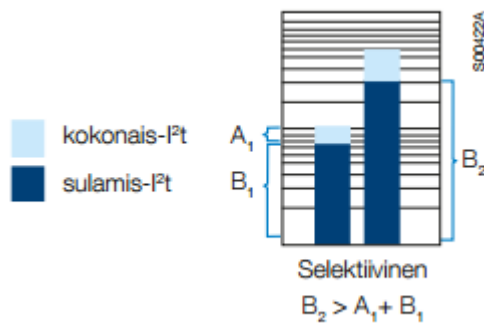
Kahvasulake rajoittaa oikosulkuvirran alkuarvoa pienjännitteillä tehokkaasti aina 100 kA:n virtoihin asti. Oikosulkuvirran rajoittaminen perustuu sulakkeen sisälle muodostuvan valokaaren sisäisen valokaariresistanssin nopeaan kasvamiseen. Sulakkeen sisäinen resistanssi siis kasvaa oikosulun sattuessa hyvin nopeasti rajoittaen samalla oikosulkuvirran huippuarvoa. [6, 7.4.2.]



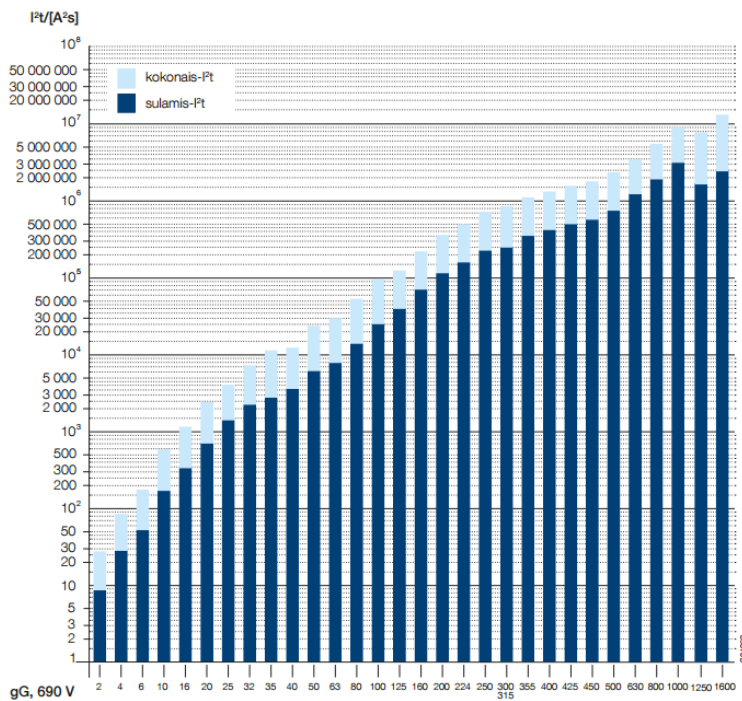
Kuva 2. Oikosulkuvirran rajoitus 690 V:n gG-sulakkeet [15.]

Kuvasta 2 voimme lukea esimerkiksi, että 500 A:n gG-sulakkeen läpi kulkeva oikosulkuvirran huippu olisi noin 22 kA, kun se ilman sulaketta olisi 50 kA. Sulake leikkaa virtahuipusta pois hieman yli 50 prosenttia.

Sulakkeilla toteutettavassa suojauksessa on hyvä käyttää apuna  $I^2t$ -kokonaisenergia taulukkoa. Taulukon avulla on helppo valita sulakkeet, joiden kanssa suojaus toimii selektiivisesti. Valittaessa pienempää sulaketta täytyy sen kokonaistoiminta-ajan olla pienempi kuin suuremman sulakkeen sulamisaika on. Tällöin pienempi sulake kerkeää toimia kokonaisuudessaan ennen kuin suuremman sulakkeen sulakelanka sulaa. Valitsemisen periaatteen näemme alla olevista kuvista 3 ja 4. [6, 7.4.3.]



Kuva 3. Selektiivisen sulakeparin valinta [15.]



Kuva 4. 690 V:n gG-sulakkeiden selektiivisyystaulukko [15.]

### 3.4.2 Katkaisija

Katkaisijan tarkoituksena on kyetä kytkemään, johtamaan tai irrottamaan kaikki sähköverkossa tapahtuvat virrat. Katkaisimen on siis pystyttävä irrottamaan verkosta tai kytkemään verkkoon kolmivaiheinen oikosulku, joka on virraltaan isoin sähköverkossa tapahtuva vika. [4, s. 254.] Katkaisijat voivat toimia automaattisesti tai käsivoimalla. Automaattinen katkaisija voi mekaniikaltaan perustua paineilmaan, hydraulikkaan, servomoottoriin tai jouseen. [2, s. 181.]

Automaattisen katkaisijan toimintaa ohjaa suojarole. Suojareleet mittaavat sähköverkosta suureita mittamuuntajien avulla tai suoraan katkaisijan napojen kautta ja ne ohjaavat tarvittaessa katkaisijan toimintaa. Käytettäessä suojaroleita täytyy niiden asetukset määritellä tarkoin, jotta suojaus toimii selektiivisesti. [2, s. 163.] Suojareleen asetuksia muuttamalla voidaan esimerkiksi säätää virran laukaisuarvoja ja aikahidastuksia. Releitä on monia erityyppisiä, joista täytyy valita aina käyttötarkoitukseen sopiva. Releiden tyyppejä ovat muun muassa ylivirta-, yli- ja alijännite-, teho-, taajuus-, epäsymmetria-, verto- ja ali-impedanssireleet. [3, s. 389.]



Kuva 5. ABB-pienjännitekatkaisija [16.]

”Katkaisijan valintaan vaikuttavat sen käyttökohteen käyttöjännite, kuormitus, oikosulkuvirta, oikosulkuvirran kesto, kytkentöjen määrän tiheys, verkon taajuus, ympäristön olosuhteet ja mekaaniset mitat [4, s. 270]. ”

Katkaisijan tärkeimmät osa-alueet ovat sen kosketinosat sekä valokaaren katkaisumekanismi. Koskettimien jäähdytys täytyy toteuttaa riittävän hyvin, että lämpötila ei ylitä niiden suurinta sallittua arvoa. Mikäli koskettimet lämpenevät liikaa ne saattavat hitsautua yhteen tai vaurioitua muulla tavoin, jolloin niiden toiminta ei ole enää varmaa. Oikosulkuvirrat vaikuttavat koskettimiin yleensä niin lyhyen aikaa, että ne eivät kerkeä aiheuttamaan niissä merkittävää lämpötilan nousua, ellei oikosulkuja esiinny monia lyhyessä ajassa. Sen sijaan koskettimien avautuessa niiden välille muodostuva valokaari aiheuttaa jopa koskettimien metallin sulamista. Oikosulku aiheuttaa katkaisijan koskettimien välille suuren koskettimia avaavan voiman. Tätä voimaa voidaan käyttää hyödyksi katkaisijoiden rakenteen suunnittelussa, jolloin oikosulun katkaisu saadaan tapahtumaan nopeammin. [4, s. 256, 265.]

Valokaaren sammutusjärjestelmillä pyritään saamaan valokaari katkaisijan sisällä katkeamaan mahdollisimman nopeasti. Nopealla valokaaren katkaisulla syöttöverkkoon syntyy mahdollisimman pieni kytkenäylijännite ja katkaisijan vauriot vähenevät. Valokaaren katkaisussa pyritään valokaaren pituutta kasvattamaan venyttämällä sitä kauemmas lähtöpisteestään. Tällöin valokaari liikkuu ja siihen vaikuttava aine esim. kaasu katkaisijan sisällä jäähdyttää valokaarta tehokkaasti. Samalla kun valokaaren pituus kasvaa, myös sen valokaariresistanssi kasvaa, jolloin valokaari vaatii suuremman jännitteen pysyäkseen kasassa. Riittävän pituuden saavutettuaan valokaari sammuu. Valokaaren venyttämiseen voidaan käyttää mm. magneettista puhallusta, jossa tehostetaan valokaaren omaa dynaamista liikettä magneettikentän avulla. Magneettikentän avulla valokaari voidaan ohjata erillisten sammutuslevyjen väliin, jolloin ne sitovat valokaaren lämpöenergiaa itseensä ja samalla pidentävät sen reittiä ja siten valokaarta huomattavasti. [4, s. 267.]

Tehokatkaisijat ovat yleensä hermeettisesti eli ilmastolta suojattuja ja täytetty sisältä eristysaineella. Eristysaineena voi olla esimerkiksi öljy, ilma, tyhjiö tai suojakaasu. Eristysaineiden tarkoituksena on lisätä katkaisijan jännitelujuutta ja siten ehkäistä valokaaren läpilyöntiä katkaisijan sisällä sekä jäähdyttää valokaarta. Esimerkiksi SF-6 eli rikkiheksafluoridi-kaasu on yksi nykyisin laajasti käytössä oleva suojakaasu. Kaasun molekyyli on raskas sekä tiheä ja se pystyy

sitomaan vapaita elektroneja itseensä. Verrattuna ilmaan SF-6-kaasu samassa paineessa on jännitelujuudeltaan 2,5-kertaa parempi. Kaasun ominaisuuksien avulla katkaisijan rakennetta voidaan pienentää. [4, s. 207.]

Suojareleiden toiminta-aika on nopeimmillaan 10–30 ms. Tällaisia ovat mm. differentiaali- ja distanssireleet. Momenttilaukaisulla toimivien ylivirtareleiden toiminta-aika on yleensä noin 50 ms. Katkaisijan mekaaninen toiminta-aika on nopeimmillaan 40–50 ms eli katkaisijan ja releen toiminta-ajat täytyy laskea yhteen jotta saadaan kokonaistoiminta-aika. [3, s. 397.] Katkaisijan avulla voi lyhentää oikosulun kestoaikaa ja siten vähentää lämpökuormaa, mutta toiminta-ajan vuoksi se ei kerkeä rajoittamaan dynaamista oikosulkuhuippuvirtaa, joka tapahtuu noin 10 ms oikosulun alkamisen jälkeen. [6, 7.3.]

### **3.4.3 Is-rajoitin**

Is-rajoittimen avulla voidaan leikata oikosulkuvirran dynaamista huippua. Sen rakenne koostuu räjäytyspanoksella varustetuista nopeista kytkimistä ja niiden rinnalla olevista sulakkeista. Oikosulun sattuessa virran nousunopeus on suuri, mihin rajoitin reagoi räjäyttämällä kytkimen auki. Kytkin avautuu erittäin nopeasti, noin 0,1 millisekunnissa. Kytkimen aukeamisen jälkeen virta kulkee sulakkeen läpi, mikä rajoittaa virtaa tehokkaasti. Kun Is-rajoitin on toiminut, täytyy sen räjäytyspanokset ja sulakkeet uusia, jotta se saadaan uudelleen toimintakuntoiseksi. Is-rajoitinta käytettäessä on hyvä huomioida, että se ei toimi selektiivisesti ja aiheuttaa suojaukseen epäselektiivisyyskohdan. Tästä syystä Is-rajoittimelle tyypillinen paikka on esimerkiksi rinnankytkettyjen muuntajien välissä, jolloin se jakaa verkkoa pienempiin osiin. Verkon osiin jakaminen toimii, koska esimerkiksi rinnankytketyt muuntajat kasvattavat oikosulkuvirtoja. Is-rajoitin toimii oikosulun sattuessa ja irrottaa rinnankytketyt muuntajat toisistaan, jolloin oikosulkuvirrat vastaavat yksittäisen muuntajan arvoja. Tämän jälkeen muu suojaus toimii selektiivisesti ja irrottaa vika-alueen verkosta. [6, 7.3.4.]

### 3.5 Oikosulun valvonta

Oikosulkuja ja muita sähköverkon vikoja valvotaan yleensä valvomosta. Hälytysten toimivuus ja siirto keskusvalvomoon on tärkeää. Hälytysten avulla käyttökunta näkee heti missä päin verkkoa vika on ja voi hälyttää kunnossapitohenkilökunnan oikealle paikalle. Tällä tavalla verkon vikakorjausten nopeus kasvaa ja näin voidaan välttyä jopa muiden vaurioiden syntymiseltä. Tästä syystä erityisesti oiko- ja maasulkuhälytykset on tärkeitä ilmoittaa johto- ja lähtökohteisesti sekä aikajärjestyksessä jos mahdollista. [3, s. 330.]

### 3.6 Oikosulkuvirran laskeminen

Laskettaessa suuruusluokkaa kolmivaiheverkon oikosulkuvirran arvolle, on ominaisoikosulkutehoon perustuva menetelmä helppokäyttöisin. Mikäli halutaan laskea oikosulkuvirrat suuremmalla tarkkuudella, on käytettävä Thevienin menetelmää. Thevienin menetelmän avulla oikosulkuvirran lisäksi saadaan selville myös vaihekulmat. [5, s. 13.] Oikosulkuvirta ja sähköverkon piirin kuormavirta summantuvat oikosulussa toisiinsa, mutta koska kuormitusvirta on oikosulkuvirtaa huomattavasti pienempi, oletetaan yleensä, että sähköverkko on oikosulun sattuessa ilman kuormitusta [4, s. 159].

Oikosulkuvirran suurin tai pienin arvo saadaan käyttämällä haluttua jännitekerrointa  $c$  ja valitsemalla verkon kytkentätilanne vastaamaan suurinta tai pienintä oikosulkuvirtaa. Jännitekerroimen  $c$ -arvo on  $1,1-0,95$  riippuen laskennan jännitteestä ja siitä, ollaanko laskemassa suurinta vai pienintä oikosulkuvirtaa. Jännitekerroin  $c$  on standardin IEC 60909 mukainen. [5, s. 15; 6, 7.1.]

Taulukko 2. Jännitekerroin c [5, s. 9].

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

Kolmivaiheinen oikosulkuvirta saadaan laskettua kaavalla 1 [6, 7.2.1 s. 2].

$$I_{k3}'' = \frac{c * U_N}{\sqrt{3} * Z_1} \quad (1.)$$

missä

- c = Jännitekerroin
- $U_N$  = Nimellisjännite
- $Z_1$  = Oikosulkupiirin myötäimpedanssi

Kaksivaiheinen oikosulku ilman maakosketusta voidaan laskea kaavalla 2 [6, 7.2.1 s. 2].

$$I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3} * c * U_N}{Z_1 + Z_2} \quad (2.)$$

missä

- c = Jännitekerroin
- $U_N$  = Nimellisjännite
- $Z_1$  = Oikosulkupiirin myötäimpedanssi
- $Z_2$  = Oikosulkupiirin vastaimpedanssi

Yksivaiheisen oikosulun eli maasulun virta voidaan laskea kaavalla 3 [6, 7.2.1 s. 2].

$$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3} * c * U_N}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (3.)$$

missä

- c = Jännitekerroin
- $U_N$  = Nimellisjännite
- $Z_0$  = Oikosulkupiirin nolaimpedanssi
- $Z_1$  = Oikosulkupiirin myötäimpedanssi
- $Z_2$  = Oikosulkupiirin vastaimpedanssi

Alkuoikosulkuvirran  $I_k''$  avulla lasketaan muita oikosulkuvirtojen arvoja, kuten sysäysoikosulkuvirta. Alkuoikosulkuvirta kuvaa vaihtovirtakomponentin tehollisarvoa. Alkuoikosulku voidaan laskea kaavalla 4. [6, 7.2.1 s. 1.]

$$I_k'' = \frac{c * U_N}{\sqrt{3} * Z_k} \quad (4.)$$

missä

- c = Jännitekerroin
- $U_N$  = Nimellisjännite
- $Z_k$  = Impedanssi vikapaikasta katsottuna

Sysäysoikosulkuvirta  $i_s$  tai toisilta nimiltään  $i_{dyn}$  ja  $i_p$  on oikosulkuvirran suurin mahdollinen hetkellinen arvo. Sysäysoikosulkuvirta nousee huippuarvoonsa noin 10 ms:n jälkeen oikosulun alkamisesta. Sysäysoikosulkuvirran arvoa käytetään sähköverkon ja sen komponenttien mekaanisen kestävyuden mitoittamisessa. Sysäysoikosulkuvirta lasketaan käyttäen apuna alkuoikosulkuvirtaa  $I_k''$  ja sysäyskerrointa K. Sysäysoikosulkuvirta lasketaan kaavalla 5. [5, s. 23.]

$$i_s = K * \sqrt{2} * I_k'' \quad (5.)$$

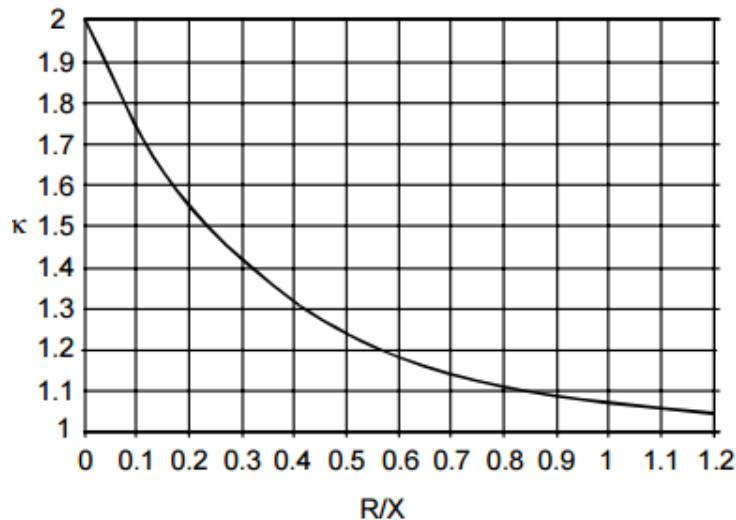
missä

- K = Sysäyskerroin



$$I_k'' = \text{Alkuoikosulkuvirta}$$

Sysäyskertoimen arvo  $K$  riippuu sähköverkon resistanssin ja reaktanssin suhteesta  $R/X$ . Arvon voi myös katsoa kuvasta 6 [5, s. 24]. Yleensä pienjänniteverkossa sysäyskertoimen arvo on alle 1,44 ja suurjänniteverkossa alle 1,8. Suuntaa antavia arvoja voidaan käyttää, jos tarkkoja arvoja ei pystytä muuten määrittelemään. [6, 7.2.2 s. 8.]



Kuva 6. Sysäyskertoimen arvo  $R/X$  suhteen mukaan [6, 7.2.2 s. 8].

Terminen oikosulkuvirta  $I_{th}$  ilmoittaa oikosulkuvirran suuruuden, joka tuottaisi saman määrän lämpöä johtimiin ja rakenteisiin kuin aito oikosulkuvirta. Terminen oikosulkuvirran arvo on niin sanotusti oikosulkuvirran keskiarvo 1 sekunnin ajalta. Terminen oikosulkuvirta lasketaan kaavalla 6. [5, s. 29.]

$$I_{th} = I_k'' * \sqrt{m + n} \quad (6.)$$

missä

$I_{th}$  = Terminen oikosulkuvirta

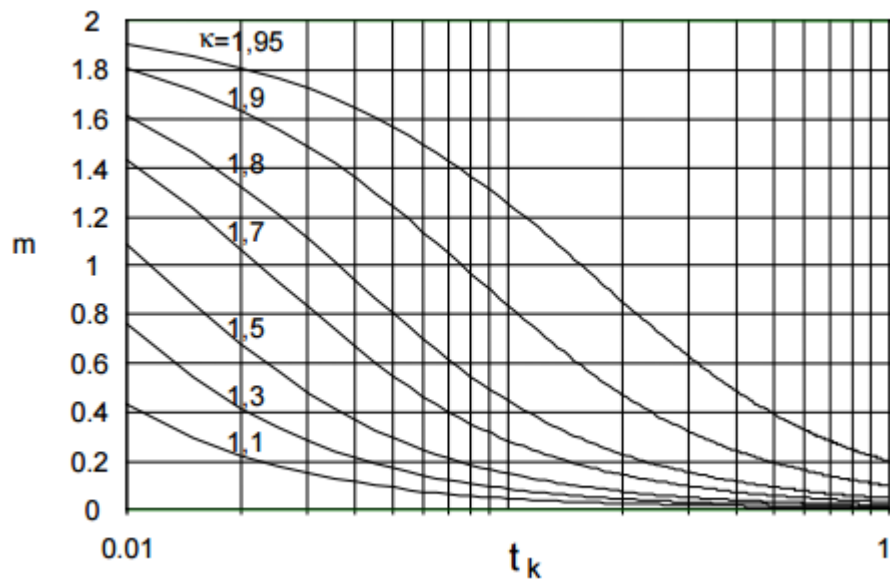
$I_k''$  = Alkuoikosulkuvirta

$m$  = Tasavirtatekijä

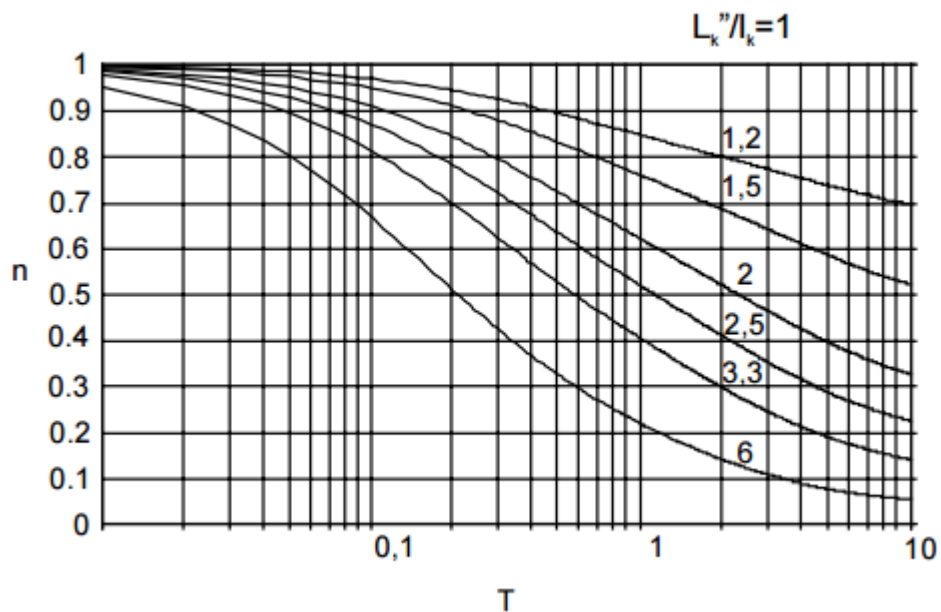
$n$  = Vaihtovirtatekijä

Tasavirtatekijän lukuarvo on sysäyskertoimen ja oikosulun kestoajasta riippuen 0–2. Vaihtovirtatekijän lukuarvo vaihtelee oikosulkuvirran alkuarvon ja pysyvän

oikosulkuvirran suhteen mukaan välillä 0–1. Tasavirtatekijän arvon voi katoa kuvasta 7 ja vaihtovirtatekijän arvon kuvasta 8.



Kuva 7. Tasavirtatekijä  $m$  oikosulun kestoajan ja sysäyskertoimen avulla ilmoitettuna [6, 7.2.2 s. 8].



Kuva 8. Vaihtovirtatekijä  $n$  oikosulkuvirran alkuarvon ja pysyvän arvon avulla ilmoitettuna [6, 7.2.2 s. 9].

## **4 ABB DOC-laskentaohjelma**

Ohjelmiston on kehittänyt ABB Oy. DOC-laskentaohjelma on hyvä työkalu sähköverkon sähköisten arvojen laskentaan sekä sen suunnitteluun. Ohjelmisto tukee tällä hetkellä vain ABB Oy:n valmistamia komponentteja. Mikäli ohjelmaa käytetään projektissa, jossa on myös muiden yritysten valmistamia komponentteja, täytyy valita niitä parhaiten vastaava versio ABB:n valikoimasta ohjelmassa tai muokata arvot oikeaa komponenttia vastaavaksi. ABB DOC-ohjelmiston ominaisuuksiin kuuluvat muun muassa keski- tai matalajännitteisen verkon suunnittelu, kolmi-, kaksi- ja yksivaiheisen oikosulkuvirran laskenta, jatkuvan oikosulkuvirran laskenta, hetkellisen alkuoikosulkuvirran laskenta ja jännitteen aleneman laskenta. [8.]

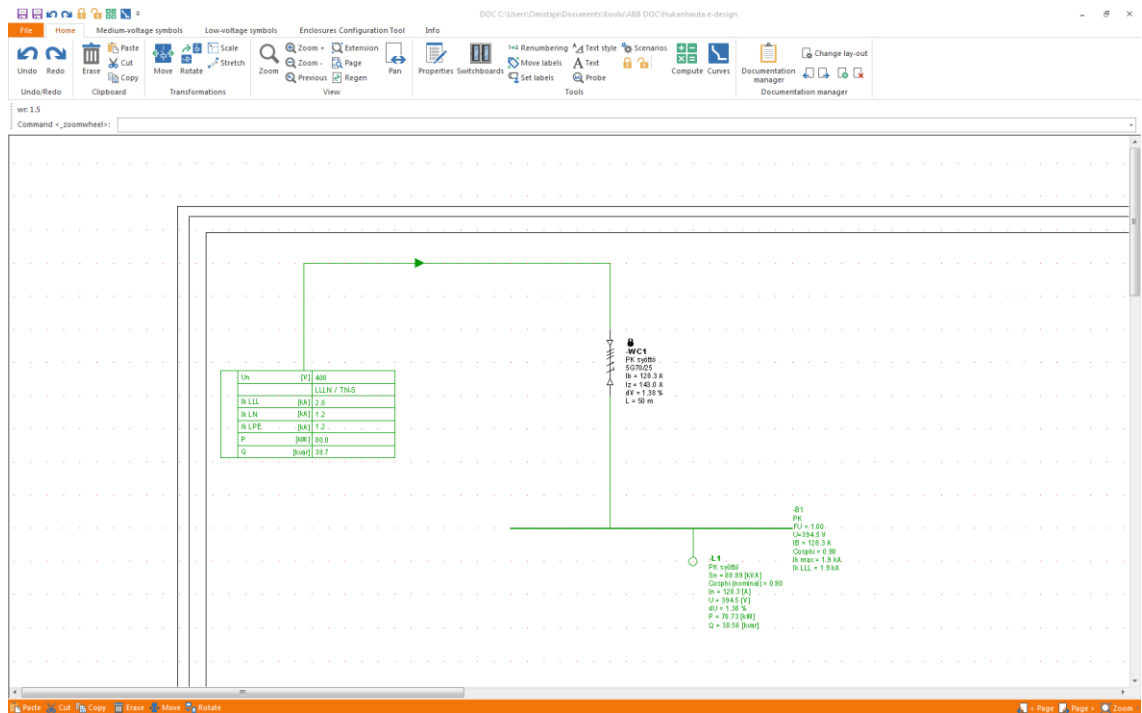
### **4.1 ABB DOC:n käyttöönotto**

ABB DOC-ohjelmisto on kaikille avoimesti käytettävissä oleva ohjelmisto. Ohjelman saa käyttöönsä luomalla tunnukset ABB:n verkkosivuille. Tämän jälkeen saa itselleen tunnukset verkkosivulle, josta ladataan e-Design-ohjelmistopaketti. E-Design-ohjelma toimii alustana, jonka kautta voi ladata uusimman päivityksen mukaisen ohjelmiston DOC-laskentaohjelmasta. E-Designin kautta pidetään ohjelmistot päivitettyinä. Sen kautta on mahdollista asentaa myös ABB:n CAT- ja PDC-ohjelmistot. [8.]

### **4.2 Uuden projektin luominen**

ABB DOC-ohjelmiston käynnistämisen jälkeen nimetään projekti ja tarvittaessa täytetään myös muut kohdat, kuten asiakkaan tiedot ja lisätietoja kohta. Seuraavassa kohdassa valitaan projektille toteutustapa. Vaihtoehtoja ovat yksivaihevainen esitys (Single Line Diagram) sekä kytkentäkaavioiden konfigurointi ja etunäkymä (Switchboards Configuration and Front View), joista valitaan ensimmäinen, mikä on ns. normaali sähköverkon piirron mahdollistava. Seuraa-

vassa kohdassa valitaan standardit, joiden mukaan ohjelma suorittaa laskutoimitukset sekä kaapelien automaattisen mitoittamisen. Tässä kohdassa valitaan myös projektin kohteen syöttöverkon tyyppi. Vaihtoehtoina ovat Power Supply LV tai MV-LV ja Genset LV tai MV. Tämän työn voimalaitoksen sähköverkossa on sekä keski- ja matalajännitteellisiä asennuksia, joten valitaan kohta Power Supply MV-LV. Seuraavassa kohdassa valitaan millaisen asettelun projektille halutaan. Tässä työssä valittiin kohta A1. Valintojen jälkeen päästään syöttämään sähkötekniset arvot sähköverkon syötölle, joihin kuuluvat mm. sähköverkon oikosulkuteho, syötön teho, jännitteen aleneman maksimiarvo. Arvojen syöttämisen jälkeen siirrytään seuraavaan kohtaan ja klikataan valmis -nappia. Tämän jälkeen avautuu piirustuslehti, johon voi lisätä sähköverkon komponentit ylärivin valikoista. Komponenttien arvoja voi muokata tuplaklikkaamalla niitä. Kun haluttu verkko on rakennettu ja valmiina, täytyy verkon loppupäänhän sijoittaa kuorma (Load). Ilman kuormaa DOC ei osaa laskea oikosulkuvirtaa ja antaa häiriön. Itse kuorma tai sen arvot eivät vaikuta oikosulkuvirtojen arvoihin. [8.]



Kuva 9. ABB DOC:n käyttöliittymä [8.]

## 5 Tulokset

Laskennan tulokset kertovat sähkökeskusten kolmi- ja kaksivaiheisen oikosulkuvirran jatkuvuusarvon sekä kolmivaiheisen sysäyoikosulkuvirran. Laskennan tulokset on saatu käyttämällä ABB DOC-ohjelmistoa, eikä niitä ole tarkistettu käyttämällä muita laskentaohjelmia tai käytännön kokeilla mittaamalla. Tuloksia voidaan käyttää hyväksi sähköverkon tulevaisuuden mitoittamisessa.

Oikosulkuvirrat on laskettu sähköverkon normaalissa käyttötilanteessa, eli kun voimalaitokset ovat käynnissä maksimitehollaan, jolloin myös sähkömoottorit ja muuntajat toimivat lähellä nimellistehoaan. Sähkön syöttö tapahtuu päämuuntajan kautta, eikä varasyöttö ole käytössä. Taulukoissa 3–13 on ilmoitettu voimalaitoksen ja kaupunkilaitoksien sähkökeskusten kolmi- ja kaksivaiheinen oikosulkuvirran jatkuvuusarvo sekä kolmivaiheinen sysäysvirta.

Taulukko 3. Kontionsuon voimalaitosalueen sähkökeskusten oikosulkuvirrat

Keskus	$I_{k3}''$ (kA)	$I_{k2}''$ (kA)	$I_s$ (kA)
BBA	13,09	11,34	44,81
BFA	18,81	16,29	64,11
BFB	19,57	16,95	66,26
BFE	28,06	24,30	74,33
BME	24,07	20,84	54,52
BHA	28,06	24,30	74,33
BAH	24,04	20,82	68,00
BFC	15,57	13,49	42,71
BBB	4,37	3,79	11,08
BFF	13,25	11,47	31,95
BFD01	34,16	29,58	90,86
1BFG01	22,87	19,81	82,13
1BFH01	3,97	3,44	7,65
1BHB01	13,00	11,26	24,13
3BBA	23,60	20,44	66,76
3BFA	29,57	25,60	78,49
3BFE	16,90	14,63	39,92
3BFB	29,53	25,58	78,37
3BFF	11,72	10,15	26,06

Taulukko 4. Rantakylän lämpölaitoksen oikosulkuvirrat

Keskus	$I_{k3}''$ (kA)	$I_{k2}''$ (kA)	$I_s$ (kA)
PK1	25,54	22,12	77,94
PK2	25,35	21,96	76,47

Taulukko 5. Käpykankaan lämpölaitoksen oikosulkuvirrat

Keskus	$I_{k3}''$ (kA)	$I_{k2}''$ (kA)	$I_s$ (kA)
PK1	23,16	20,05	49,69
PK2	21,83	18,90	43,29

Taulukko 6. Noljaan lämpölaitoksen oikosulkuvirrat

Keskus	$I_{k3}''$ (kA)	$I_{k2}''$ (kA)	$I_s$ (kA)
PK1	7,27	6,3	12,39

Taulukko 7. Utran lämpölaitoksen oikosulkuvirrat

Keskus	$I_{k3}''$ (kA)	$I_{k2}''$ (kA)	$I_s$ (kA)
PK1	5,26	4,56	11,64

Taulukko 8. Ukonmäen lämpölaitoksen oikosulkuvirrat

Keskus	$I_{k3}''$ (kA)	$I_{k2}''$ (kA)	$I_s$ (kA)
PK1	6,19	5,36	13,59

Taulukko 9. Hasaniemen lämpölaitoksen oikosulkuvirrat

Keskus	$I_{k3}''$ (kA)	$I_{k2}''$ (kA)	$I_s$ (kA)
PK1	12,31	10,66	24,91

Taulukko 10. Hukanhaudan lämpölaitoksen oikosulkuvirrat

Keskus	$I_{k3}''$ (kA)	$I_{k2}''$ (kA)	$I_s$ (kA)
PK1	3,02	2,61	5,77

Taulukko 11. Nepenmäen lämpölaitoksen oikosulkuvirrat

Keskus	$I_{k3}''$ (kA)	$I_{k2}''$ (kA)	$I_s$ (kA)
PK1	17,39	15,06	40,96

Taulukko 12. Biolämpölaitoksen oikosulkuvirrat, kun käytössä 20 kV:n varasyötö

Keskus	$I_{k3}''$ (kA)	$I_{k2}''$ (kA)	$I_s$ (kA)
PK1	37,41	32,40	85,77

Taulukko 13. Pötkän lämpökeskuksen oikosulkuvirrat

Keskus	$I_{k3}''$ (kA)	$I_{k2}''$ (kA)	$I_s$ (kA)
PK1	9,83	8,51	15,69

## 6 Suojausten toiminnan varmistaminen

Sähköverkon jokaiselle komponentille on yleensä annettu arvot niiden sähköisistä ominaisuuksista, kuten jatkuvan virran kesto, dynaamisen oikosulkuvirran kesto ja terminen oikosulkuvirran kestoisuus. Arvot on ilmoitettu laitteiden tyyppikilvissä. Oikosulkuvirtojen laskennasta saatuja arvoja vertaamalla komponenttien sähkötekniisiin arvoihin voidaan tarkistaa kestävätkö komponentit verkon oikosulkutilanteiden rasituksia.

### 6.1 Sähkökeskuksien oikosulkukestoisuus

Sähkökeskuksien oikosulkuvirtojen kestoisuudet luettiin keskuksien arvokilpien kautta. Tiedot löytyivät pääosin kaikista sähkökeskuksista, paitsi neljän keskuksen osalta dynaamista virran kestävyyttä ei ollut ilmoitettu, jolloin vertailua ei voitu tehdä.

Sähkökeskuksien oikosulkuvirtojen kestävydet:

#### Keskus BBA (Pääkeskus)

Nimellisjännite 6000 V ja nimellisvirta 1250 A

Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus ei ilmoitettu.

Terminen oikosulkuvirran kestävyys 20 kA (1 s.)

Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 44,81 kA

Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 13,09 kA

#### Keskus BFA

Nimellisjännite 690 V ja nimellisvirta 2000 A

Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus 105kA

Terminen oikosulkuvirran kestävyys 50 kA (1 s.)

Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 64,11 kA

Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 18,81 kA

#### Keskus BFB

Nimellisjännite 690 V ja nimellisvirta 2000 A

Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus 105 kA

Terminen oikosulkuvirran kestävyys 50 kA (1 s.)

Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 66,26 kA

Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 19,57 kA

#### Keskus BFE

Nimellisjännite 380 V ja nimellisvirta 2000 A

Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus 105 kA

Terminen oikosulkuvirran kestävyys 50 kA (1 s.)

Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 74,33 kA

Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 28,06 kA

#### Keskus BME

Nimellisjännite 380 V ja nimellisvirta 1250 A

Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus 105 kA

Terminen oikosulkuvirran kestävyys 50 kA (1 s.)

Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 54,52 kA



Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 24,07 kA

#### Keskus BHA

Nimellisjännite 380 V ja nimellisvirta 2000 A

Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus 105 kA

Terminen oikosulkuvirran kestävyys 50 kA (1 s.)

Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 74,33 kA

Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 28,06 kA

#### Keskus 1BHB01

Nimellisjännite 400 V ja nimellisvirta 400 A

Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus ei ilmoitettu

Terminen oikosulkuvirran kestävyys 35 kA (0,15 s.)

Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 24,13 kA

Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 13,00 kA

#### Keskus BFC

Nimellisjännite 690 V ja nimellisvirta 1250 A

Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus 80 kA

Terminen oikosulkuvirran kestävyys 40 kA (1 s.)

Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 42,71 kA

Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 15,57 kA

#### Keskus BBB

Nimellisjännite 6000 V ja nimellisvirta 630 A

Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus ei ilmoitettu.

Terminen oikosulkuvirran kestävyys 20 kA (1 s.)

Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 11,08 kA

Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 4,37 kA

#### Keskus BFF

Nimellisjännite 380 V ja nimellisvirta 800 A

Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus ei ilmoitettu.

Terminen oikosulkuvirran kestävyys 40 kA (1 s.)

Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 31,95 kA  
Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 13,25 kA

#### Keskus BFD01

Nimellisjännite 400 V ja nimellisvirta 2500 A  
Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus 125 kA  
Terminen oikosulkuvirran kestävyys 50 kA (1 s.)  
Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 90,86 kA  
Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 34,16 kA

#### Keskus 1BFG01

Nimellisjännite 690 V ja nimellisvirta 3150 A  
Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus 105 kA  
Terminen oikosulkuvirran kestävyys 50 kA (1 s.)  
Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 82,13 kA  
Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 22,87 kA

#### Keskus 1BFH01

Nimellisjännite 400 V ja nimellisvirta 160 A  
Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus 50 kA  
Terminen oikosulkuvirran kestävyys 25 kA (1 s.)  
Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 7,65 kA  
Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 3,97 kA

#### Keskus BAH

Nimellisjännite 12000 V ja nimellisvirta 2500 A  
Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus 105 kA  
Terminen oikosulkuvirran kestävyys 31,5 kA (1 s.)  
Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 68,00 kA  
Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 24,04 kA

#### Keskus 3BBA

Nimellisjännite 10000 V ja nimellisvirta 1250 A  
Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus 80 kA

Terminen oikosulkuvirran kestävyys 31,5 kA (1 s.)

Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 66,76 kA

Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 23,60 kA

#### Keskus 3BFA

Nimellisjännite 690 V ja nimellisvirta 2500 A

Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus 88 kA

Terminen oikosulkuvirran kestävyys 42 kA (1 s.)

Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 78,49 kA

Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 29,57 kA

#### Keskus 3BFB

Nimellisjännite 690 V ja nimellisvirta 2500 A

Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus 88 kA

Terminen oikosulkuvirran kestävyys 42 kA (1 s.)

Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 78,49 kA

Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 29,53 kA

#### Keskus 3BFE

Nimellisjännite 400 V ja nimellisvirta 1000 A

Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus 52,5 kA

Terminen oikosulkuvirran kestävyys 25 kA (1 s.)

Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 39,92 kA

Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 16,90 kA

#### Keskus 3BFF

Nimellisjännite 400 V ja nimellisvirta 630 A

Dynaaminen oikosulkuvirran kestoisuus 52,5 kA

Terminen oikosulkuvirran kestävyys 25 kA (1 s.)

Laskettu dynaaminen oikosulkuvirta 26,06 kA

Laskettu pysyvän tilan oikosulkuvirta 11,72 kA

Sähkökeskuksien oikosulkuvirtojen kestoisuuksien kanssa ei tullut yllätyksiä vertaillessa niitä laskettujen virtojen arvoihin. Sähkökeskukset kestävät niihin

kohdistuvat oikosulkuvirrat hyvin, ja niiden osalta jopa oikosulkuvirtojen nousulekin on vielä tulevaisuudessa varaa.

## 6.2 Katkaisijoiden oikosulkukestoisuudet

6 kV:n sähköpääkeskuksen BBA katkaisijat ovat kaikki samanlaisia, malliltaan Merlin Gerin Fluarc FG1. Katkaisijoiden nimellisvirrat ovat 630 A tai 1250 A. Isompivirtainen katkaisija on käytössä vain keskuksen pääkytkimenä. Katkaisijat kestävät hetkellisesti jopa 60 kV:n jännitteen ja jatkuvasti 20 kV:n jännitteen. Ne pystyvät katkaisemaan 50 kA:n piikkikuorman ja kestävät kolmen sekunnin ajan 20 kA:n virtaa. Keskuksen BBA suurin kolmivaiheinen jatkuva oikosulkuvirta on 13,09 kA ja sysäysvirta 44,81 kA, joten katkaisijat kestävät hyvin niihin kohdistuvat vikavirrat.

Bioöljypuolen pääkeskuksen 3BBA katkaisijat ovat malliltaan Norelco Normega 10. Pääkatkaisija on nimellisvirraltaan 1250 A ja lähtöpuolen katkaisijat 630 A. Katkaisijat voivat katkaista 31,5 kA:n vikavirran ja kestävät 80 kA sysäysoikosulkuvirtaa. Keskuksen 3BBA suurin kolmivaiheinen jatkuva oikosulkuvirta on 23,6 kA ja suurin sysäysvirta 66,76 kA, joten katkaisijat kestävät hyvin niihin kohdistuvat vikavirrat. Alemman tason sähkökeskusten 3BFA ja 3BFB pääkatkaisijoina on Siemens WL II 2500 S katkaisijat. Katkaisijat ovat pienjännittekatkaisijoita nimellisvirraltaan 2500 A. Ne pystyvät katkaisemaan tai kytkemään 75 kA vikavirtaa ja terminen kestävyys on 75 kA/0,5 s. Keskuksien jatkuva kolmivaiheinen oikosulkuvirta on noin 29,6 kA, joten katkaisijat kestävät ja pystyvät toimimaan niihin aiheutuvien vikavirtojen kanssa. Seuraavaksi alemmalla sähkökeskustasolla keskuksien 3BFE ja 3BFF katkaisijoina on Siemens WL I 800N tyyppiset. Pienjännittekatkaisijat ovat nimelliseltä virraltaan 800 A ja kestävät termistä virtaa 42 kA/0,5 s. Katkaisijat pystyvät katkaisemaan ja kytkemään 42 kA:n vikavirran. Keskuksilla suurin kolmivaiheinen jatkuva oikosulkuvirta on 16,9 kA, joten katkaisijat ovat mitoitukseltaan riittävät.

Yksi katkaisija sijaitsee BFE- ja BME-keskuksen välillä. Se on malliltaan Merlin Gerin Selpact 1250. Katkaisija on pienjännittekatkaisija, jonka nimellinen virta on

1250 A ja jännite 660 V. Katkaisija pystyy katkaisemaan 55 kA:n vikavirran ja voi kytkeä maksimissaan 125 kA:n kuorman verkkoon. BFE-keskuksen suurin jatkuva kolmivaiheinen oikosulkuvirta on 28,6 kA ja suurin sysäysvirta 74,33 kA, joten katkaisija on mitoitukseltaan riittävä.

Savukaasupesurin sähköpääkeskuksen 1BFG01 pääkatkaisija on malliltaan ABB SACE Emax2. Nimellisjännitteeltään se on 690 V ja virraltaan 3200 A. Katkaisija kestää termistä vikavirtaa 66 kA ja pystyy katkaisemaan tai kytkemään 66 kA:n vikavirran. Keskuksen suurin jatkuva kolmivaiheinen oikosulkuvirta on 22,87 kA, joten katkaisija on mitoitukseltaan riittävä.

### 6.3 Suojareleet

6 kV:n BBA-sähkökeskuksen katkaisijoita ohjaavat suojareleet ovat Strömbergin valmistamia SPAJ 3M5 J3 tyyppisiä ja muutamassa lähdössä on käytössä SPAJ 3C5 J3 tyyppinen rele. SPAJ 3M5-releen virta-arvoja aseteltaessa on laskettava kaavoja 7, 8 ja 9 käyttäen releeseen asetettavan suhdearvon. SPAJ 3C5-releen asetteluarvot säädetään kääntämällä säätönuppia haluttuun kertoiimen arvoon, eikä erillistä laskukaavaa tarvita. [18.]

Kaava 7. Ylikuormitus  $I_{\vartheta}$ . [18.]

$$\frac{I_{\vartheta}}{I_{Nrele}} = \frac{I_{LV} * I_{Nkuorma} * I_{Nrele}}{I_{MMensiö} * I_{Nrele}}$$

(7.)

missä

$I_{LV}$ =Laukaisuvirran kerroin

$I_{Nkuorma}$ =Kuormituksen nimellisvirta

$I_{Nrele}$ =Releen nimellinen virta

$I_{MMensiö}$ =Mittamuuntajan ensiövirta

Suojattava laite on tässä esimerkkitapauksessa oikosulkumoottori. Kaavan avulla saatu arvo syötetään releeseen, jolloin releen asettelu on halutunlainen.

Esimerkiksi, kun käytössä on 200/5 A:n mittamuuntaja ja ylivirran asettelu arvoiksi halutaan 15 prosenttia nimellistä 184 A:n virtaa suuremmaksi, kaava näyttäisi tältä:

$$\frac{I_{\vartheta}}{I_{Nrele}} = \frac{1,15 * 184 A * 5 A}{200 A * 5 A} = 1,06$$

Kaava 8. Ylivirtaporras  $I_S$ . [18.]

$$\frac{I_S}{I_{Nrele}} = \frac{I_{KV} * I_{Nkuorma} * I_{Nrele}}{I_{MMensiö} * I_{Nrele}}$$

(8.)

missä

$I_{KV}$  = Käynnistysvirta

Ylivirtaporras voidaan asettaa toimimaan  $I^2t$ -periaatteella, jolloin useamman perättäisen käynnistysyrityksen jälkeen rele toimii ja suojelee moottoria yllilämmöltä. Moottorin ottaessa käynnistysvirtaa 6-kertaisesti nimellisvirtaansa nähden, releeseen asetettava arvo lasketaan seuraavasti.

$$\frac{I_S}{I_{Nrele}} = \frac{6 * 184 A * 5 A}{200 A * 5 A} = 5,52$$

Kaava 9. Pikalaukaisu  $I_{\gg}$ . [18.]

$$\frac{I_{\gg}}{I_{Nrele}} = \frac{I_{KV} * I_{Nkuorma} * I_{Nrele}}{I_{MMensiö} * I_{Nrele}}$$

(9.)

Esimerkiksi pikalaukaisun arvolla  $0,75 \times I_S$  (ylivirtaportaan asetteluarvo) laskettaisiin seuraavasti: (Pikalaukaisu ei toimi moottorin käynnistysaikana.)

$$\frac{I_{\gg}}{I_{Nrele}} = \frac{0,75 * 6 * 184 * 5 A}{200 A * 5 A} = 4,1$$

## 6.4 Releiden virtaportaat

Releiden virtaportaiden arvot on laskettu kaavojen avulla tai luettu suoraan releiden näytöltä. Suojalaitteiden virtaportaita ja aikaviiveitä tutkimalla voidaan selvittää niiden selektiivinen toiminta.

Taulukko 15. BBA-kytkinlaitoksen releiden virtaportaiden asetusarvot, virtaportaat ja aikaviiveet

BBA Lähtö	Mittamuunt.	$I_n$ (A)	$I_{\vartheta}$	$I_{\vartheta}$ (A)	$I_{\vartheta}$ (t)	$I_{>}$	$I_{>}$ (A)	$I_{>}$ (t)	$I_{>>}$	$I_{>>}$ (A)	$I_{>>}$ (t)
4	1250	1250	-	-	-	3,8	4750	1,05 s	6	7500	1,05 s
19	150	120	1,37	165	30 min	4,49	540	0,2 s	21,20	2550	0,06 s
18	250	193	1,30	250	30 min	4,68	901	0,2 s	22,08	4250	0,06 s
17	250	193	1,30	250	30 min	4,68	901	0,2 s	22,08	4250	0,06 s
16	150	120	1,37	165	30 min	4,49	540	0,5 s	21,20	2550	0,5 s
15	150	120	1,37	165	30 min	4,49	540	0,5 s	21,20	2550	0,07 s
14	200	154	1,27	196	30 min	4,55	701	0,2 s	22,08	3400	0,06 s
13	75	48	1,70	82	30 min	5,61	270	0,5 s	27,13	1305	0,06 s
3	400	289	1,18	340	15 min	2,91	840	0,11 s	6,10	1760	0,11 s

Taulukko 16. BFE-kytkinlaitoksen katkaisijan virtaportaiden asetusarvot, virtaportaat ja aikaviiveet

BFE Lähtö	$I_n$ (A)	$I_{>}$	$I_{>}$ (A)	$I_{>}$ (t)	$I_{>>}$	$I_{>>}$ (A)
(2)	1250	1,3	1625	4 s	6	7500

BFE-katkaisijan ylivirtasuojaa on aseteltu siten, että se toimii lähdön ylikuormitussuojana. Pikasulkusuojaa taas suojaa lähtöä oikosululta.

Taulukko 17. Savukaasulauhduttimen pääkeskuksen 1BFG01 katkaisijan virtaportaiden asetusarvot, virtaportaajat ja aikaviiveet

1BFG01	$I_n$ (A)	$I_{\theta}$	$I_{\theta}$ (A)	$I_{\theta}$ (t)	$I_{>}$	$I_{>}$ (A)	$I_{>}$ (t)	$I_{>>}$	$I_{>>}$ (A)	$I_{>>}$ (t)
Pääkatk.	3200	0,85	2720	3 s	1,5	4800	0,1 s	12	38400	0 s

Pyrolyysipuolen pääkatkaisijoiden releet eivät vaadi laskukaavoja niiden asetta-  
lua varten. Releiden eri virtaportaiden kertoimet voidaan lukea releen näytöltä.  
Näytöltä näkee myös suoraan virtaportaajan virran arvon.

Taulukko 18. 3BBA-keskuksen releiden virtaportaiden asetusarvot, virtaportaajat ja aikaviiveet

3BBA Lähtö	$U_n$	$I_n$ (A)	$I_{\theta}$ (A)	$I_{>}$ (A)	$I_{>}$ (t)	$I_{>>}$ (A)	$I_{>>}$ (t)
Pääkatkaisija	10,5 kV	1250	368	1248	7s	1520	0,5 s
1	10,5 kV	630	180	630	16 s	684	0,3 s
3	10,5 kV	630	180	630	16s	684	0,3 s

Taulukko 19. Bioöljypuolen katkaisijoiden virtaportaiden asetusarvot, virtaportaajat ja aikaviiveet

Pääkatkaisija	$U_n$	$I_n$ (A)	$I_{\theta}$ (A)	$I_{\theta}$ (t)	$I_{>}$ (A)	$I_{>}$ (t)	$I_{>>}$ (A)	$I_{>>}$ (t)
3BFA	690 V	2500	2250	10 s	9998	0,1 s	50000	0
3BFE	690 V	800	720	10 s	3200	0,4 s	16000	0
3BFB	690 V	2500	2500	10 s	7500	0,4 s	50000	0
3BFF	690 V	800	800	10 s	2400	0,4 s	16000	0

## 6.5 Selektiivisyyden tutkiminen

Virtaselektiivisyyttä tutkittaessa on otettava huomioon keskuksien jännitteet. Jos keskuksat ovat eri jännitetasossa, ei virta-arvoja voi suoraan verrata, vaan ne täytyy redusoida samaan jännitetasoon. Redusointi tapahtuu joko kertomalla virta muuntajan muuntosuhteella, jos halutaan pienempään jännitetasoon tai jakamalla virta muuntajan muuntosuhteella, kun halutaan isompaan jännite-



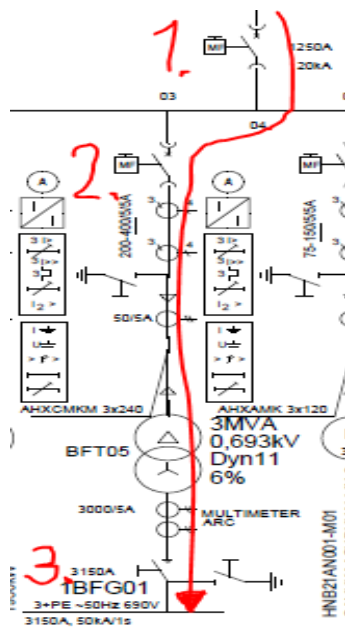
tasoon. Tutkiminen tapahtuu siten, että pääkatkaisijan arvoja vertaillaan muiden katkaisijoiden arvoihin. Virta ja aika-arvojen täytyisi olla pienempiä kuin pääkatkaisijan arvot, jotta ne toimisivat selektiivisesti.

### 6.5.1 BBA-keskuksen selektiivisyys

BBA-keskuksen kaikkien lähtöjen selektiivisyysarvot ovat nähtävissä taulukossa 15. Taulukosta on helppo katsoa, että minkään lähdön suojarleen arvot eivät ylitä pääkatkaisijan lähdön 4 selektiivisen oikosulkusuojuuksen tai pikasulkusuojuuksen oikosulkuvirta-arvoja. Eli keskuksen kaikki suojarleet ovat aseteltu oikein, ja toimivat selektiivisesti.

### 6.5.2 Lähdön 3 selektiivisyys

Kuvassa 9 on osa verkon sähkökaaviosta. Sähkökaaviosta näemme, että katkaisijan 2 ja 3 välillä on muuntaja. Katkaisijan 3 virta-arvot täytyy siis redusoida muuntajan muuntosuhteella ( $6000/690$ ), jotta se saadaan vertailukelpoiseksi katkaisijoiden 1 ja 2 kanssa.



Kuva 9. Selektiivisyyden tutkinta BBA-sähkökeskuksen lähdöltä 3

Taulukko 20. Kuvan 9 katkaisijoiden virta-arvot 6 kV:n tasolla

Katkaisija	$I_{\theta}$ (A)	$I_{\theta}$ (t)	$I_{>}$ (A)	$I_{>}$ (t)	$I_{>>}$ (A)	$I_{>>}$ (t)
1	1250	-	4750	1,05 s	7500	1,05 s
2	340	15 min	840	0,11 s	1760	0,11 s
3	312,8	3 min	552	0,1 s	4416	0 s

Arvoja vertaamalla voidaan todeta, että katkaisijat toimivat virtaselektiivisesti poislukien katkaisijan 3  $I_{>>}$ -arvo. Arvo ylittää katkaisijan 2 arvon, mutta tämän välin selektiivisyys on toteutettu aikaselektiivisyydellä. Katkaisijan 3 vaikutusalueella tapahtuva oikosulku laukaisee katkaisijan välittömästi. Katkaisijalla 2 on käytössä pikalaukaisun aikaviive 110 ms, minkä ansiosta katkaisija 3 kerkeää toimimaan ja katkaisemaan virran, ennen kuin katkaisija 2 toimii.

### 6.5.3 Lähdön 15 selektiivisyys

Selektiivisyysvertailu lähdöllä 15 keskukselta BBA BFE:n kautta keskukselle BME. Tällä välillä olevien kolmen katkaisijan arvot ovat taulukossa 21 alapuolella. Keskuksen BFE lähdön 2 BME-keskusta syöttävän katkaisijan virta-arvot on redusoitu 6 kV:n tasolle muiden katkaisijoiden kanssa.

Taulukko 21. BBA-keskuksen lähdön 15 selektiivisyys

BBA Lähtö	$I_{\theta}$	$I_{\theta}$ (A)	$I_{\theta}$ (t)	$I_{>}$	$I_{>}$ (A)	$I_{>}$ (t)	$I_{>>}$	$I_{>>}$ (A)	$I_{>>}$ (t)
Pääkatk. 4	-	-	-	3,8	4750	1,85 s	6	7500	1,05 s
15	1,37	165	30 min	4,49	540	0,5 s	21,20	2550	0,07 s
BFE (2)	1,3	108	4 s	6	500	0 s	-	-	-

Vertailun jälkeen voidaan todeta, että tämänkin alueen katkaisijat toimivat selektiivisesti.

### 6.5.4 Bioöljypuolen selektiivisyys

Bioöljypuolen keskuksien relesuojauksen selektiivisyyden vertailua varten virtaportaiden arvot on redusoitu 10,5 kV:n tasolle.

Taulukko 22. Bioöljypuolen selektiivisyys

	I <sub>9</sub> (A)	I <sub>9</sub> (t)	I <sub>&gt;</sub> (A)	I <sub>&gt;</sub> (t)	I <sub>&gt;&gt;</sub> (A)	I <sub>&gt;&gt;</sub> (t)
3BBA 2 (Pääkatkaisija)	368	-	1248	7s	1520	0,5 s
3BBA 1	180	-	630	16 s	684	0,3 s
3BBA 3	180	-	630	16s	684	0,3 s
3BFA	148	10 s	657	0,1 s	3286	0 s
3BFE	47	10 s	210	0,4 s	1052	0 s
3BFB	164	10 s	493	0,4 s	3286	0 s
3BFF	53	10 s	158	0,4 s	1052	0 s

Pääkatkaisija on lähdössä kaksi ja sijaitsee selektiivisyysvertailussa kaikista korkeimmalla. Pääkatkaisijan arvoja ei yksikään alempi keskuksen suojarileen asettelu saisi ylittää. Pääkeskuksen jälkeen seuraavana ovat lähtökatkaisijat 1 ja 2. Katkaisijaa 1 seuraavat keskuksat ovat 3BFA, jonka jälkeinen keskus on 3BFE. Katkaisijaa 2 seuraavat keskuksat taas ovat 3BFB, jonka jälkeen seuraa 3BFF. Virta arvojen sekä aikaviiveiden tulisi pienentyä mennessä pääkatkaisijalta kohti alempia keskuksia. Virta ja toiminta-aikoja vertaamalla voimme huomata, että bioöljypuolen suojaus toimii selektiivisesti.

## 7 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli uusida ja päivittää oikosulkuvirrat Joensuuun alueella oleviin voima- ja lämpölaitoksiin. Työ oli melko suuritöinen, koska laskennan kohteina olleita sähköverkkoja oli yhteensä 11 kappaletta. Sähköverkkojen tietojen keruussa kesti oma aikansa, kun useassa tapauksessa tarvittavia tietoja ei heti arkistoista löytynyt ja niitä lähdettiin etsimään kentältä arvokilpitietoina. Tähän työhön kerättyjä arvokilpi ja muita tietoja tuli luultavasti satoja, koska myös kaikkien katkaisijoiden asetteluarvot täytyi selektiivisen toiminnan tutkimiseksi tietää. Tietojen keruuta alueelta helpotti aikaisempi työkokemus voimalaitosalueelta. Kaapelien pituudet on pitkälti mitattu tiedettyjä kaapeliteitejä käyttäen ja rantapumppaamolle kulkevan syöttökaapelin pituus on mitattu karttasovelluksen avulla. Pieniä heittoja kaapeleiden pituuksissa mahdollises-

ti on, mutta koska teollisuusverkkojen kaapelipituudet ovat muutenkin niin lyhyitä, ei näin pienillä heitoilla pituuksissa ole käytännössä merkitystä.

Laskennassa käytetty ABB DOC-ohjelmisto toimi alun sekoiluiden jälkeen hyvin. Ohjelma oli suuri apu näin laajan laskennan toteuttamisessa. Ilman ohjelmiston käyttöä näin laajaa oikosulkuvirtojen laskentaa ei olisi pystytty tekemään. Oikosulkulaskennassa käytettävä standardi määriteltiin IEC 60909:si joten laskennan tuloksia voidaan pitää luotettavina. Ohjelmiston käyttö oli oppimisen jälkeen melko helppoa ja suoraviivaista. Syötettäessä sähköverkon komponenttien arvokilpitietoja on hyvä olla tarkkana tai oikosulkuarvoihin saattaa tulla suurempiakin heittoja väärinä arvoja käytettäessä. Arvojen syöttämisen jälkeen on hyvä muistaa lukita arvot painamalla pientä lukon kuvaa ohjelmasta. Tällöin oikosulkuvirtaa laskettaessa ohjelma ei muuta arvoja. Tässä laskennassa osana olleet suuret tehomuuntajat olivat niin isoja, että DOC:ssa ei suoraan ollut niin suuren teholuokan muuntajia ja laskentatilanteessa DOC muutti niiden tehoarvoja vastaamaan tietokannasta löytyneitä muuntajia. Mutta tämä saatiin estettyä arvojen lukitsemisella. Oikosulkuvirtoja ei ole tarkistettu toisella ohjelmistolla tai käsin laskennalla. Ominaisoikosulkutehon menetelmän avulla olisi melko helppo tarkistaa laskujen suuruusluokkien oikeellisuus näin halutessaan.

Suojauksen selektiivisyyttä olisi syytä tutkia lisää käyttämällä virta-aika käyrästäjä. Tässä työssä käytetty menetelmä ei ole niin tarkka, kuin käyrästäjien avulla suoritettu. Tulisi myös ottaa huomioon suojareleiden virtaportaiden arvojen katkaisutarkkuus ja niiden mahdollinen vaikutus selektiivisyyteen. Vanhojen suojareleiden käyttöohjeita ei löytynyt Internetistä, mutta onneksi voimalaitoksella oli vanha käyttöohjekirja tallessa, jonka avulla releiden arvot saatiin selvitettyä.

Aiheen laajuuden vuoksi sähköverkkoihin ja oikosulkulaskentaan täytyi perehtyä perusteellisesti. Myös selektiivisyyttä tutkittaessa suojareleiden toimintaan täytyi perehtyä syvemmin. Aihetta olisi ollut syytä rajata tarkemmin, jolloin kokonaisuudesta olisi saanut selkeämmän. Työn tavoite täyttyi ja oikosulkuvirtojen laskelmat saatiin päivitettyä jokaisen laitoksen sähköverkkoon. Tietoja voidaan tulevaisuudessa käyttää sähköverkkojen suunnittelussa hyödyksi. Työn suorittaminen antoi erinomaista tietotaitoa tällaisen työn toteuttamisesta.

## Lähteet

1. Elovaara J., Haarla L. Sähköverkot 1. Helsinki: Otatieto 2011
2. Elovaara J., Haarla L. Sähköverkot 2. Helsinki: Otatieto 2011
3. Elovaara J., Laiho Y. Sähkölaitostekniikan perusteet (6. painos). Helsinki: Otatieto 1988
4. Aura L., Tonteri A. Sähkölaitostekniikka. Porvoo: WSOY 1993
5. Huotari K., Partanen J. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen Opetusmoniste 3. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan osasto 1998
6. ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luku 7.
7. Standardi IEC 60909-0 Short-circuit currents in three-phase a.c systems, International electrotechnical commission, 2010
8. ABB DOC-laskentaohjelma. Versio 3.5.5.0002. 4.4.2017
9. Fortum OYJ Pörssitiedote 16.2.2017 . Luettu 12.4.2017  
<https://www.fortum.com/fi/media/pages/fortumin-toimintakertomus-ja-tilinpaatos-2016-julkaistu.aspx>
10. Fortum OYJ Tilinpäätös 2016. Luettu 12.4.2017.  
<https://www.fortum.com/fi/media/pages/fortumin-toimintakertomus-ja-tilinpaatos-2016-julkaistu.aspx>
11. Paikallistiedote Joensuun alueen medioille 18.12.2014. Luettu 12.4.2017  
<https://www.fortum.com/fi/media/pages/fortum-investoi-uuteen-lampolaitokseen-joensuun-nepenmaessa.aspx>
12. Pyrolyysi lehdistötiedote 7.3.2012. Luettu 12.4.2017  
<https://www.fortum.com/fi/media/pages/fortum-rakentaa-ensimmaisen-teollisen-mittakaavan-integroidun-biooljylaitoksen-joensuuhun-1.aspx>
13. ABB Kahvasulakkeen kuva  
[https://www.slo.fi/slo/fi/products/\\_layouts/15/slo/productdetails.aspx?partno=3110581](https://www.slo.fi/slo/fi/products/_layouts/15/slo/productdetails.aspx?partno=3110581)
14. Savukaasulauhdutin Lehdistötiedote 4.11.2014 Luettu 12.4.2017  
<https://www.fortum.com/fi/media/pages/fortum-investoi-energiatehokkaaseen-savukaasulauhduttimeen-joensuussa.aspx>

15. ABB Pienjännitekojeet, esite OF1F1 11-09,  
[https://library.e.abb.com/public/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/1S  
CC317002C1801.pdf](https://library.e.abb.com/public/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/1S CC317002C1801.pdf)
16. ABB katkaisijan kuva  
[http://www07.abb.com/images/librariesprovider84/Products/Circuit-  
breakers/legacy/emax.jpg?sfvrsn=1](http://www07.abb.com/images/librariesprovider84/Products/Circuit-breakers/legacy/emax.jpg?sfvrsn=1)
17. ABB:n suojarole SPAJ 3M5 J3 käyttöohje
18. Fortum Suurimmat osakkeenomistajat Luettu 27.4.2017  
[https://www.fortum.com/fi/sijoittajat/osaketietoa/suurimmat-  
osakkeenomistajat/pages/default.aspx](https://www.fortum.com/fi/sijoittajat/osaketietoa/suurimmat-osakkeenomistajat/pages/default.aspx)
19. Maintpartner Group Yritysesittely Toukokuu 2017  
[http://www.maintpartner.fi/images/PDF/Maintpartner\\_Group\\_yritysesittely.  
pdf](http://www.maintpartner.fi/images/PDF/Maintpartner_Group_yritysesittely.pdf)
20. Fortum biolämpölaitos, Lehdistötiedote 26.5.2009. Luettu 27.4.2017  
[https://www.fortum.com/fi/media/pages/fortumin-joensuun-biolampolaitos-  
harjannostokorkeuteen.aspx](https://www.fortum.com/fi/media/pages/fortumin-joensuun-biolampolaitos-harjannostokorkeuteen.aspx)

Liitteet

