



# iControl-sähkökeskuksen oikosulkukestoisuuden määrittäminen

Tino Ranta

OPINNÄYTETYÖ  
Kesäkuu 2022

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Sähkövoimatekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Sähkövoimatekniikka

RANTA TINO:

iControl-sähkökeskuksen oikosulkukestoisuuden määrittäminen

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 0 sivua  
Kesäkuu 2022

---

Opinnäytetyö tehtiin Glaston Finland -nimiselle yritykselle. Työn tarkoituksena oli saada ajankohtaisia tietoja iControl-sähkökeskuksen oikosulkukestoisuudesta. Työtä varten valittiin tarkasteltavaksi kaksi eri lasin tasokarkaisulinjaa, joista toinen sijaitsee Yhdysvalloissa ja toinen linjoista toimitetaan Liettuassa. Yhdysvalloissa sijaitseva linjasto on suunniteltu UL standardin mukaisesti ja Liettuassa sijaitseva linjasto IEC-standardin mukaisesti. iControl-sähkökeskukset ovat osa Glastonin valmistamia lasin tasokarkaisulinjoja. Oikosulkulaskentaan ja verkon topologian mallinnukseen käytettiin EATON:in Xspider -ohjelmaa. Teoreettinen painopiste työssä oli oikosulkulaskennassa ja karkaisulinjoissa käytettävissä suojalaitteissa.

Työssä perehdyttiin ensin erilaisiin oikosulkuvirtoihin ja kaavoihin, joilla näiden oikosulkuvirtojen arvot saadaan laskettua. Työssä esitellään myös keskeiset suojalaitteet, joita keskuksista löytyy. Laskentaa varten keskuksen sisältä katsottiin muutamia eri kohtia, joista haluttiin selvittää oikosulkuvirran arvo. Näiden oikosulkuvirtojen arvojen avulla voitiin tarkastella, kestävätkö suojalaitteet kyseisiä oikosulkuvirtoja.

Työn aikana huomattiin, että Xspider-ohjelman avulla saatiin laskettua tarpeeksi tarkat arvot oikosulkuvirroille, joiden avulla voitiin tarkastella suojalaitteiden kestävyttä kyseisillä oikosulkuvirroilla. Ohjelman sisällä pystyttiin tarkastelemaan suojalaitteiden läpipäästövirta kuvaajia, joiden avulla nähtiin minkä verran kyseinen suojalaite rajoittaa oikosulkuvirtaa. Ohjelma ei osannut huomioida tätä ominaisuutta laskuissa, joten tarkastelut tehtiin käsin ja virtojen arvot merkittiin kuviin ylös. Oikosulkukestoisuudet keskuksille voitiin määrittää suojalaitteiden kestävien oikosulkuvirtojen avulla.

Opinnäytetyön tuloksiin oltiin Glastonilla tyytyväisiä. Työn ansiosta keskusten oikosulkukestoisuudesta saatiin ajankohtaista tietoa.

---

Asiasanat: oikosulkukestävyys, oikosulku, oikosulkusuojaus

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Electrical and Automation Engineering  
Power Engineering

**RANTA TINO:**

Determination of Short-Circuit Withstand Strength in iControl Electrical Cabinets

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 0 pages  
June 2022

---

This thesis was made for a company called Glaston Finland. The purpose of this thesis was to get up to date information about short-circuit withstand strength of iControl electrical cabinets. Two different glass tempering lines were selected for a review. One of the lines is in the United States and it follows UL standards. The second line is in Lithuania and follows IEC standards. Theoretical focus of this thesis was in short-circuit current calculation and in the protective equipment used in the tempering lines.

The EATON Xspider software was used to create a topology about the node that was under review. Calculations focus on a few different positions that were pre-determined by Glaston. Short-circuit current calculations were done in the Xspider software. One of the positions is the shortest heating output because it has the strongest short-circuit current. This thesis gives a general discussion on the most common short-circuit protection devices used in these glass tempering lines.

Glaston was happy with the results given in this thesis as it provided up to date information about the short-circuit withstand strength in the electrical cabinets. The Xspider software was able to calculate the short-circuit currents needed for this thesis. From the topology created in the software it was easy to determine the short-circuit withstand strength for the electrical cabinets under review.

---

Key words: short-circuit withstand strength, short-circuit, short-circuit protection

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	GLASTON.....	7
	2.1 Press Glass.....	8
	2.2 FC-Series.....	9
3	OIKOSULKUVIRRAT.....	10
	3.1 Oikosulkuvirran luonne.....	10
	3.1.1 Prospektiivinen oikosulkuvirta .....	12
	3.1.2 Dynaaminen oikosulkuvirta.....	12
	3.1.3 Terminen kestovirta.....	13
	3.2 Oikosulkutilanteet.....	14
4	OIKOSULKUSUOJAUS .....	16
	4.1 Ilmakatkaisija.....	16
	4.2 Kompaktikatkaisija .....	17
	4.3 Johdonsuoja.....	18
	4.4 Sulake .....	19
	4.5 Back-up suojaus.....	20
5	EATON XSPIDER- OHJELMA.....	22
6	Oikosulkukestoisuuden tarkastelu .....	23
	6.1 Press Glass UAB .....	23
	6.2 Press Glass INC.....	25
7	POHDINTA .....	31
	LÄHTEET.....	32

## LYHENTEET JA TERMIT

$A$	tasavirtakomponentti
$c$	jännitekerroin
$I_{cu}$	katkaisukykyvirta
$I_{cw}$	lyhytaikainen mitoituskestovirta
$I_k''$	alkuoikosulkuvirta
$I_k'$	oikosulkuvirran jatkuvuustilan arvo
$I_{k1}''$	yksivaiheinen oikosulkuvirta
$I_{k2}''$	kaksivaiheinen oikosulkuvirta
$I_{k3}''$	kolmivaiheinen oikosulkuvirta
$I_p$	sysäysoikosulkuvirta
$k$	sysäyskerroin
$R$	resistanssi
SCCR	short circuit current rating, oikosulkukestoisuuden tehollisarvo. Termi on käytössä Pohjois-Amerikassa
$U_n$	syöttävän verkon jännite
$X$	reaktanssi
$Z_k$	impedanssi vikapaikasta katsottuna
$\bar{Z}_0$	nollakomponenttiverkon impedanssi
$\bar{Z}_1$	myötäkomponenttiverkon impedanssi
$\bar{Z}_2$	vastakomponenttiverkon impedanssi
$W$	terminen kestovirta

## 1 JOHDANTO

Toimeksiannon tähän opinnäytetyöhön teki Glaston Finland Oy. Glaston on suomalainen lasinjalostusteknologiayhtiö, joka etsi opinnäytetyön tekijää määrittämään iControl sähkökeskusten oikosulkukestoisuutta. Olen ollut Glastonilla useampana kesänä töissä opiskeluiden aikana, ja sitä kautta oli helpompi lähteä tekemään opinnäytetyötä, kun tasokarkaisulinjastojen toiminta ja sähköistys olivat tulleet jo hieman tutuiksi.

Opinnäytetyö tehdään, jotta Glaston ja keskusvalmistaja saisivat päivitettyä tietoa keskuksien oikosulkukestoisuudesta. Tulokset tulevat auttamaan komponenttien valinnoissa.

Oikosulkukestoisuuden tarkasteluun käytetään apuna EATON Xspider ohjelmaa, jonka avulla mallinnetaan verkon topologiaa. Ohjelman avulla saadaan tarvittavien laskujen tulokset näkyviin ja ohjelma helpottaa oikosulkukestoisuuden tarkastelua.

Työn tarkoituksena on tarkastella kahden eri lasintasokarkaisulinjaston oikosulkukestoisuuksia. Toinen linjoista on asennettu Yhdysvaltoihin ja toinen linja asennetaan Liettuaan. Linjojen sijainneilla on vaikutus työn tuloksiin, koska toisen linjaston suunnittelussa noudatettiin IEC- standardin ja toisen suunnittelussa noudatettiin UL- standardin mukaisia säädöksiä. Standardien suurimmat erot suunnittelussa näkyvät komponenttien valinnoissa ja keskuksen oikosulkukestoisuuden määrittämisessä.

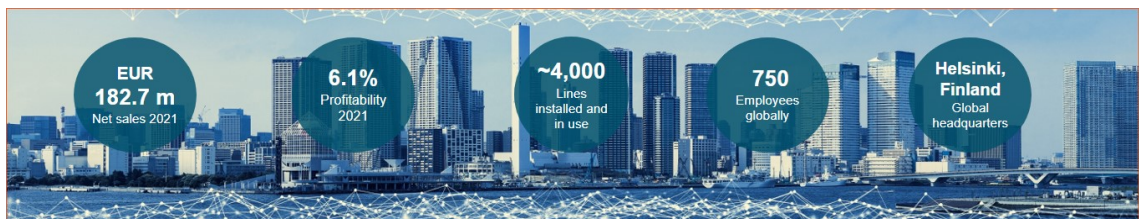
Oikosulkulaskennassa keskitytään linjaston uunin lyhimpään vastuslähtöön, jotta saadaan tietoon suurin mahdollinen keskuksen laitteistoon vaikuttava oikosulkuvirta. Laskennassa jätetään liikepuolen moottorit pois laskuista, koska ne kaikki ovat taajuusmuuttaja ohjattuja. Laskennan tuloksien avulla voidaan arvioida, onko projekteilla käytetyt komponentit mitoitettu oikosulkukestoisuudeltaan sopivalle tasolle. Laskennan tulosten pohjalta saadaan tieto suurimmasta keskuksella vaikuttavasta oikosulkuvirran arvosta, kestävätkö käytettävät komponentit kyseistä oikosulkuvirtaa.

## 2 GLASTON

Glastonin liiketoiminta alueisiin kuuluu kehittää, valmistaa, myydä koneita ja niihin liittyviä palveluita lasinjalostajille. Glastonin asiakkaat jalostavat ja myyvät lasseja eri tarkoituksiin, kuten rakennus-, ajoneuvo-, aurinkoenergialaite-, kaluste- ja laitteellisuuden käyttöön. (Glaston n.d.)

Glaston on lasinjalostusteollisuuden innovatiivinen teknologiajohtaja, joka tarjoaa laitteita, palveluita ja ratkaisuja lasinjalostajien erilaisiin tarpeisiin. Glaston myös tukee uusien, lasiin älyä integroivien teknologioiden kehitystä. (Glaston 2020.)

Glaston on sitoutunut tarjoamaan asiakkailleen sekä parasta tietotaitoa että viimeisimpiä teknologioita lasinjalostuksen alalla. Glastonin tarkoituksena on rakentaa parempaa huomista turvallisemmilla, älykkäämmillä ja energiatehokkaammilla ratkaisuilla. Glaston toimii globaalisti tuotannon, palveluiden ja myynnin saralla yhdessätoista maassa. Glastonin osake (GLA1V) on noteerattu Nasdaq Helsinki Oy:ssä. (Glaston 2020.) Kuvasta 1 on nähtävissä Glastonin netto myynnit, kannattavuusprosentti, asennettujen ja käytössä olevien linjojen lukumäärä, työntekijöiden määrä maailmanlaajuisesti ja myöskin pääkonttorin sijainti.



KUVA 1. Tietoja Glastonista (Glaston 2022)

Glastonin verkkosivuilla Glaston sijoituskohteena kerrotaan Glaston Heat Treatment osiossa seuraavaa: ”Glaston tarjoaa laajan ja teknisesti edistyksellisen valikoiman lasin lämpökäsittelykoneita, huolto-, päivitys- ja modernisointipalveluita sekä varaosia lasin tasokarkaisuun, taivutukseen, taivutuskarkaisuun ja laminointiin.” (Glaston n.d.)

Glaston on markkinoiden tunnetuin lasinkarkaisukoneiden valmistaja ja nopeiten kasvava laminointilinjojen valmistaja. Kilpailijoista Glaston erottuu laajalla ja vahvalla prosessiosaamisella, joka mahdollistaa edistyksellisimmän teknologian tarjoamisen alhaisimmilla tuotantokustannuksilla. (Glaston n.d.)

## 2.1 Press Glass

Press Glass on vuonna 1991 Puolassa perustettu lasinjalostus alan yritys. Tänä päivänä se on maailmanlaajuisesti tunnettu jalostetun tasolasin tuottaja, joka palvelee rakennusteollisuutta. Vuonna 2017 Press Glass osti Pohjois-Amerikkalaisen Glass Dynamics Inc:in, joka perustettiin vuonna 1985. Press Glass on rakentamassa Pohjois-Amerikkaan uutta modernia ja teknologisesti kehittyntä tehdasta Henry Countyyn. (Press Glass n.d.a.)

Press Glass on lasinjalostus yritys, jolla on yli 3000 työntekijää ja neljätoista tehdasta Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Tehtaat ovat erikoistuneet erilaisten tuotteiden valmistukseen ja vastaamaan erilaisia odotuksia. Kokonaisuutena tehtaat muodostavat kuitenkin tehokkaan verkoston. Tehtaat pitävät sisällään 44 IGU tuotanto linjastoa ja 23 tasokarkaisu linjastoa, joista kaksi on tarkoitettu kaarevien lasien käsittelyyn. (Press Glass n.d.b.) Press Glass on Glastonille merkittävä asiakas ja heillä on yhteensä 18 tasokarkaisulinjastoa hankittuna Glastonilta.

Tällä hetkellä Press Glass:in tuotanto 93 miljoonaa ft<sup>2</sup> (8,639 milj. m<sup>2</sup>) lasiyksikköä vuosittain. Press Glass tekee yhteistyötä satojen kanta-asiakkaiden kanssa Euroopassa ja muilla mantereilla. Tuotteiden valmistukseen käytetään lasia vuosittain yli 210 miljoonaa ft<sup>2</sup> (19,5 milj. m<sup>2</sup>). (Press Glass n.d.c.)

## 2.2 FC-Series

Työssä tarkastellaan kahden Glastonin FC-Series tasokarkaisulinjaston sähkökeskuksien oikosulkukestoisuutta. FC-Series tasokarkaisulinjastoja käytetään lasin tasokarkaisussa. Linjaston avulla karkaistuja lasia käytetään arkkitehtuuriin käyttökohteisiin.



KUVA 2. FC-Series tasokarkaisulinjasto (Glaston 2018)

Tasokarkaisulinjasto voidaan jakaa neljään eri osioon. Ensimmäisenä osiona tulee lastauskuljetin, jolle lastataan karkaistavat lasipaneelit. Seuraavaksi lasipaneelit siirtyvät uuniin, joka koostuu useista eri lämmitys osioista. Uunin katolla on puhaltimet, joiden avulla saadaan parannettua konvektiota uunin sisällä. Uunin sisällä paneelit liikkuvat eteen- ja taaksepäin, jotta lasit lämpenevät tasaisemmin. Uunista lasipaneelit siirtyvät jäähdytys osioon, jossa lasipaneelit jäähdytetään puhaltamalla ilmaa ohjattavista suuttimista paneeleja kohti. Lasien jäähdyttyä paneelit siirtyvät purkaus kuljettimelle, josta valmiit karkaistut lasipaneelit puretaan pois linjastolta.

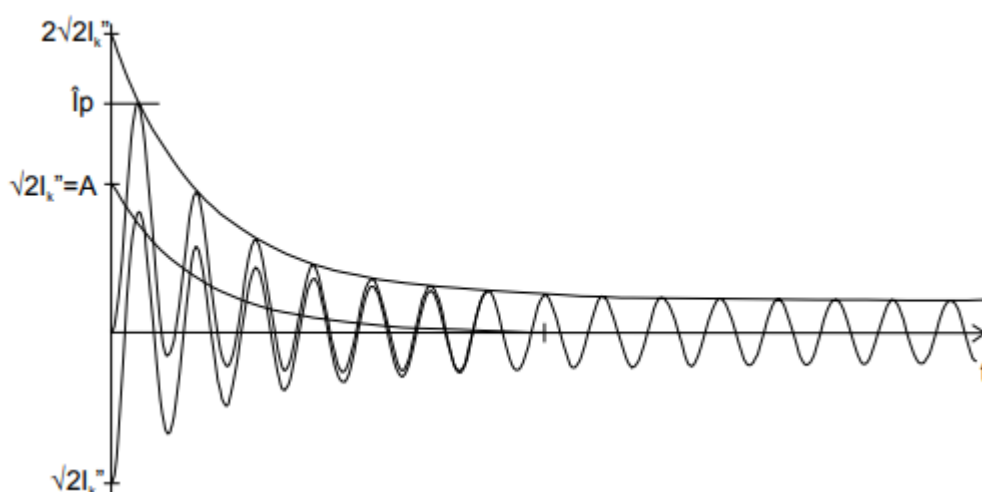
Kuvasta 2 nähtävässä linjastossa on näkyvissä oikealla jäähdytys kammion ja purkauskuljettimen välissä Glastonin iLook järjestelmä, joka auttaa asiakasta valvomaan valmistettavien lasipaneelien laatua. Järjestelmä ei kuulu peruslinjastoon ja se myydään lisäosana koneen yhteydessä tai jälkikäteen asiakkaan jo olemassa olevaan linjastoon.

### 3 OIKOSULKUVIRRAT

Oikosulku syntyy, kun johtimet tai kiskot joutuvat kosketuksiin toistensa kanssa. Oikosulun tapahtuessa syntyy suurta ylivirtaa, joka aiheuttaa termistä ja sähködynaamista rasitusta laitteissa. Sähkökeskuksissa oikosulku voi syntyä keskuksessa sijaitsevassa syöttökaapelissa tai keskuksen sisällä sijaitsevassa laitteessa.

#### 3.1 Oikosulkuvirran luonne

Oikosulkuvirta voi olla symmetrinen tai epäsymmetrinen. Kuvasta 3. on huomattavissa vaihtovirtakomponentti, jossa voi olla vaimeneva osa. Kuvasta 3 voidaan nähdä myös vaimeneva tasavirtakomponentti  $A$ , jonka suuruuteen vaikuttaa oikosulun syntyhetki ja piirin  $R/X$  suhde. Symmetrisen oikosulkuvirran tehollisarvoa vian syntyhetkellä kuvaa alkuoikosulkuvirta  $I_k''$ , jonka suuruuteen vaikuttavat generaattorien reaktanssit vian alkutilanteessa. Reaktanssit kasvavat vian aikana, mikä aiheuttaa virran vaimenemisen jatkuvuustilan arvoon  $I_k'$ . Sysäsoikosulkuvirta  $i_p$  on oikosulkuvirran ensimmäisen huipun hetkellisarvo, kun otetaan huomioon myös vikavirran tasavirtakomponentti. (ABB 2000.)



KUVA 3. Oikosulkuvirran kuvaaja (ABB 2000).

Oikosulkuvirta voidaan laskea Theveninin menetelmällä, jossa komponentit ja lähteet korvataan oikosulkuimpedansseilla ja vikapaikkaan sijoitetaan ekvivalenttinen jännitelähde, jolloin saadaan seuraavanlainen kaava:

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{Z_k}} \quad , \quad (1)$$

jossa  $I''_{k3}$  = kolmivaiheinen oikosulkuvirta  
 $c$  = kuvan 4 mukainen jännitekerroin,  
 $U_n$  = syöttävän verkon jännite,  
 $Z_k$  = impedanssi vikapaikasta katsottuna. (ABB 2000.)

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 <sup>c</sup> 1,10 <sup>d</sup>	0,95 <sup>c</sup> 0,90 <sup>d</sup>
High voltage <sup>b</sup> >1 kV to 230 kV (IEC 60038:2009, Tables 3, 4)	1,10	1,00
High voltage <sup>b, e</sup> > 230 kV (IEC 60038:2009, Table 5)	1,10	1,00

<sup>a</sup>  $c_{max} U_n$  should not exceed the highest voltage  $U_m$  for equipment of power systems.  
<sup>b</sup> 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.  
<sup>c</sup> For low-voltage systems with a tolerance of  $\pm 6\%$ , for example systems renamed from 380 V to 400 V.  
<sup>d</sup> For low-voltage systems with a tolerance of  $\pm 10\%$ .  
<sup>e</sup> For nominal system voltages related to  $U_m > 420$  kV, the voltage factors  $c$  are not defined in this standard.

KUVA 4. IEC 60909- standardin mukainen jännitekerroin  $c$  (IEC60909 2016).

Kuvasta 4 nähtävillä  $C_{max}$  ja  $C_{min}$  arvoilla saadaan laskettua maksimi- ja minimi-oikosulkuvirrat.

### 3.1.1 Prospektiivinen oikosulkuvirta

Virran tehollisarvoa oikosulussa kutsutaan prospektiiviseksi oikosulkuvirraksi ja siinä kytkin- ja suojalaitteiden impedanssiksi oletetaan  $0\Omega$ . Usein sulakkeiden laukaisukäyrien tulkinnan yhteydessä tulee vastaan prospektiivinen oikosulkuvirta käsite. IEC60909-0 – standardin kohdassa 1.3.3 käsitellään prospektiivista oikosulkuvirtaa. (Koskela 2019 s.9.)

### 3.1.2 Dynaaminen oikosulkuvirta

Dynaamisesta oikosulkuvirrasta käytetään myös nimitystä sysäysoikosulkuvirta ja se koostuu vaihtovirtakomponentista ja vaimenevasta tasavirtakomponentista. Tasavirtakomponenttia ei esiinny symmetrisessä oikosulussa, kun kaikki kolme vaihetta ovat keskenään symmetrisesti oikosulussa. (Koskela 2019 s.10.)

Laitteiden mekaaninen mitoitus tehdään yleensä sysäysoikosulkuvirran perusteella. Sysäysoikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla:

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

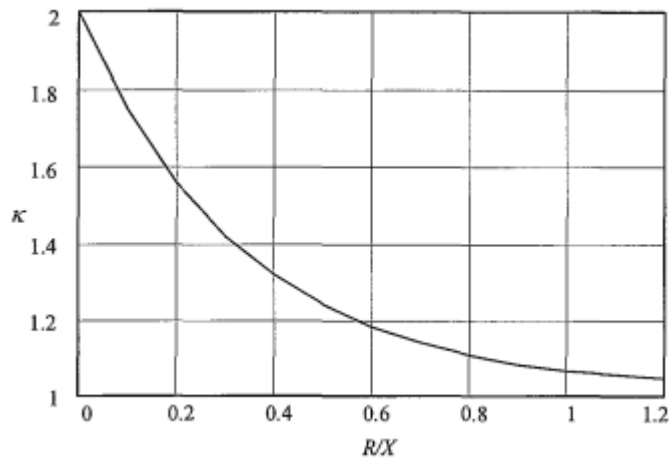
Jossa  $\kappa$  = sysäyskerroin

$I_k''$  = alkuoikosulkuvirran tehollisarvo

Sysäyskerroin on riippuvainen oikosulkupiirissä vallitsevien resistanssin  $R$  ja reaktanssin  $X$  suhteesta. Sysäyskerroin voidaan määrittää kuvasta 5 tai kaavalla:

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

(Huotari, Partanen 1998 s.29.)



KUVA 5. Sysäyskertoimen  $\kappa$  riippuvuus oikosulkupiirin  $R/X$  suhteesta (Huotari, Partanen 1998 s.29.)

Sysäyskertoimen arvona voidaan käyttää suurjännitteellä arvoa  $\kappa = 1,8$  ja pienjännitteellä sysäyskertoimen arvot löytyvät kuvasta 6 (Huotari, Partanen 1998 s.29.).

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

KUVA 6. Pienjänniteverkon sysäysoikosulkuvirran suhde oikosulkuvirran tehollisarvoon (Huotari, Partanen 1998 s.29.)

### 3.1.3 Terminen kestovirta

Terminen kestovirta vaikuttaa usein myös laitteiden mitoitukseen ja valintaan. Yleensä 1 tai 3 sekunnin arvona esitetty termien kestovirta tarkoittaa oikosulkuvirran kestoisuutta lämpenemän kannalta. Ekvivalenttinen 1 s oikosulkuvirta voidaan laskea yhtälöllä:

$$W = R \cdot I^2 \cdot t \rightarrow I_{1s}^2 \cdot 1s \rightarrow I_{1s} = I_k'' \cdot \sqrt{\frac{t}{s}} \quad (4)$$

(Hietalahti 2009 s.5.).

### 3.2 Oikosulkutilanteet

Oikosulkuvirta voi olla yksi-, kaksi- tai kolmivaiheinen. Yksivaiheinen oikosulku tarkoittaa vaihejohdon ja nollajohdon välistä vikaa. järjestelmän verkon tähtipisteen ollessa suoraan maadoitettu, myös maan ja vaiheen välinen vika on oikosulkutyypinen. Jos verkon tähtipistettä ei ole kytketty suoraan maahan, vaiheen ja maan välinen vika on maasulku ja vikavirta jää pieneksi. Kolmivaiheisessa oikosulussa syntyy yleensä suurin vikavirta, jonka takia tätä arvoa käytetään oikosulkusuojauksen perustapauksena. Kolmivaiheinen oikosulku on laskennallisesti perustapaus, koska oikosulkutilanteessa syntyy vain kolmivaiheverkon komponenteille tavallisia myötäimpedansseja eli oikosulkuimpedansseja. (Huotari, Partanen 1998 s.15.)

Kaavan 1 avulla voidaan laskea kolmivaiheisen oikosulun oikosulkuvirta. Kaksivaiheisen oikosulun oikosulkuvirta saadaan seuraavalla yhtälöllä:

$$I''_{k2} = \frac{c \cdot U_n}{|\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2|}, \quad (5)$$

jossa  $I''_{k2}$  = kaksivaiheinen oikosulkuvirta  
 $\bar{Z}_1$  = myötäkomponenttiverkon impedanssi  
 $\bar{Z}_2$  = vastakomponenttiverkon impedanssi.

Jos oikosulku tapahtuu kaukana generaattoreista, voidaan olettaa, että  $Z_1 \sim Z_2$ , jolloin kaava 5 voidaan muuttaa muotoon:

$$I''_{k2} = \frac{c \cdot U_n}{2 \cdot |\bar{Z}_1|} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_{k3}, \quad (6)$$

Yksivaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_0|}, \quad (7)$$

jossa  $I''_{k1}$  = yksivaiheinen oikosulkuvirta

$\bar{Z}_1$  = myötäkomponenttiverkon impedanssi

$\bar{Z}_2$  = vastakomponenttiverkon impedanssi

$\bar{Z}_0$  = nollakomponenttiverkon impedanssi.

Jos oikosulku tapahtuu kaukana generaattoreista, voidaan olettaa, että  $Z_1 \sim Z_2$ , jolloin kaava 7 voidaan muuttaa muotoon:

$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|2 \cdot \bar{Z}_1 + \bar{Z}_0|} \quad (8)$$

(ABB 2000.).

## 4 OIKOSULKUSUOJAUS

Tässä luvussa keskitytään työssä tarkasteltavien tasokarkaisulinjojen keskuk-  
sissa sijaitseviin suojalaitteisiin, joilla linjojen oikosulkusuojaus on toteutettu.  
SFS-EN 60947-1 standardissa käsitellään kytkinlaitteiden yleisiä ominaisuuksia  
ja SFS-EN 60947-2 standardissa käsitellään katkaisijoita alle 1000 VAC tai 1500  
VDC sovelluksissa (ST53.45 2015 s.4).

### 4.1 Ilmakatkaisija

Ilmakatkaisijassa pääkoskettimet ovat vapaassa normaalin ilmanpaineen tilassa.  
Katkaisijoiden runko koostuu yleisesti ottaen metallirungosta. Koskettimien  
auki/kiinni ohjaus tapahtuu jousivoimalla. Jousien viritys tapahtuu käsin tai moot-  
torilla. Katkaisijaa ohjataan painonapeilla etulevystä tai kauko-ohjauksella työvir-  
ran tai alijännitetekelejen avulla. (ST53.45 2015 s.5.)

Ilmakatkaisijalla on eri käyttökohteita esimerkiksi pääkytkimenä keskusten, kaa-  
peleiden ja kiskostojen suojauksessa sekä moottoreiden suojauksessa. Ilmakat-  
kaisijaa suositellaan käytettäväksi kohteissa, joissa käyttökertoja tulee useita tai  
kohteessa hyödynnetään kauko-ohjausta. Ilmakatkaisija on mekaanisesti kestä-  
vämpi, kuin kompaktikatkaisija ja kestää paremmin laukaisuiden hidastuksia.  
(ST53.45 2015 s.6.)



KUVA 7. EATON IZMX40N3-V25F-1 (EATON 2022a).

Ilmakatkaisijat eivät pääosin kykene rajoittamaan virtaa oikosulussa. Virtaa rajoitavia ilmakatkaisijoita on markkinoilla, mutta ne ovat huonoja rajoittamaan virtaa, joka johtuu niiden suuren koon aiheuttamasta mekaanisesta hitaudesta. (ST53.45 2015 s.12.) Riippuen käytettävästä tyypistä ilmakatkaisijoiden oikosulkuvirran katkaisukyky ( $I_{cu}$ ) on yleensä 50kA – 100kA.

Glastonin lasintasokarkaisulinjastoissa ilmakatkaisijaa käytetään pääkatkaisijana, jos linjaston nimellisvirta on yli 1600 A IEC standardin mukaisissa projekteissa ja UL standardin mukaisissa koneissa virran ollessa yli 1200 A. Toisella työssä tarkastellussa olevassa projektilla Press Glass UAB on käytetty kuvan 7 mukaista ilmakatkaisijaa pääkatkaisijana.

## 4.2 Kompaktikatkaisija

Kompaktikatkaisijan rakenne koostuu valetusta kotelosta ja eristeaineesta. Katkaisijan pääkoskettimia käytetään mekaanisesti vivun avulla. Katkaisijan pääkoskettimia käytetään yleensä mekaanisesti käyttövivun avulla. (ST53.45 2015 s.4.)

Kompaktikatkaisijaa käytetään esimerkiksi pienempien keskuksien pääkytkimenä, kaapelin, kiskoston, moottorin tai muuntajan suojaukseen. Kompaktikatkaisijoita käytetään aina  $\leq 630$  A:lla. Esimerkiksi liikekiinteistöjen pääkytkimenä ja alakeskuslähdeissä, joissa käyttökerrat ovat vähäisiä käytetään 800–1600 A:n kompaktikatkaisijaa. 1600 A:sta suuremmat katkaisijat ovat yleensä ilmakatkaisijoita lukuun ottamatta muutamaa poikkeusta. (ST53.45 2015 s.6.)



KUVA 8. EATON NZMN2-A200 (EATON 2022b).

Oikosulussa kompaktikatkaisijoilla on kyky rajoittaa virtaa katkaisemalla piiri niin nopeasti, että virta ei ehdi saavuttamaan huippuarvoaan. Tämän ominaisuuden takia virtaa rajoittavan katkaisijan jälkeen on mahdollista valita komponentteja tai keskuksia rajoittamatonta oikosulkuvirtaa pienemmän oikosulkukestoisuuden mukaan. Näissä tapauksissa keskuksista pitäisi löytyä kilpi, josta käy ilmi käytettävän suojalaitteen avulla saavutettava ehdollinen oikosulkuvirta. (ST53.45 2015 s.12.) Riippuen käytettävästä tyyppistä kompaktikatkaisijoiden oikosulkuvirran katkaisukyky (Icu) on yleensä 50kA – 150kA.

Kompaktikatkaisijoita käytetään tasokarkaisulinjastoissa useissa eri kohdissa. Kuvan 8 mukaista katkaisijaa käytetään Press Glass UAB projektilla esimerkiksi lämmitys alueiden pääkatkaisijana.

### **4.3 Johdonsuoja**

Johdonsuojakatkaisijat ovat yleensä ylikuormituslaukaisimia varustettuna bi-metallireleellä sekä pikalaukaisimia varustettuna lyöntiankkurilla. Toiminta-aikakäyrät määrittävät pitkälti johdonsuojakatkaisijan toimintaominaisuuksia. Standardissa SFS-EN 60898 on määritelty B-, C- ja D-käyrät. Edellä mainittujen käyrien lisäksi on olemassa valmistajakohtaisia käyriä, kuten A, K ja Z, jotka on määritelty standardissa SFS-EN 60947-2. (ST53.45 2015 s.3.) B-käyrä on nopean laukaisun käyrä ja tämän käyrän mukaisia johdonsuojia käytetään yleensä resistiivisten kuormien, johdonsuojauksen, lämmityksen tai valaistuksen kanssa. C-käyrä on hitaan laukaisun käyrä ja käyttökohteet ovat samat kuin B-käyrällä varustetuissa johdonsuojissa. Niiden lisäksi sitä käytetään lievästi induktiivisten ja kapasitiivisten kuormien kanssa. (ST53.45 2015 s.4.) Johdonsuojakatkaisijat rajoittavat virtaa oikosulussa toimimalla niin nopeasti, että oikosulkuvirta ei ehdi saavuttamaan huippuarvoaan (ST53.45 2015 s.12). Riippuen käytettävästä tyyppistä johdonsuojien oikosulkuvirran katkaisukyky (Icu) on yleensä 4,5kA – 25kA.



KUVA 9. EATON PLSM-B20-MW (EATON 2022c).

Johdonsuojakatkaisijoita käytetään useaan eri tarkoitukseen linjastossa. Esimerkiksi kuvan 9 mukaisia johdonsuojia käytetään Press Glass UAB projektilla suojaamaan lämmitys vastuksia ja kaapeleita.

#### 4.4 Sulake

Sulakkeet ovat edullisia ja helppohuoltoisia ylikuormitus- ja oikosulkusuojia. Sulake koostuu hiekalla täytettyyn keraamiseen kuoreen koteloidusta metallilangasta tai -luiskasta. Sulakkeen toiminta perustuu langan tai luiskan sulamiseen ylivirran lämmittäessä lankaa liikaa. Langan tai luiskan katkettua on sulake vaihdettava uuteen. (Timlin 2020 s.21.) Sulakkeet kykenevät rajoittamaan oikosulkuvirtaa. Sulakkeiden virran rajoitus perustuu sulakelangan tai liuskan sulamiseen ja valokaareen, joka nostaa sulakkeen impedanssin niin korkeaksi, että valokaari sammuu ja virta hiipuu. (Timlin 2020 s.28.) Riippuen käytettävästä tyypistä sulakkeiden oikosulkuvirran katkaisukyky (Icu) on yleensä erittäin hyvä 100kA – 300kA.



KUVA 10. Putkisulake ja sulakkeen pidike (Eplan PressglassINC 2022).

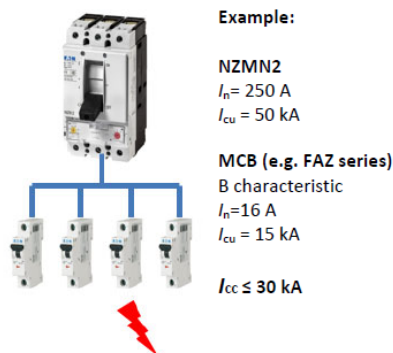


KUVA 11. Kuutiosulake ja sulakkeen pidike (Eplan PressglassINC 2022).

Glastonin koneissa sulakkeita käytetään yleensä UL-standardin mukaan tehtävissä koneissa. Esimerkiksi lämmityspiireissä on käytetty esimerkiksi kuvan 10 mukaisia 20A CC putki ja kuvan 11 mukaisia 40A CF kuutiosulakkeita.

#### 4.5 Back-up suojaus

Back-up- suojausta tarvitaan oikosulkuvirran ylittäessä suojalaitteen katkaisukyvyn asennuspaikassa. Kuormanpuoleisen suojalaitteen katkaisukyvyn ylittyessä tarvitaan syötön puolelle etukoje, joka suojaa kuormanpuoleista suojalaitetta. Syötön puoleisena laitteena on yleisimmin sulake tai katkaisija. Kuvasta 12 voidaan nähdä, että yksi kompaktikatkaisija voi toimia back-up-suojana yhdelle tai useammalle laitteelle samanaikaisesti. (Timlin 2020 s.36.)



KUVA 12. Back-up- suojaus (Timlin 2020 s.36.)

Back-up-suojauksella voidaan parantaa kuormalaitteiden antamaa suojausta. Tämän suojamenetelmän käyttö voi aiheuttaa ongelmia selektiivisyyden kanssa, koska etukoje voi laueta vikatilanteessa ennen kuormanpuoleisia laitteita, jolloin syöttö kaikkiin laitteisiin katkeaa. Back-up-suojausta käyttämällä parannetaan kuorman puolella sijaitsevan suojalaitteen katkaisukykyä, jolloin laite saadaan

katkaisemaan suurempia virtoja, joita se ei itsenäisesti pysty katkaisemaan. Back-up-suojaukseen käytettävät laitteet ja parantunut katkaisukyky täytyy aina katsoa valmistajan tarjoamista taulukoista. Yleisin back-up-suojausta tarvitseva laite on johdonsuojakatkaisija, koska niiden katkaisukykyvirta-alue (6–25 kA) on pienempi sulakkeisiin tai kompaktikatkasijoihin verrattuna. (Timlin 2020 s.36.)

Työssä tarkasteltavassa Pressglass UAB linjastossa on käytetty back-up-suojausta esimerkiksi uunin lämmityksen vastuslähdeissä. Lähdeissä on kompaktikatkaisija, jonka jälkeen on useampia johdonsuojia kuvan 12 mukaisesti.

## 5 EATON XSPIDER- OHJELMA

EATON Xspider- ohjelma mahdollistaa erilaisten pienjännite verkkojen mallinnuksen. Ohjelman avulla saadaan myös laskettua esimerkiksi prospektiivisen-, kolmivaiheisen- ja yksivaiheisen oikosulkuvirran arvoja eri kohdissa verkkoa. Ohjelman sisältää laajan valikoiman EATON: in valmistamia suojalaitteita, joita voi sijoittaa osaksi mallinnettavaa verkkoa. Osatietokantaan pystyy myös lisäämään kaapeleita tai suojalaitteita. (EATON. 2022e.)

Tätä opinnäytetyötä varten oli olennaista huomioida se, ettei ohjelmisto ota laskuissaan huomioon komponenttien oikosulkuvirtaa rajoittavia ominaisuuksia. Työtä varten ohjelmasta oli kuitenkin paljon apua, koska ohjelman avulla saatiin riittävät laskentatulokset. Tulosten avulla voitiin katsoa sekä ohjelman sisäisistä virran läpipäästökuvaajista että komponenttien omilta datalehdiltä löytyvistä virran läpipäästökuvaajista paljonko piirissä olevat komponentit rajoittavat oikosulkuvirtaa.



Kuvasta 13 voidaan nähdä verkon topologia ja siinä käytetyt suojalaitteet. Sinisillä viivoilla merkityt NODE-kohdat kuvaavat pisteitä, joista haluttiin saada tietoon niissä vaikuttava oikosulkuvirta. Ylimpänä kuvassa on nähtävissä NET1 virtalähde, johon voitiin määrittää asiakkaan verkosta tuleva oikosulkuvirta. Asiakkaan toimittamista dokumenteista saatiin selville, millaisella kaapelilla asiakkaan verkosta siirrytään Glastonin keskukselle. Glastonin keskuksessa ensimmäinen komponentti on QF01 tunnuksella oleva ilmakatkaisija, jonka jälkeen tulee kiskot keskuksen sisällä. QF02A1 tunnuksella oleva kompaktikatkaisija toimii back-up suojauksena johdonsuojakatkaisijoille lämmityslähdöissä.

Xspiderissä suoritettiin oikosulkulaskenta, josta saadut oikosulkuvirran arvot on merkitty kuvaan 13. Kuvaan merkityissä oikosulkuvirran arvoissa on huomioitu suojalaitteiden virranrajoituskyky oikosulkuutilanteessa. Asiakkaan kiskostolla valitseva 35,8 kA:n oikosulkuvirta vaimenee 120 metrin kaapelivedon aikana 28,7 kA:iin. Keskuksen pääkatkaisijana toimiva ilmakatkaisija ei rajoita oikosulkuvirtaa, mutta kiskosto keskuksen sisällä vaimentaa oikosulkuvirtaa 200 A:n verran. Kompaktikatkaisijalla QF02A1 vallitsee 28,5 kA oikosulkuvirta, jonka kompaktikatkaisija pystyy rajoittamaan 16 kA:iin. Oikosulkuvirta vaimenee 700 A:n verran keskuksen sisäisissä johdotuksissa. Johdonsuojalla oikosulkuvirtaa on jäljellä 15,3 kA:n verran. Johdonsuoja ja kaapeliveto lämmitysvastukselle vaimentavat oikosulkuvirran 2,2 kA:iin.

TAULUKKO 1. Press Glass UAB vastuslähdön suojalaitteet

Suojalaite	Tunnus	Oikosulkuvirta (kA)	Oikosulkuvirran kestoisuus (kA)
Ilmakatkaisija	QF01	28,7	85
Kompaktikatkaisija	QF02A1	28,5	50
Johdonsuoja	FAT1.1.1	15,3	30

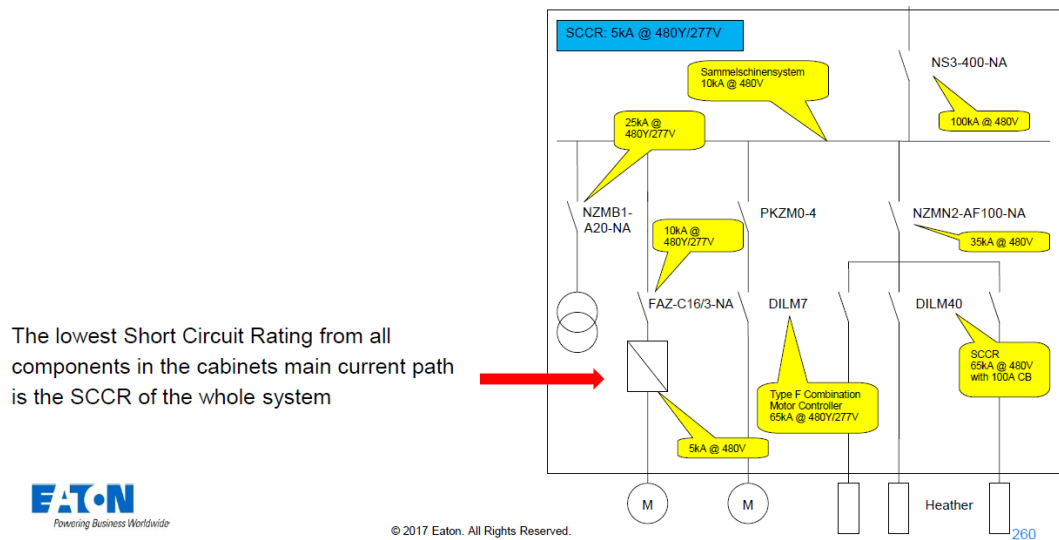
Taulukkoon 1 on merkitty suojalaitteet, niillä vaikuttavat oikosulkuvirrat ja kuinka paljon kyseinen suojalaite kestää oikosulkuvirtaa. Taulukkoon kirjatusta arvoista voidaan nähdä, että laitteet kestävät niihin vaikuttavat oikosulkuvirrat. Johdonsuojakatkaisijalla oikosulkuvirran kestoisuus arvo olisi yksinään 10 kA, mutta back-up suojauksen ansiosta oikosulkuvirran kestoisuus arvoksi tulee 30 kA.

Linjaston muiden suojalaitteiden oikosulkuvirran kestoisuus tarkasteltiin Eplan-suunnitteluohjelmassa olevista sähkökuvista. Suojalaitteet kestävät niillä vallitsevat oikosulkuvirrat.

Keskuksen oikosulkukestoisuuden tarkasteluun vaikuttaa onko se suunniteltu IEC- vai UL standardin mukaan. Press Glass UAB projektin suunnittelu on tehty IEC standardin mukaan, jolloin voidaan oikosulkukestoisuuden määrittelyssä huomioida suojalaitteiden kyky rajoittaa oikosulkuvirtaa sekä back-up- suojaukset. Tarkastelun jälkeen voitiin todeta keskuksen oikosulkukestoisuuden arvoksi 50 kA. Keskuksen CP1 arvokilpeen voidaan siis kirjata lyhytaikaisen mitoituskestovirran  $I_{cw}$  arvoksi 50 kA, 0,3 s. Oikosulkusuojauksen täytyy siis pystyä katkaisemaan oikosulkutilanteessa vikavirta 0,3 sekunnin ajassa, jotta ehto 50 kA oikosulkukestoisuudesta toteutuu.

## **6.2 Press Glass INC**

UL standardissa oikosulkukestoisuuden määrittelyyn käytetään heikoimman lenkin metodia (EATON NA-Seminar 2017. s251). Metodissa tarkastellaan jokaisen syöttö- ja päävirtapiirin komponenttien oikosulkuvirran kestoisuutta. Oikosulkuvirran kestoisuus arvon tulee olla tarkasteltavilla suojalaitteilla vähintään sama tai korkeampi, kuin piirissä esiintyvä oikosulkuvirta. (EATON NA-Seminar 2017. s250.) Kuvasta 14 voidaan nähdä, että tarkastelu loppuu muuntajiin tai ennen moottoreita ja vastuksia olevaan komponenttiin.



KUVA 14. Oikosulkukestoisuuden määrittäminen UL standardin mukaan (EATON NA-Seminar 2017. s.252)

Asiakkaan toimittamasta dokumentaatiosta selvisi, millaiseen verkkoon linjasto on asennettu. Dokumentaatiosta ei selvinnyt asiakkaan päässä syntyvän oikosulkuvirran suuruutta. Linjaston asennuksen yhteydessä oli otettu ylös tiedot linjastoa syöttävältä muuntajalta. Muuntajalla vallitseva oikosulkuvirta voitiin laskea käyttämällä apuna Glastonin suunnittelijoiden käytössä olevaa General Electricin Excel muuntajalaskuria. Kuvassa 15 näkyy laskurin antamat tulokset ja muuntajan tiedot.

## Transformer Calculations without X/R and Utility Impedance

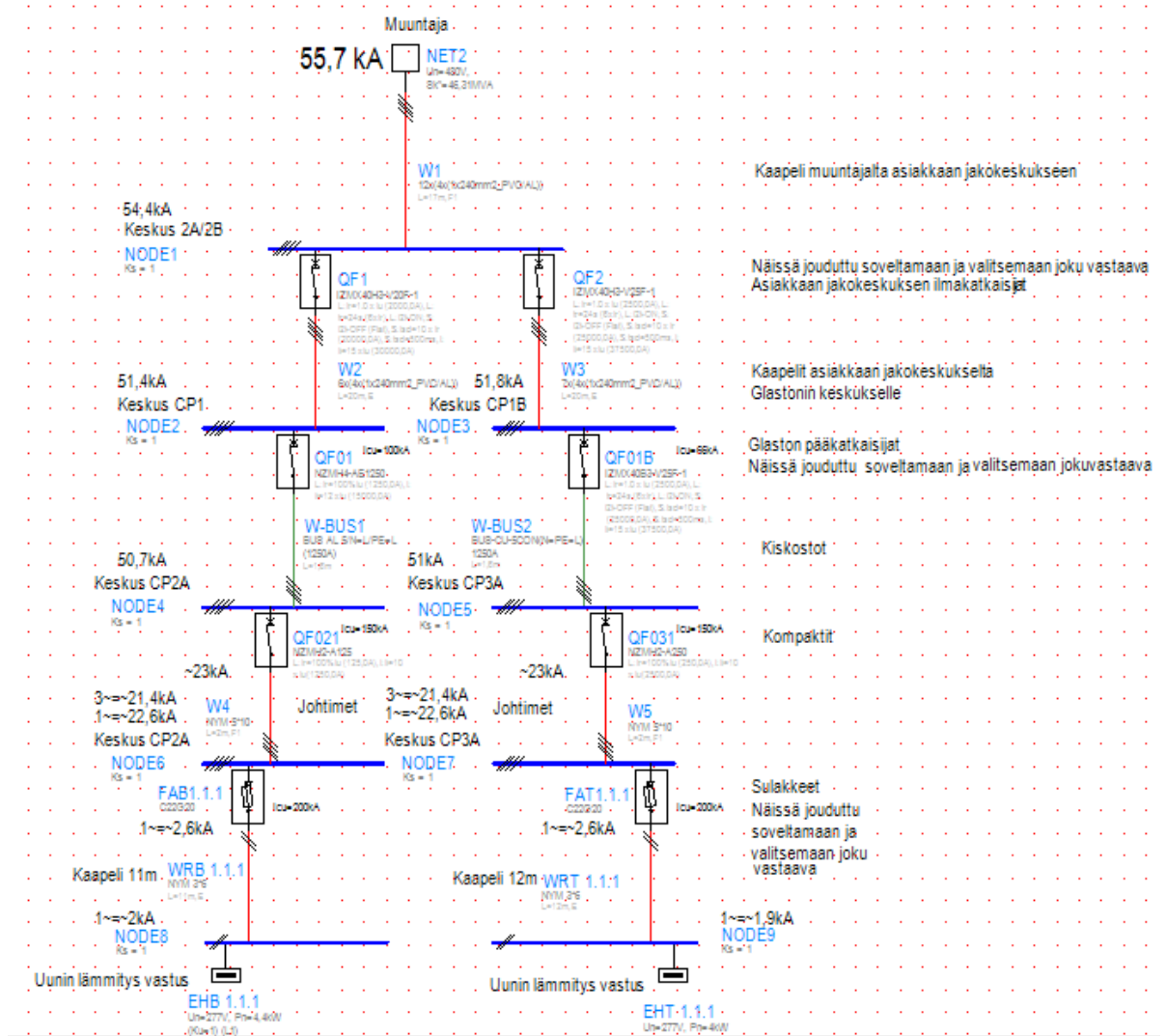
[Go to Detailed Calculations](#)
[Go To Main Sheet](#)

Click above if you wish to include X/R ratios and better Utility information.  
 Choose from the drop down menu or fill in the blank were required.  
 Red triangles indicate additional comments.

<b>Transformer Type</b>	Liquid filled, 65 deg rise, no fans		
<b>Transformer KVA</b>	2500	kVA	
<b>Secondary Voltage</b>	480	Volts	
<b>Nominal Impedance</b>	5.8	%	
<b>Impedance Tolerance</b>	7.5	%	
<b>Motor load</b>	0	% of xfmr kVA	
<b>Nominal Secondary Amperes</b>	3 007	Amps	Calculated
<b>Maximum SC Current</b>	55 734	Amps	Calculated
<b>Max SCA with Motor Contribution</b>	55 734	Amps	Calculated
<b>Extended current rating</b>	100	%	Calculated
<b>Extended Rating Amperes</b>	3 007	Amps	Calculated

KUVA 15. Excel laskurista saadut tulokset

Press Glass INC projektilla tarkasteluun otettiin lyhyimmät ylä- ja alavastus läh-  
 döt, koska linjastossa on kaksi pääkatkaisijaa vierekkäisissä keskuksissa. Ku-  
 vassa 16 näkyy Xspider-ohjelmalla mallinnettu vastuslähtöjen topologia. Excel  
 laskurin avulla saatu muuntajan oikosulkuvirran arvo asetettiin verkon syöttöpis-  
 teeseen NET2.



KUVA 15. Press Glass INC vastuslähtöjen topologia

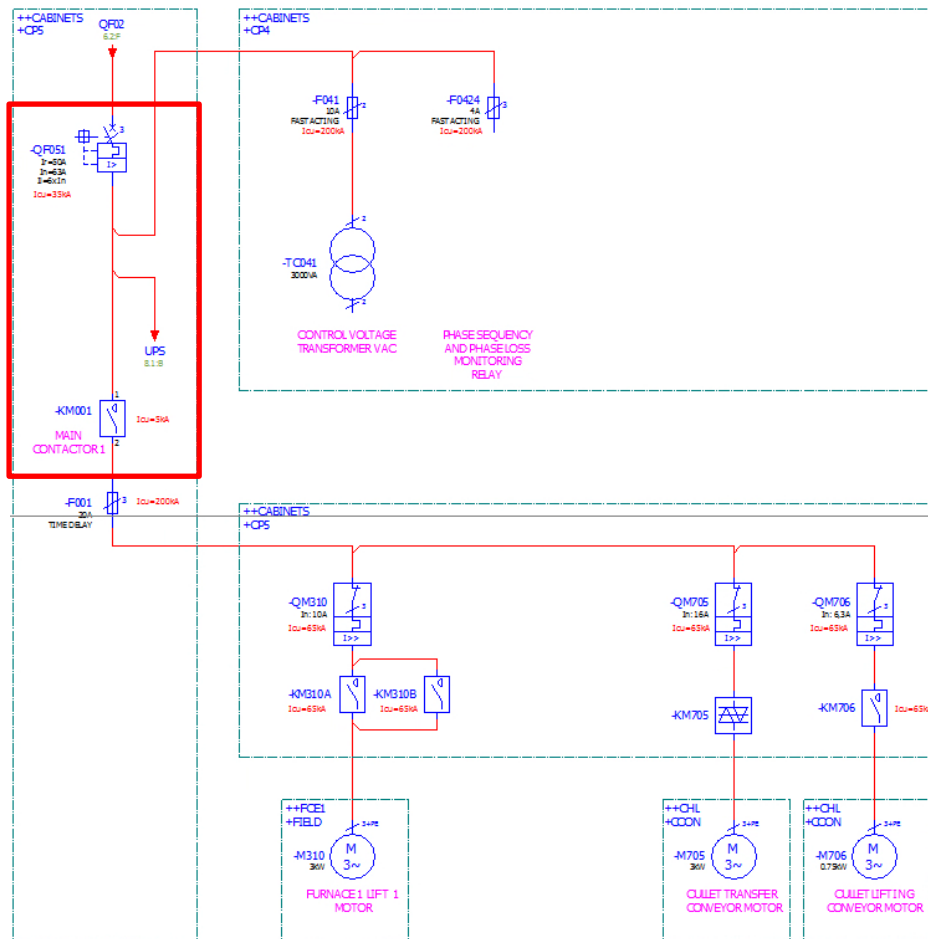
Tarkastelussa huomattiin, että ohjelmasta ei löytynyt kovin hyvin UL standardin mukaan suunnitelluissa koneissa käytettyjä komponentteja. Komponenteista etsittiin vastaavat ohjelmasta löytyvistä osista, jotta oikosulkuvirrat saatiin laskettua ohjelman avulla. Kuvassa 16 näkyvät suojalaitteet ovat koottuna taulukkoon 2, jossa näkyy suojalaitteilla vaikuttava oikosulkuvirta sekä laitteen oikosulkuvirran kestoisuus.

TAULUKKO 2. Press Glass INC vastuslähtöjen suojalaitteet

Suojalaite	Keskuksen tunnus	Tunnus	Oikosulkuvirta (kA)	Oikosulkuvirran kestoisuus (kA)
Ilmakatkaisija	CP1	QF01	54,4	100
Kompaktikatkaisija	CP1	QF021	50,7	150
Sulake	CP1	FAB1.1.1	22,6	200
Ilmakatkaisija	CP1B	QF01B	54,4	66
Kompaktikatkaisija	CP1B	QF031	51	150
Sulake	CP1B	FAT1.1.1	22,6	200

Oikosulkukestoisuuden määrittelyssä piti määrittää syöttäville CP1 ja CP1B keskuksille omat oikosulkukestoisuuden arvot. CP1B kaapin oikosulkukestoisuuden määrittäminen oli helpompaa, koska keskus syöttää vain lämmityslähtöjä. Kuvan 14 mukaisesti CP1B kaapin oikosulkukestoisuuden SCCR arvoksi voitiin leimata 66 kA @ 480Y/277V.

CP1 keskuksen oikosulkukestoisuuden määrittämistä varten täytyi tarkastella myös sähkökuvista liike- ja ohjauspuolen piirejä. Sähkökuvien avulla suoritettuna tarkastelun tuloksena löytyi yksi kontaktori ohjauspuolen lähdestä, jonka oikosulkukestoisuus oli vain 5 kA. Kuvassa 16 näkyy ongelmakohta, jonka muodostavat kompaktikatkaisija QF051 ja kontaktori KM001.



KUVA 16. Sähkökuva ongelmakohtasta (Press GlassINC 2022)

Kontaktorin KM001 oikosulkukestoisuus kuvan 16 mukaisessa asennuksessa on 5 kA. Tästä johtuen kuvan 14 mukaan keskuksen oikosulkukestoisuuden SCCR arvoksi voidaan leimata vain 5 kA @ 480Y/277V. Näin ollen keskuksen oikosulkukestoisuus on pienempi kuin käyttöpaikalla oleva 55,7kA. Keskuksen oikosulkukestoisuuden SCCR arvoa voidaan parantaa lisäämällä kontaktorin ja kontaktikattaisijan väliin sulake, jolloin valmistajan mukaan kontaktorin oikosulkukestoisuus nousisi 65 kA: iin. Lisäksi kontaktikattaisija QF051 tulisi muuttaa EATON NZMN1-A63-NA tyyppistä, tyyppiksi EATON NZMH2-A63-NA. 2-rungon ja H-tyypin kontaktikattaisijan oikosulkukestoisuus jännitteellä 480VAC on 150kA (EATON 2022d). Näillä muutoksilla keskuksen oikosulkukestoisuudeksi voidaan leimata 65 kA @ 480Y/277V.

Nyt asennetuilla komponenteilla Press Glass INC linjaston keskuksat voitaisiin siis leimata SCCR arvoille:

- CP1 5 kA @ 480Y/277V
- CP1B 66 kA @ 480Y/277V

## 7 POHDINTA

Tämän työn päätavoite oli saada ajankohtaista tietoa Glastonin valmistamien lasin tasokarkaisukoneiden iControl sähkökeskusten oikosulkukestoisuudesta. Työn ansiosta Glastonilla ja keskusvalmistajalla on nyt ajankohtaista tietoa keskusten oikosulkukestoisuudesta.

Työn aihe oli mielenkiintoinen ja sitä tehdessä pääsi perehtymään erilaisiin oikosulkuvirtoihin, suojalaitteisiin ja niiden toimintaan. Työn edetessä oppi myös paljon uutta asiaa liittyen oikosulkuihin ja suojalaitteisiin. Sähkökeskusten oikosulkukestoisuuden määrittämisellä on eroa riippuen minkä standardin mukaan sitä tarkastellaan. Työ osoitti hyvin suurimmat erot IEC- ja UL- standardien väliset erot.

Opinnäytetyö onnistui tavoitteiden mukaisesti. Työssä ei lopulta tarvittu käsin laskentaa ollenkaan. Oikosulkuvirtojen laskenta käsin olisi ollut vaikeampaa ja työläämpää. Oikosulkukestoisuuksien tarkastelun apuna käytetty EATON:in tarjoama Xspider-ohjelma oli paras vaihtoehto eri valmistajien tarjoamista samantyyppisistä ohjelmistoista, koska Glastonin tasokarkaisulinjastoissa on paljon EATON:in valmistamia komponentteja. Xspider-ohjelma osoittautui hyväksi ohjelmaksi verkkojen topologian mallinnuksessa ja oikosulkuvirtojen laskennassa. Työssä saatiin selvitettyä komponenttien kestävyys keskuksessa syntyviä oikosulkuvirtoja vastaan, sekä oikosulkukestoisuudet keskuksille. Työn tarkasteluiden tuloksena Press Glass INC projektilta havaittiin yksi komponentti, joka vaikuttaa suuresti keskuksen oikosulkukestoisuuden SCCR arvoon. Työn tuloksien perusteella tulevaisuudessa voisi tarkastella vielä tarkemmin oikosulkusuojauksen toiminta aikaa ja selektiivisyyttä. Myös suojalaitteiden laukaisukäyriin voisi perehtyä vielä tarkemmin. Keskusvalmistajalle voidaan nyt toimittaa tarkempia arvoja keskusten oikosulkukestoisuudesta arvokilpien leimausta varten.

## LÄHTEET

ABB. 2000. TTT-käsikirja, Luku 7, oikosulkusuojaus. Luettu 3.1.2022  
[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07\\_1\\_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_1_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf)

EATON. 2017. NA-Seminar\_EN. Glastonin sähkösuunnittelun materiaalia. Vaatii käyttöoikeuden. Viitattu 9.6.2022

EATON. 2022a. Data sheet IZMX40N3-V25F-1 - Circuit-breaker, 3 pole, 2500A, 85 kA, Selective operation, IEC, Fixed. Viitattu 26.04.2022  
[https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=183715&lt=&locale=en\\_GB&ol=es\\_ES](https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=183715&lt=&locale=en_GB&ol=es_ES)

EATON. 2022b. Data sheet NZMN2-A200 - Circuit-breaker, 3p, 200A. Viitattu 26.04.2022  
<https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=259093>

EATON. 2022c. Data sheet PLSM-B20-MW - Miniature circuit breaker (MCB), 20 A, 1p, characteristic: B. Viitattu 26.04.2022  
[https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=242181&locale=en\\_GB](https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=242181&locale=en_GB)

EATON. 2022d. Data sheet NZMH2-A63-NA - Circuit-breaker, 3p, 63A. Viitattu 15.06.2022  
[https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=269233&locale=en\\_GB](https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=269233&locale=en_GB)

EATON. 2022e. Xspider. Viitattu 14.06.2022  
<https://www.eaton.com/fi/fi-fi/catalog/low-voltage-power-distribution-controls-systems/xspider.html>

Eplan PRESSGLASSINC. 2022. Glaston. Vaatii käyttöoikeuden. Viitattu 13.5.2022

Glaston. 2018. Glaston FC Series 5th generation glass tempering line. Viitattu 13.5.2022.  
<https://www.youtube.com/watch?v=IX5TeLTCloE&t=1s>

Glaston. 2020. Pörssitiedote. Luettu 20.12.2021  
<https://glaston.net/fi/releases/?id=7BD0160E9B9C85AC>

Glaston. 2022. Glaston Corporation in brief. Glastonin intranet. Powerpoint-esitys. Luettu 5.4.2022. Vaatii käyttöoikeuden.  
<https://glastoninsider.sharepoint.com/:p:/r/sites/worksupport/c&m/presentations/layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7B87EA4EA8-EA64-40B1-A64A-279C1C8571D5%7D&file=Glaston%20Corporation%20in%20brief%20February%202022.pptx&action=edit&mobileredirect=true>

Glaston. n.d. Glaston sijoituskohteena. Luettu 20.12.2021  
<https://glaston.net/fi/glaston-sijoituskohteena/#glaston-sijoituskohteena>

Hietalahti, L. 2009. Teollisuuden sähkösuunnittelu. Kurssimateriaali. OIKO-SULKU-1-2009. Luettu 20.04.2022

Huotari, K. & Partanen, J. 1998. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. Luettu 6.4.2022

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

IEC 60909-0:2016. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems. Part 0: Calculation of currents. Luettu 28.04.2022 Vaatii käyttöoikeuden

<https://online.sfs.fi/fi/index/hakutulos.html.stx>

Kokela, M. 2019. Jännitteenjakelun mitoitus prosessiteollisuudessa. Luettu 19.04.2022.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/161558/koskela\\_mika.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/161558/koskela_mika.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Press Glass. n. d.a. Welcome to Press Glass. Luettu 23.12.2021

<https://www.pressglass.us/about-us-2/>

Press Glass. n. d.b. Production potential. Luettu 23.12.2021

<https://www.pressglass.us/about-us/production-potential/>

Press Glass. n.d.c. Continuous development. Luettu 23.12.2021

<https://www.pressglass.us/about-us/continuous-development/>

Sähköinfo-Severi 2015. ST53.45 Sulakkeeton suojaus. Luettu 28.04.2022 Vaatii käyttöoikeuden

<https://severi-sahkoinfo-fi.libproxy.tuni.fi/browse/products>

Timlin, L. 2020. Sähkökeskuksen oikosulkukestoisuus. Luettu 13.5.2022.

<https://www.theseus.fi/handle/10024/336144>