



# Anjalankosken tehtaiden NC ER 24 h varautuminen

Pinja Immonen

OPINNÄYTETYÖ  
Elokuu 2022

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Sähkövoimatekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Sähkövoimatekniikka

IMMONEN, PINJA:  
Anjalankosken tehtaiden NC ER 24 h varautuminen

Opinnäytetyö 36 sivua, joista liitteitä 6 sivua  
Elokuu 2022

---

Tämä opinnäytetyö on toteutettu Stora Enson Anjalankosken tehtailla yhdessä Enersense IN Oy:n kanssa. Opinnäytetyön tarkoituksena on mitoittaa uuden NC ER -verkkosäännösten mukainen varavoimajärjestelmä, joka täyttää 24 tunnin toimintakykyvaatimukset. Varavoimajärjestelmän tehtävänä on pitää tehtaan merkittävät laitteet käynnissä, jos valtakunnan sähköverkossa tapahtuu häiriöitä.

Varavoimajärjestelmän suuruusluokkaa kartoitettiin mittaamalla jännitteitä ja virtoja, joiden avulla saatiin varavoimakoneelta vaadittavat tehojen suuruudet selville. Seuraavaksi laskettiin oikosulkuvirtoja, joiden avulla lopullinen varavoimakoneen mitoitus tehtiin. Varavoimajärjestelmään kuuluu varavoimakoneen lisäksi keskuksat ja suojalaitteet sekä sähköverkko varavoimakoneen ympärillä, joten nekin täytyi mitoittaa.

Opinnäytetyön tuloksena saadaan ehdotus varavoimakoneen, keskuksen ja varavoimakoneen sähköverkon vaatimuksista sekä sijainneista, joiden mukaan ne voidaan myös konkreettisesti toteuttaa. Lisäksi opinnäytetyössä kerrotaan NC ER -verkkosäännöksestä sekä sen vaatimuksista.

Opinnäytetyön liitteet ovat luottamuksellista aineistoa. Tämän vuoksi liitteet on poistettu julkisesta työstä.

---

Asiasanat: NC ER -verkkosäännös, varavoimajärjestelmä, varavoimakone, oikosulkuvirta

## **ABSTRACT**

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

IMMONEN PINJA:  
NC ER 24 h Preparation of Anjalankoski Factories

Bachelor's thesis 36 pages, appendices 6 pages  
August 2022

---

This thesis was commissioned by Enersense IN Oy at Stora Enso Anjalankoski Factories. The purpose of this thesis was to design a stand-by electric supply system which fulfills the Network Code for Emergency and Restoration (NC ER). The thesis also explains the NC ER requirements.

To design a stand-by electric supply system it's important to know how much power it should supply. Therefore the magnitude of the voltage and current must be known. The magnitudes are informed by measuring the voltage and current. With the results of the measurements the power need can be calculated. Usually the short-circuit current however determines the size of the stand-by electric supply system, so the short-circuit current is the main thing to calculate and to find out.

As a result, Anjalankoski Factories is given a suggestion of the size and location of the stand-by electric supply system, the size of the switchgear and cables and also a suggestion which safety relays are good to be use.

The appendices of this thesis are confidential, and therefore they were removed from the public version of the thesis.

---

Key words: NC ER network code for emergency and restoration, stand-by electric supply system, short-circuit current

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	LÄHTÖKOHDAT JA TEORIA .....	7
	2.1 Stora Enson Anjalankosken tehtaat .....	7
	2.2 NC ER -verkkosääntö .....	8
	2.3 Varavoimajärjestelmä.....	9
	2.4 Oikosulkuvirta.....	10
3	MITTAUKSET .....	15
	3.1 Mittaustulokset .....	15
	3.2 Mittaustulosten analysointi ja laskenta .....	16
4	LASKETUT OIKOSULKUVIRRAT .....	18
5	MITOITUKSET .....	20
	5.1 Varavoimakone .....	20
	5.2 Kaapelit .....	21
	5.3 Suojalaitteet .....	23
6	YHTEENVETO .....	28
	LÄHTEET .....	29
	LIITTEET .....	31
	Liite 1. Neplan laskentatulos yksivaiheisesta minimioikosulkuvirrasta (verkko- ja varavoimakonesyöttö) .....	31
	Liite 2. Neplan laskentatulos yksivaiheisesta minimioikosulkuvirrasta (verkkosyöttö).....	32
	Liite 3. Neplan laskentatulos yksivaiheisesta minimioikosulkuvirrasta (varavoimakonesyöttö).....	33
	Liite 4. Neplan laskentatulos kolmivaiheisesta maksimi oikosulkuvirrasta (verkko- ja varavoimakonesyöttö) .....	34
	Liite 5. Neplan laskentatulos kolmivaiheisesta minimioikosulkuvirrasta (varavoimakonesyöttö).....	35
	Liite 6. Jakelukaavio.....	36

**LYHENTEET JA TERMIT**

NC ER	Network Code for Emergency and Restoration, sähköverkon hätätilaa ja käytönpalautusta koskeva verkkosääntö
-------	--

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä selvitetään NC ER -verkkosäännön eli sähköverkon hätätilaa ja käytönpalautusta koskevan säännön merkitystä sekä mitoitetaan varavoimakone. Varavoimakoneen tarkoituksena on täyttää NC ER -verkkosäännön mukaiset 24 tunnin toimintakykyvaatimukset ja pitää merkittävät laitteet käynnissä, jos valtakunnan sähköverkossa tapahtuu häiriöitä. NC ER -verkkosääntö pitää sisällään useita osatekijöitä, joista 24 tunnin toimintakykyvaatimukset ovat vain yksi osa-alue.

Varavoimakone mitoitetaan Anjalankosken tehtaiden voimalaitoksien yhteyteen. Varavoimakoneen mitoituksessa on tärkeää tietää näennäistehontarve sekä oikosulkuvirtojen suuruudet. Näennäistehontarve selvitetään mittaamalla jänniteitä sekä virtoja ja laskemalla mittaustulosten perusteella kokonaistehoja. Oikosulkulaskenta toteutetaan Neplan-verkostolaskentaohjelmistolla. Uuden varavoimakoneen lisäksi tulee mitoittaa myös sähköverkko varavoimakoneen ympärille. Mitoitukskohteita ovat verkonkomponenteista keskus, kaapelit sekä suojalaitteet. Suojalaitteiden mitoittaminen tehdään ABB:n e-Design ohjelman avulla. Suojalaitteiden mitoittamisessa tärkeää on huomioida suojauksen selektiivisyys. Työssä tulee myös miettiä varavoimakoneen sijoittamista tehdasympäristöön.

Työ on toteutettu Stora Enson Anjalankosken tehtailla, mutta sen toimeksiantaja on Enersense IN Oy. Työn tuloksena saadaan ehdotus varavoimakoneen, sähkökeskusten ja -verkon vaatimuksista ja sijainneista, joiden mukaan ne voidaan myös konkreettisesti toteuttaa Anjalankosken tehtailla.

## 2 LÄHTÖKOHDAT JA TEORIA

### 2.1 Stora Enson Anjalankosken tehtaat

Stora Enso on pakkaus-, biomateriaali-, puutuote- ja paperiteollisuuden tuotteiden maailmanlaajuinen toimittaja sekä yksi maailman suurimmista yksityisistä metsänomistajista. Stora Enso konsernissa työskentelee noin 22 000 ihmistä. Vuonna 2021 sen liikevaihto oli 10,2 miljardia euroa ja se löytyy Helsingin sekä Tukholman pörseistä. (Tietoa Stora Ensosta 2022.)

Anjalankosken tehtaista puhuttaessa tarkoitetaan Stora Enson Inkeröisten kartonkitehdasta sekä siihen integroitua Anjalan paperitehdasta (Anjalan tehdas n.d.). Inkeröisten kartonkitehtaassa valmistetaan vuotuisella 295 000 tonnin kapasiteetilla laadukasta taivekartonkia kuluttajapakkauksiin. Se on perustettu vuonna 1872. (Inkeröisten tehdas n.d.) Myöhemmin, vuonna 1938, perustetussa Anjalan paperitehtaassa valmistetaan mekaanisesta massasta painopaperia kuten kirjapaperia, aikakauslehtipaperia sekä parannettua sanomalehtipaperia. Sen vuotuinen kapasiteetti on 435 000 tonnia. Inkeröisten kartonkitehdas sekä Anjalan paperitehdas hyödyntävät synergiaa raaka-aine- sekä energiahankinnoissa. (Anjalan tehdas n.d.)

Sähköä, höyryä ja kaukolämpöä tehtaiden omiin tarpeisiin tuottaa Anjalankosken tehtailla sijaitseva höyry- ja kombivoimalaitoksesta koostuva voimalaitos. Lisäksi Anjalankosken tehtaiden alueella sijaitsee Kemijoki Oy:n Anjalankosken ja Inkeröisten vesivoimalaitokset. (Ulenius, J. 2015, 8.)

Stora Enson Anjalankosken tehtailla projekti- ja kunnossapitotöissä toimii Enersense Oy. Enersensen pääasialliset toimialat ovat siis teollisuus, rakentaminen, energia ja tietoliikenne. Enersensellä on noin 2000 työntekijää 40 eri maassa ja se toimii suunnannäyttäjänä päästöttömän yhteiskunnan mahdollistamisessa. (Me olemme Enersense 2022.)

## 2.2 NC ER -verkkosääntö

NC ER (Network Code for Emergency and Restoration) tarkoittaa sähköverkon hätätilaa ja käytönpalautusta koskevaa verkkosääntöä. Euroopan komission asetuksessa (EU) 2017/2196 asetetaan tämä sähköverkkosääntö, joka takaa käytövarmuuden ja estää häiriötilan laajenemisen tai pahenemisen, ja jonka avulla voidaan välttää laajamittainen häiriö tai suurhäiriötila. Lisäksi sen avulla mahdollistetaan mahdollisimman tehokas käytönpalautus hätä- tai suurhäiriötilasta. ((EU) 2017/2196.)

Kyseinen asetus ((EU) 2017/2196) koskee kaikkia siirtoverkonhaltijoita, jakeluverkonhaltijoita, merkittäviä verkonkäyttäjiä, järjestelmän varautumispalvelujen tarjoajia, käytönpalautuspalvelujen tarjoajia, tasevastaavia, tasehallintapalvelujen tarjoajia, nimettyjä sähkömarkkinaoperaattoreita sekä kaikkia muita tahoja, jotka on nimetty markkinatoimintojen toteuttajiksi (EU) 2015/1222 ja (EU) 2016/1719 asetusten mukaisesti. ((EU) 2017/2196.)

Kaikki isot voimalaitokset, joiden nimellisteho on suurempi kuin 30 MW lukeutuvat merkittäviksi verkonkäyttäjiksi. Tämän vuoksi myös Anjalankosken tehtaot lukeutuvat merkittäväksi verkonkäyttäjäksi. Merkittävillä verkonkäyttäjillä NC ER varautumissuunnitelman mukaan on velvollisuus osallistua alitaajuussuojajärjestelmän toteutukseen sekä automaattisen ylitaajuudesta tapahtuvaan tuotannon irtikytkentään. Lisäksi merkittävillä verkonkäyttäjillä on velvollisuus noudattaa kantaverkkoyhtiön ohjeita pätötehon, loistehon ja jännitteen säätöön sekä tuotannon ja kulutuksen irtikytkentään, velvollisuus välittää kantaverkkoyhtiön vaatimukset ja ohjeet omaan verkkoonsa liittyneille kantaverkkoyhtiön nimeämille osapuolille sekä velvollisuus täyttää testausvaatimukset koskien automaattijärjestelmien sekä automaattisesti toimivien ohjaus- ja kytkentälaitteiden toimintaa (Sil-tala 2020.)

Merkittävillä verkonkäyttäjillä varautumissuunnitelman lisäksi NC ER 24 tunnin toimintakyky on toteutettava käytönpalautussuunnitelman mukaisesti. Käytönpalautussuunnitelmaan kuuluu 24 tunnin toimintakykyvaatimukset valvomon, mer-



kittäviksi nimettyjen sähköasemien, käytönvalvontajärjestelmän sekä välttämättömien järjestelmien kannalta. Lisäksi siihen kuuluu puheviestintäjärjestelmän toteuttaminen, jotta kantaverkkoyhtiöltä tulevat puhelut voidaan priorisoida, sekä testaus- että monitorointivaatimukset koskien 24 h toimintakykyä, automatiikoiden toimintaa ja puhelinyhteyksiä. (Siltala 2020.) Anjalankosken tehtaille 24 tunnin toimintakykyvaatimukset toteutetaan varavoimajärjestelmän avulla.

### 2.3 Varavoimajärjestelmä

Varavoimajärjestelmällä tarkoitetaan varavoimalaitosta ja sen varmentamaa sähkönjakelujärjestelmää (ST-käsikirja 31 2019, 11). Kokonaisuus sisältää siis varvoimakoneen, keskuksen ja sähköverkon varavoimajärjestelmän ympärillä.

Varvoimakone on yleensä dieselgeneraattori. Dieselgeneraattori rakentuu dieselmoottorista, generaattorista, voimansiirrosta niiden välillä, käyntitärinän eristämistä sekä runko- ja alustarakenteesta (ST-käsikirja 31 2019, 90). Dieselvarvoimakoneen toiminta perustuu dieselin sisältämän energian muuttamiseen sähköenergiaksi. Yleensä sähkötehoksi saadaan muutettua vain 1/3 (ST-käsikirja 31 2019, 50) polttoaineen sisältämästä energiasta ja loppu muuttuu lämpöenergiaksi.

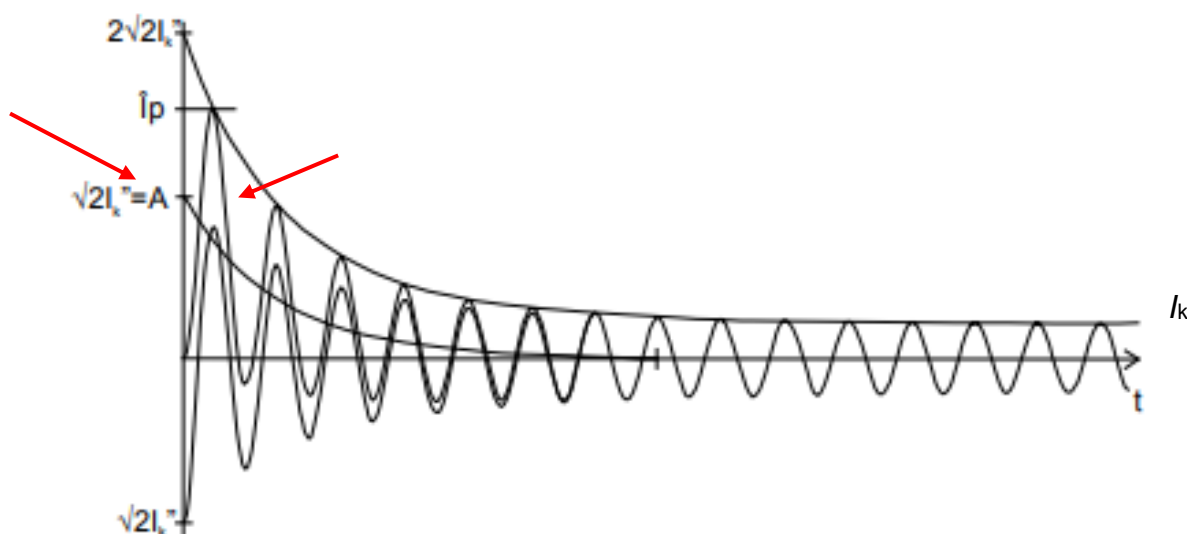
Varavoimajärjestelmää suunniteltaessa oleellista on selvittää kokonaistehon tarve (ST-käsikirja 31 2019, 14). Tehon tarpeen mitoituksessa tulee huomioida, että se kattaa huippukuorman käyttöajan (ST-käsikirja 31 2019, 79) eli tässä opinäytetyössä NC ER mukaisen 24 tunnin käyttöjakson. Lisäksi varavoimajärjestelmää suunniteltaessa huomioidaan laitoksen ja varmennettavan verkon sähkötekniset vaatimukset sekä varvoimakoneen että muiden komponenttien tilavaraukset. Järjestelmien yhteensovittamisessa on otettava erityiseen huomioon varvoimajärjestelmän luotettava toiminta sekä käytettävyys (ST-käsikirja 31 2019, 14).

Varvoimalaitos voidaan sijoittaa joko varvoimakonehuoneeseen tai ulos sijoitettavaan varvoimakonttiin. Varvoimalaitoksen sijaintia mietittäessä on otettava huomioon seikat, jotka vaikuttavat sen ympäristössä. Suurimpia vaikutuksia

ovat melu, värinä, magneettikentät, päästöt, varavoimailaitoksessa käytettävät aineet (esim. polttoaine ja jäähdytysnesteet) sekä akustojen elektrolyytit tai muut ympäristölle haitalliset aineet. (ST-käsikirja 31 2019, 18.) Melun poistaminen tai esimerkiksi pakokaasujen johdattaminen pitkiä matkoja aiheuttaa lisäkustannuksia. Sen vuoksi varavoimailaitokselle tulisi määrittää sellainen sijainti, jossa ympäristövaikutuksista on mahdollisimman vähän haittaa.

## 2.4 Oikosulkuvirta

Mitoittaessa varavoimajärjestelmää on oikosulkuvirtojen tunteminen eri tilanteissa ja eri osissa verkkoa tärkeää, jotta verkon käyttö olisi turvallista myös varavoimajärjestelmän syöttäessä verkkoa. Oikosulkuvirrat tulee siten huomioida jo mitoitusvaiheessa, jotta suunnittelun tulos on turvallisesti toteutettu. Alla olevassa kuvassa 1 nähdään kolmivaihejärjestelmän oikosulkuvirran tyypillinen yhden vaiheen käyrämuoto kolmivaiheisessa oikosulussa.

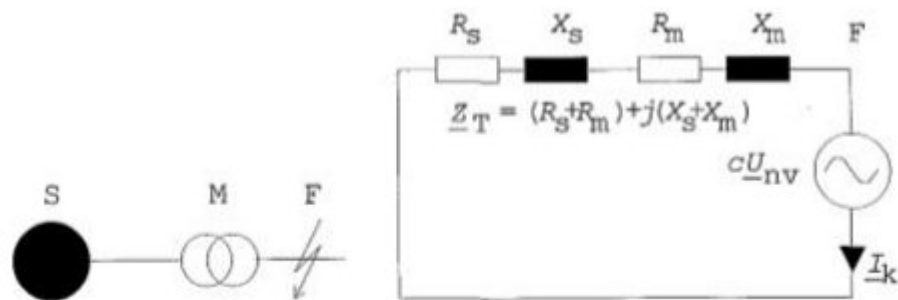


KUVA 1. Oikosulkuvirran käyrämuoto (ABB TTT 2000-07 luku 7, 1). Kuvaan liitetty nuoliviivat ja merkintä  $I_k$ .

Kuvassa 1 vaaka-akselilla nähdään aika ja pystyakselilla oikosulkuvirran suuruus. Alkuoikosulkuvirta  $I_k''$  tarkoittaa symmetrisen oikosulkuvirran tehollisarvoa vian alkuhetkellä (kuva 1). Alkuoikosulkuvirran suuruus määräytyy verkkoa syöttävien generaattoreiden reaktanssien suuruudesta vian syntyhetkellä. (ABB TTT 2000-07 luku 7, 1.)

Koska oikosulkuvirrassa on vaimeneva tasavirtakomponentti (kuva 1), oikosulkuvirta vaimenee logaritmisesti. Tasavirtakomponentin suuruus vian alussa on merkitty kuvaan kirjaimella  $A$ . Sen suuruus riippuu oikosulun syntyhetkestä ja vaimenemisnopeus piirin  $R/X$  suhteesta. Lisäksi oikosulkuvirta sisältää vaihtovirtakomponentin, jolla myös voi olla vaimeneva osa. Koska generaattoreiden reaktanssit suurenevat vian aikana, virta vaimenee jatkuvuustilan arvoon  $I_k$ . Jatkuvuustilan arvoa tarvitaan, kun mitoitetaan verkon komponentteja sekä varavoimakonetta. Kuvaan merkitty  $I_p$  tarkoittaa sysäysalkuoikosulkuvirtaa, eli oikosulkuvirran ensimmäisen huipun arvoa, jossa myös tasavirtakomponentti on huomioitu. (ABB TTT 2000-07 luku 7, 1.)

Varavoimajärjestelmän on kestettävä oikosulun aikaiset dynaamiset sekä termiset rasitukset. Sähköverkon komponenttien mitoituksessa tulee laskea ja tietää oikosulkuvirran suuruus eri kohdissa varavoimajärjestelmää. Alkuoikosulkuvirta saadaan laskettua Theveninin menetelmällä yksivaiheisen sijaiskytkennän mukaan. Sijaiskytkentää laadittaessa korvataan sähköverkon komponentit oikosulkuimpedansseilla ja vikapaikkaan sijoitetaan jännitelähde. Kuvassa 2 nähdään periaatteellinen Theveninin yksivaiheinen sijaiskytkentä sähköverkon komponenteilla:



KUVA 2. Periaatteellinen Theveninin yksivaiheinen sijaiskytkentä sähköverkon komponenteilla (Angeria, H. 32.)

Kuvassa 2 esimerkkitapauksessa  $R_s$  kuvaa sähköverkon resistanssia vikapaikasta tarkasteltuna,  $X_s$  sähköverkon reaktanssia,  $R_m$  muuntajan resistanssia ja  $X_m$  muuntajan reaktanssia.  $Z_T$  kuvaa näitä kaikkia suureita yhdessä osoitinsuu-

reena. Vikapaikan resistanssin kasvaessa oikosulkuvirta pienenee. Lisäksi  $I_k$  kuvaa oikosulkuvirtaa osoitinsuureena ja  $F$  vikapaikkaa.  $cU_{nv}$  taas kuvaa jännitettä osoitinsuureena, jossa on huomioitu jännitekerroin  $c$ . Jännitekertoimen avulla saadaan laskettua sekä maksimi että minimi oikosulkuvirrat. Sen suuruus riippuu jännitetasosta (taulukko 1).

TAULUKKO 1. IEC 60909-standardin mukainen jännitekerroin  $c$  (ABB TTT 2000-07 luku 7, 2).

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

Theveninin yksivaiheisen sijaiskytkennän (kuva 2) avulla voidaan muodostaa laskukaava, jolla alkuoikosulkuvirta saadaan laskettua (kaava 1). Kuvasta 2 poiketen kaavassa 1 vikapaikan resistanssit ja reaktanssit eivät ole eritelty sähköverkon, muuntajan tai muiden komponenttien mukaan, vaan ne kuvaavat kaikkea resistanssia ja reaktanssia vikapaikasta tarkasteltuna. Kaavalla lasketaan oikosulkuvirran itseisarvoa.

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

Jossa  $c$  tarkoittaa IEC 60909-mukaista jännitekerrointa (taulukko 1),  $U_n$  syöttävän verkon pääjännitettä,  $R_k$  resistanssia,  $X_k$  reaktanssia ja  $Z_k$  impedanssia vikapaikasta tarkasteltuna (ABB TTT 2000-07 luku 7, 1).

Dynaamisia rasituksia voidaan tarkastella laskemalla dynaaminen oikosulkuvirta kaavan 2 avulla.

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

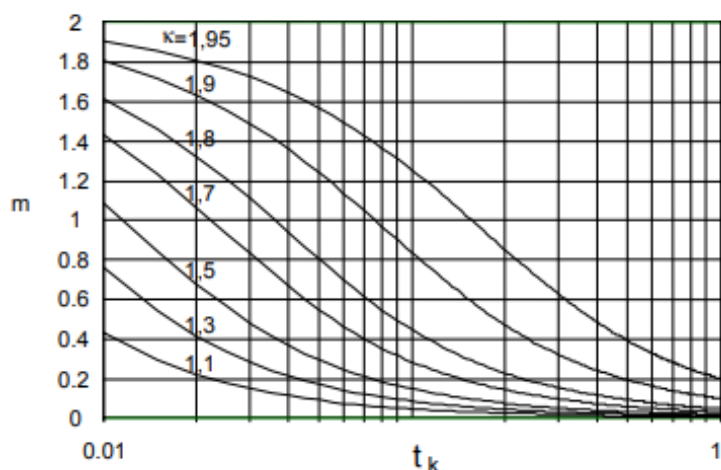
jossa  $\kappa$  on sysäyskerroin ja  $I_k''$  alkuoikosulkuvirta.

Sysäyskerroimen suuruus pienjänniteverkossa on tyypillisesti alle 1,44. (ABB TTT 2000-07 luku 7, 8.) Dynaamisen oikosulkuvirran selvittäminen on tärkeää keskusten mitoitusta varten, sillä sen avulla pystytään arvioimaan johtimien sekä kiskosten voimavaikutuksia oikosulun tapahtuessa.

Termisten rasitusten kestämistä voidaan tarkastella laskemalla terminen oikosulkuvirta. Se saadaan laskettua alla olevan kaavan 3 mukaan.

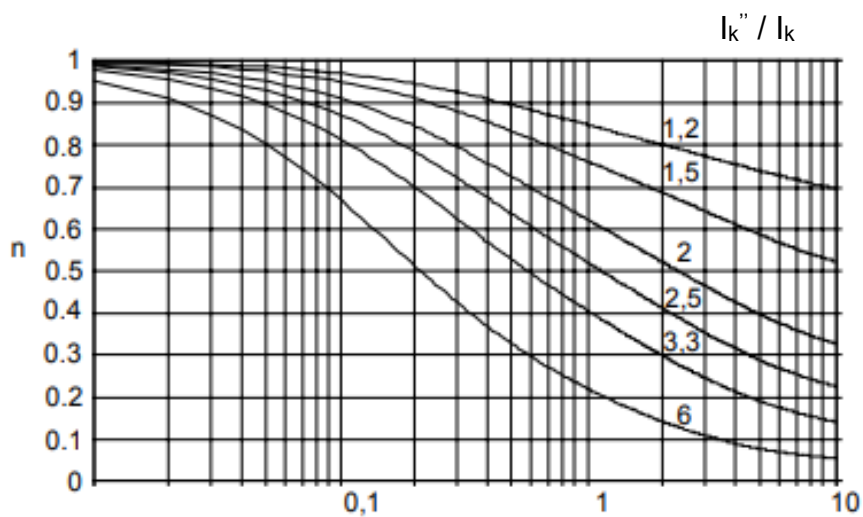
$$I_{th} = I_k'' \sqrt{m + n} \quad (3)$$

Kaavassa  $I_k''$  kuvaa alkuoikosulkuvirtaa, kerroin  $m$  vaimenevaa vaihtovirtakomponenttia ja  $n$  vaimenevaa tasavirtakomponenttia. Kerroin  $m$  saadaan luettua alla olevasta kuvasta 3. Sen suuruus riippuu sysäyskerroimesta ja oikosulun kestoajasta. (ABB TTT 2000-07 luku 7, 8).



KUVA 3. Kertoimen  $m$  riippuvuus oikosulkuvirran sysäyskerroimesta ja oikosulun kestoajasta (ABB TTT 2000-07 luku 7, 8.)

Kerroin  $n$  taas saadaan luettua kuvasta 4. Sen suuruus riippuu oikosulkuvirran alkuarvon ja pysyvän arvon suhteesta  $I_k'' / I_k$  (ABB TTT 2000-07 luku 7, 9).



KUVA 4. Kertoimen  $n$  riippuvuus oikosulkuvirran alkuarvon ja pysyvän arvon suhteesta  $I_k'' / I_k$  (ABB TTT 2000-07 luku 7, 9). Kuvaan lisätty merkintä  $I_k'' / I_k$ .

### 3 MITTAUKSET

#### 3.1 Mittaustulokset

Mittaukset suoritettiin 18.2.2022 Anjalankosken tehtaiden voimalaitoksilla. Niiden tarkoituksena on selvittää mitoitettavan varavoimakoneen suuruutta eli kokonais-tehontarvetta. Tällöin mitattavia suureita ovat jännitteet, virrat ja tehot. Mitattavia kohteita on seitsemän. Mittaukset toteutettiin Metrel MI 2892 -mittarilla. Alla olevassa taulukossa 2 nähdään mittaustulokset neljältä keskukselta sekä kahdelta DC-varaajalta. DC-varaajat ovat akkuvarmennettuja järjestelmiä, joilla tuetaan tehonsyötön katkottomuutta.

TAULUKKO 2. Mittaustulokset

kohde	jännite (V)	perusvirta (A)	pikavarausvirta (A)	AC	DC
12S553	121	1	3		x
12S552		4,5		x	
12S771	67	0,8	0,8		x
12S730-00	224,18	8,04		x	
12S222-01B	232,66	18,41		x	
12S505	233,62	0,48		x	

Yllä olevassa taulukossa 2 nähdään kaksi DC-varaajaa (12S553 ja 12S771) joiden mittaustulokset on luettu suoraan varaajan näytöltä. Koska kuormat ovat suhteellisen pieniä, riittää mittaustulokseksi tieto varaajan omasta näytöstä eikä vertailumittarin käyttö ole perusteltua. Keskuksien tulokset on taas mitattu Metrel MI 2892 -mittarilla. Keskuksien 12S222-01B ja 12S505 mittaustuloksissa tulee huomioida virtamuuntajat. Keskuksen 12S222-01B virtamuuntajan muuntosuhte on 300/1 ja keskuksen 12S505 virtamuuntajan muuntosuhte on 100/1. Taulukoissa olevissa arvoissa muuntosuhteet on jo otettu huomioon.

Lisäksi varavoimakoneen kuormaksi tulee yksi UPS-laitteisto. UPS-laitteiston virrat ja tehot katsottiin suoraan UPS-laitteiston omasta näytöstä. Alla olevassa taulukossa 3 nähdään UPS-laitteiston tiedot.

TAULUKKO 3. UPS-laitteiston tiedot

	lähtöjännite	lähtövirrat (A)			tulovirrat			lähtötehot					
		I <sub>lähtö</sub>			I <sub>tulo</sub> (A)			P (W)		S (VA)		S (VA)	
UPS	U <sub>AC</sub> (V)	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
12T320	400	5,0	5,0	0,9	4,0 A	4,0 A	4,0 A	800	800	200	1100	1100	200

Taulukossa 3 nähdään UPS-laitteiston lähtöjännite, lähtö- ja tulovirrat sekä lähtötehot. Kuten tuloksista nähdään lähtövirrat ovat 5 A ja 0,9 A ja tulovirrat kaikki ovat 4 A. Tämä selittyy sillä, että UPS-laitteiston kuormat ovat eri suuruiset, joten 4 ampeerin tasainen tulovirta muuttuu kuormien kesken epätasaiseksi lähtövirroissa. UPS-laitteisto tasasuuntaa verkkovirran tulovirrat ja uudellaan vaihtosuuntaa ne. Tällöin kahdelle vaiheelle on mahdollista tuottaa akuston avulla enemmän virtaa kuin mitä UPS-laitteistoon tulee. Koska kuormat eivät ole jakautuneet tasaisesti kaikkien vaiheiden kesken, tehotkaan eivät ole samansuuruisia. Näiden tulosten perusteella pystytään laskemaan UPS-laitteiston kokonaistehontarve.

### 3.2 Mittaustulosten analysointi ja laskenta

Mittaustulosten perusteella pystytään laskemaan tehot keskuksille, joita tulevan varavoimakoneen tulisi syöttää. Kun jokaisen keskuksen tehontarve on selvitetty, pystytään selvittämään tehontarve varavoimakoneelle. Koska varavoimakoneet mitoitetaan näennäistehon mukaan, tarvitsee mittaustulosten perusteella laskea myös kokonaisnäennäisteho.

Mittauksessa kaikki keskuksset, jotka on mitattu Metrel MI 2892 -mittarilla, on mitattu yksivaiheisina. Tällöin kokonaistehoa laskettaessa on mitatut tehot kerrottava kolmella olettaen, että kuormat ovat jakautuneet tasaisesti kaikille vaiheille. Lisäksi UPS-laitteiston mittaustuloksista (taulukko 3) huomataan, että tehot näkyvät jokaiselle vaiheelle ominaan, joten nekin on summattava keskenään. Laskemalla päätötehojen ja loistehojen summat erikseen summaaminen voidaan tehdä ilman osoitinlaskentaa. Alla olevassa taulukossa 5 nähdään mittaustulosten perusteella laskettuja tehoja:



## TAULUKKO 5. Mittaustulosten perusteella lasketut tehot

kohde	$I$ (A)	$U$ (V)	$P_{LI}$ (W)	$Q_{LI}$ (Var)	$P_{TOT}$ (W)	$Q_{TOT}$ (Var)	AC	DC
12S553	1,00	121,00			121,00	0,00		x
12S552	4,89	230,00	1124,70	0,00	3374,10	0,00	x	
12S771	0,80	67,00			53,60	0,00		x
12S730-00	8,04		1695,30	611,76	5085,90	1835,28	x	
12S222-01B	18,41		4148,50	1070,40	12445,50	3211,20	x	
12S505	0,48		11,86	110,60	35,58	331,80	x	
12T320					1800,00	1587,45	x	

Jo tässä vaiheessa voidaan taulukon 5 avulla huomata, että lasketut tehot jäävät suhteellisen pieniksi, eikä niillä näin ollen ole suurta vaikutusta lopulliseen mitoituseseen. Yleisesti kuitenkin varavoimakoneen mitoitus ajatellen on tärkeää päätötehon lisäksi laskea näennäistehon sekä loistehon määrä. UPS-laitteistolle on ilmoitettu jo päätö- sekä näennäistehon määrä, joten sille tarvitsee laskea vain loistehon suuruus. Loisteho saadaan laskettua kaavan 4 mukaan.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (4)$$

Jossa  $S$  on näennäisteho ja  $P$  päätöteho. UPS-laitteiston loistehon määrä on siis:

$$Q = \sqrt{2400^2 \text{ VA} - 1800^2 \text{ W}} = 1587,45 \text{ Var}$$

Muille keskuksille, joissa loistehoa esiintyy, on sen määrä saatu mitattua Metrel MI 2892 -mittarilla. Summaamalla kaikki edellä mainitut mittaustuloksien päätö- ja loistehot erikseen saadaan niiden kokonaistehojen määrä. Näiden tehojen avulla voidaan vielä laskea kokonaisnäennäisteho kaavan 5 mukaan

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (5)$$

Alla olevassa taulukossa 6 nähdään kokonaistehot.

## TAULUKKO 6. Kokonaistehojen määrä

	$P$ (W)	$Q$ (Var)	$S$ (VA)
yhteensä	22915,68	6965,73	23950,99

Kuten taulukosta nähdään kokonaisnäennäistehoksi saadaan noin 23 kVA. Varavoimakoneen tulee siis pystyä syöttämään tehoa ainakin ko. määrän verran. Koska kokonaistehot jäävät suhteellisin pieniksi, ei niiden suuruudella varavoimajärjestelmän mitoituksessa ole kovin suurta painoarvoa.

## 4 LASKETUT OIKOSULKUVIRRAT

Oikosulkuvirtoja pystytään laskemaan teoriassa esiteltyjen laskukaavojen mukaan. Todellisuudessa kuitenkin oikosulkuvirtojen laskenta on tehokkaampaa käyttäen siihen tarkoitettuja laskentaohjelmistoja. Tässä työssä oikosulkuvirrat on laskettu käyttäen Neplan -verkostolaskentaohjelmistoa. Ohjelmistoon rakennetaan sähköverkko, jonka oikosulkuvirtoja halutaan laskea, sekä syötetään sähköverkon komponentit ja kaapelit. Ohjelmisto laskee alku- sekä jatkuvan tilan oikosulkuvirrat sekä yksi- että kolmivaiheiset oikosulkuvirrat. Liitteestä 1 (Salovaara, M. 2022) nähdään esimerkki yksivaiheisen minimioikosulkuvirran laskentatuloksesta ja ohjelmistosta sekä tavasta, jolla ohjelma ilmoittaa laskentatulokset.

Kaikki oikosulkuvirrat on laskettu Neplan -verkostolaskentaohjelmistolla (liitteet 1, 2, 3, 4 ja 5 (Salovaara, M. 2022)) edellä mainitulla tavalla ja alla olevaan taulukkoon on koottu kaikki lasketut minimi ja maksimi kolmi- sekä yksivaiheiset jatkuvan tilan oikosulkuvirrat. Vaikka ohjelma laskee myös alkuoikosulkuvirrat, taulukkoon on koottu vain mitoituksen kannalta merkittävät jatkuvan tilan oikosulkuvirtojen suuruudet. Lisäksi tulee huomioida, että verkko, jolle laskentaa tehdään, on käyttömaadoitettu pienjänniteverkko.

TAULUKKO 7. Neplan-verkostolaskentaohjelmiston jatkuvan tilan oikosulkuvirrat

	generaattorilla	varavoimakeskus	12S552	12S553	12S771	12T320	12S222	syöttö
$I_{k1 \min}$ (kA)	6,26	7,32	0,99	0,43	0,43	0,99	1,04	rinnan
$I_{k1 \min}$ (kA)	2,07	5,19	0,94	0,42	0,42	0,94	0,97	verkko
$I_{k1 \min}$ (kA)	2,07	2,03	0,90	0,43	0,43	0,90	0,91	varavoimakone
$I_{k3 \max}$ (kA)	7,96	8,51	3,37	1,59	1,59	3,37	3,87	rinnan
$I_{k3 \min}$ (kA)	1,04	1,03	0,92	0,67	0,67	0,92	0,89	varavoimakone

Taulukosta 7 nähdään Neplan-verkostolaskentaohjelmiston oikosulkulaskennan tulokset. Taulukossa syöttösarakkeessa ”rinnan” tarkoittaa, että sekä varavoimakone että sähköverkko syöttävät verkkoa. ”Verkko” tarkoittaa, että vain sähköverkko syöttää verkkoa. Vastaavasti ”varavoimakone” tarkoittaa, että varavoimakone syöttää verkkoa. Keskuksilla oikosulkuvirrat jäivät pieniksi johtojen impedanssien vuoksi.

Taulukosta 7 voidaan havaita, että pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta on noin 0,4 kA. Pienin kolmivaiheinen oikosulkuvirta varavoimakeskuksella on noin 1 kA, kun pelkkä varavoimakone syöttää verkkoa ja suurin on noin 8,5 kA, kun sekä verkkoettä varavoimakone syöttävät verkkoa. Pienin ja suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta varavoimakeskuksella ovat tärkeitä tietää suojaruleiden mitoituksia varten. Lisäksi maksimioikosulkuvirran laskentatuloksissa saatiin keskuksella alkuoikosulkuvirran suuruudeksi noin 10,5 kA. Tämän avulla voidaan laskea dynaaminen oikosulkuvirta kaavan 2 avulla.

$$i_{\text{dyn}} = 1,44 \cdot \sqrt{2} \cdot 10,5 \text{ kA} = 21,4 \text{ kA}$$

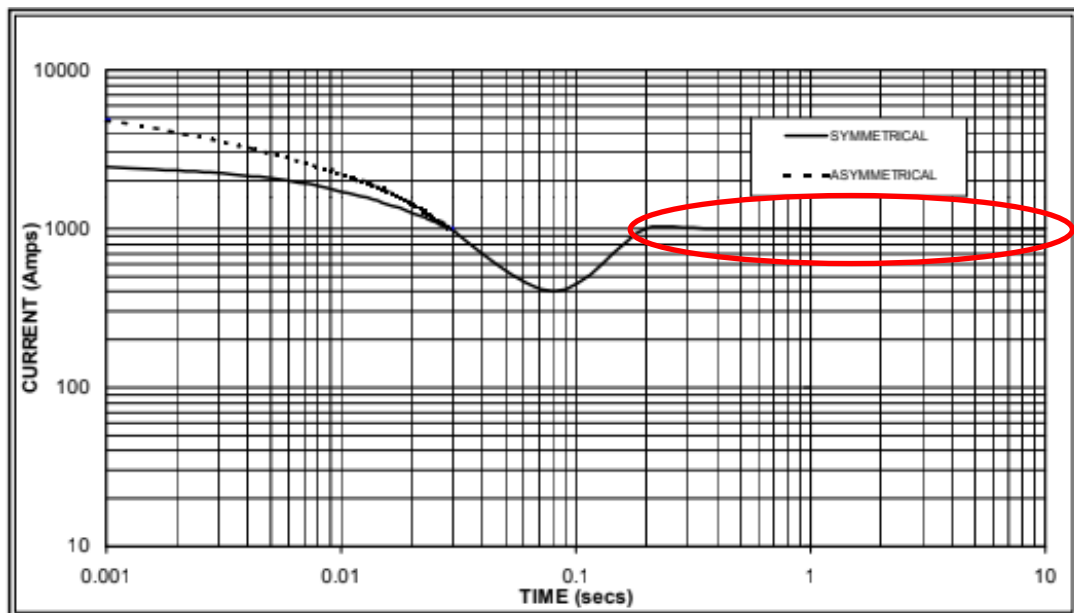
Suurin dynaaminen oikosulkuvirta varavoimakeskuksella Neplan laskentatuloksista laskettuna jää melko pieneksi. Jos esimerkiksi keskukseseen mitoitettut varalähdöt otetaan käyttöön, oikosulkuvirrat saattavat kasvaa, riippuen siitä mitä komponentteja varalähtöjen perään laitetaan. Sen vuoksi keskus voidaan mitoittaa tulevaisuuden optioiden mukaan, jolloin keskuksen mitoitusarvon olisi hyvä olla vähintään 32 kA suuruinen.

## 5 MITOITUKSET

### 5.1 Varavoimakone

Mittaustuloksissa taulukossa 6 mainitut kokonaistehot ovat osatekijöitä varavoimakoneen suuruuden määrittämisessä. Tässä tapauksessa tehot jäävät kuitenkin pieniksi, jolloin varavoimakoneen mitoittamista rajoittaa muut tekijät, eikä tehojen suuruudet ole merkittäviä.

Varavoimakoneen mitoituksessa huomioidaan oikosulkuvirran suuruus. Tässä tapauksessa nimenomaan oikosulkuvirta on rajoittava tekijä, joka määrää varavoimakoneen kokoluokan. Alla olevasta kuvasta 2 nähdään Stamfordin 250 kVA:n varavoimakoneen tuottaman kolmivaiheisen oikosulkuvirran käyttäytymistä.



KUVA 2. Stamford 250 kVA varavoimakoneen kolmivaiheinen oikosulkuvirta (Stamford. n.d.)

Kuten kuvasta 2 nähdään, 250 kVA varavoimakoneen kolmivaiheisen oikosulkuvirran jatkuvuustila on 1 kA suuruinen. Jotta varavoimakoneen suojaus saadaan toteutettua mahdollisimman hyvin sekä selektiivisesti, on tässä tapauksessa 1 kA sopiva suuruus varavoimakoneen oikosulkuvirtavaatimukselle. Tällöin oikosulku-

virrat kasvavat riittävän suuriksi suojalaitteiden kannalta. Lisäksi 250 kVA generaattorin kustannukset ovat prosentuaalisesti vain hieman suuremmat kuin 200 kVA generaattorin, jonka oikosulkuvirta olisi samaa suuruusluokkaa. Pienemmissä varavoimakoneissa oikosulkuvirta taas jäisi jo liian pieneksi. Tämän vuoksi päädytään Stamfordin 250 kVA ja 400 V varavoimakoneeseen, jonka nimellisvirta on 362 A. 250 kVA varavoimakoneen valinnassa on myös huomioitu tulevaisuuden optiot eli lisätään varavoimakeskukseen kaksi varalähtöä, jotka tarvittaessa voidaan ottaa käyttöön.

Koska varavoimakone tulee syöttämään UPS-laitteistoa, tulee varavoimakoneen mitoituksessa ottaa sekin huomioon. Jos UPS-on kaksimuunnostekniikan UPS, tulee varavoimakoneen olla 2-2,2 kertaa suurempi kuin UPS ja, jos UPS on yksimuunnostekninen, riittää 1,5 kertaa suurempi varavoimakone. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07 luku 3, 31.) Myös tältä osin 250 kVA:n varavoimakone on riittävä.

## 5.2 Kaapelit

Varavoimajärjestelmän sijoittamisessa tulee ottaa huomioon sen ympäristöönsä vaikuttavat tekijät, kuten melu, värinä ja päästöt. Lisäksi varavoimajärjestelmä vaatii tilaa. Ulos konttiin sijoitettava malli on tässä tapauksessa hyvä ratkaisu. Tällöin päästöt saadaan ohjattua ulos ilman suurempia lisäkustannuksia eikä värinästä ole suurempaa haittaa. Lisäksi varavoimakone saadaan tällöin sijoitettua lähelle sähkötilaa, johon varavoimakeskus tulee eikä kaapelivedot eivät ole siltä osin liian pitkiä. Myös varavoimajärjestelmän käyttöönottoaminen on tällöin sujuvampaa, sillä se ei vaadi suurempia rakennusmuutoksia.

Koska mitoitukset tehdään todelliseen tehdasympäristöön, on vaikea tietää ympäristöä missä kaapelit kulkevat. Esimerkiksi kuinka pitkiä matkoja, minkälaisilla hyllyillä tai minkälaisissa kouruissa kaapelit menevät. Tämän vuoksi kaapelit päädytään mitoittamaan korjauskertoimella 0,7 ja ilman lämpötilan oletetaan olevan noin 30 °C. Lämpötilan mukaan tuleva korjauskerroin on 0,94 (D1-2017. 2018, 232).

Mitoitetaan esimerkkinä kaapeli 12S771 DC-varaajalle. Varaajan nimellisvirta on 8 A. Nimellisvirran mukaan saadaan johdon sallittu kuormitettavuus (taulukko 8). Tällöin katsotaan taulukosta nimellisvirrasta seuraavaksi suurin vaihtoehto.

TAULUKKO 8. Johdon sallittu kuormitettavuus (D1-2017, 138)

gG-tyyppisen sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A	Johdon sallittu kuormitus vähintään A
6	8
10	13,5
16	18
20	22
25	28
32	35
35	39
40	44
50	55
63	70
80	88
100	110
125	138
160	177
200	221
250	276
315	348
400	441
500	552
630	695
800	883
1000	1103
1250	1379

Taulukosta 8 saadaan johdon sallituksi kuormitukseksi vähintään 13,5 A. Huomioidaan korjauskertoimet ja lasketaan korjattu kuormitettavuus:

$$I_{zk} = \frac{13,5 \text{ A}}{0,7 \cdot 0,94} = 20,516 \text{ A}$$

Korjatun kuormitettavuuden avulla saadaan johtimen poikkipinta-ala taulukon 9 mukaan. Koska korjatuksi kuormitettavuudeksi on laskettu noin 21 A, katsotaan taulukosta seuraavaksi suurin vaihtoehto.

TAULUKKO 9. Johtimen poikkipinta-ala kuormitettavuuden mukaan (D1-2017, 226)

Johtimen nimellispoikki- pinta (mm <sup>2</sup> )	SFS 6000:n mukaiset asennustavat			
	A	C	D	E
Kupari				
1,5	14	18,5	26	19
2,5	19	25	35	26
4	24	34	46	36
6	31	43	57	45
10	41	60	77	63
16	55	80	100	85
25	72	102	130	107
35	88	126	160	134
50	105	153	190	162
70	133	195	240	208
95	159	236	285	252
120	182	274	325	292
150	208	317	370	338
185	236	361	420	386
240	278	427	480	456
300	316	492	550	527

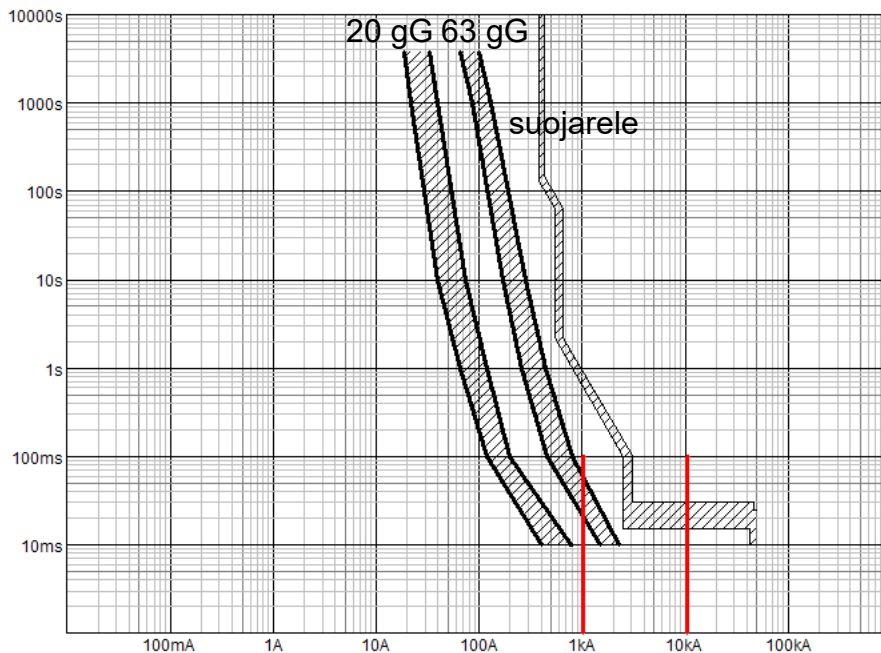
Koska asennustapa on joko C, D tai E, saadaan poikkipinta-alaksi 2,5 mm<sup>2</sup>. Valitaan siis kaapeliksi MCMK 2x2,5+2,5. Kaikki kaapelit on mitoitettu kuormitettavuuden perusteella edellä esitetyllä tavalla.

### 5.3 Suojalaitteet

Verkon komponentteja mitoittaessa tulee huomioida mahdollinen katkosaika, joka esiintyy varavoimaan siirryttäessä ja varavoimasta siirryttäessä takaisin alkuperäiseen sähköverkkoon. Varavoimajärjestelmään siirryttäessä katkosaika on alle 15 sekuntia. Kun taas varavoimalaitoksesta verkkoon siirryttäessä katkosaika on tyypillisesti 0,2 sekunnin kestoinen. Jotta vältytään vaihe-eron aiheuttamalta virtasysäykseltä, katkosta voidaan pidentää esimerkiksi sekunnin mittaiseksi. Tällöin vaihe-ero saadaan tasattua. Paluukytkennöissä ja koekäytöissä katkoksia voidaan myös poistaa lisäämällä tahdistuslaitteisto ja lisälaitteisto rinnankäyntiä varten. (ST-käsikirja 31 2019, 30.) Tässä työssä varavoimakone rakennetaan niin, että rinnankäynti on mahdollista, eikä katkoksia kytkentävaiheissa näin ollen tapahdu.

Verkon suunnittelussa tulee huomioida kunnossapito- sekä viankorjaustoimien mahdollistaminen ilman suurempaa käytettävyyden heikkenemistä sekä 4-napaisten kytkimien käyttämistä on harkittava tarkkaan (ST-käsikirja 31 2019, 32). 4-napaisten kytkimien käytössä myös häiriöherkkyys sekä mahdolliset vikapaikat lisääntyvät. Lisäksi myös verkon suunnittelussa tulee huomioida vikasuojauksen toteutuminen eri verkonkäyttötilanteissa, suojalaitteiden selektiivisyys ja voimassa olevien määräyksien täyttyminen (ST-käsikirja 31 2019, 32).

Suojareleet asennetaan muuntajan toisioon suojaamaan muuntajaa ja varavoimajärjestelmän sähköverkkoa sekä varavoimakoneen jälkeen suojaamaan sekä varavoimakonetta että sen sähköverkkoa. Tällöin suojalaitteiden on oltava selektiivisiä sekä ylös- että alaspäin sähköverkossa. Suojalaitteiden selektiivisyyttä sekä vikasuojauksen toteutumista pystytään tarkastelemaan ABB:n e-Design ohjelman avulla. Alla olevassa kaaviosta nähdään liitteen 6 (Salovaara, M. 2022) mukaisten 63 gG ja 20 gG sulakkeiden sekä ABB:n Ekip Touch ilmareleen toimintakäyrät. Kaavioon on myös merkitty pystysuorilla viivoilla 1 kA ja 10 kA alue, johon vian ilmetessä oikosulkuvirta sijoittuu. 1 kA tarkoittaa pienintä mahdollista kolmivaiheista oikosulkuvirtaa ja 10 kA suurinta mahdollista kolmivaiheista oikosulkuvirtaa.

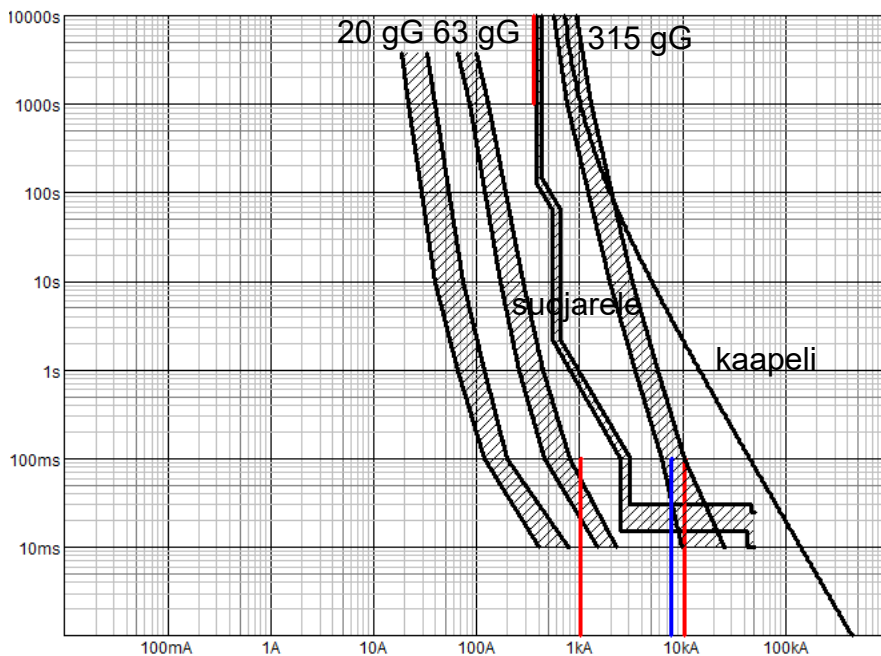


KAAVIO 1. Toimintakäyrät 20 gG, 63 gG ja suojarele



Kaaviosta 1 nähdään, että virran kasvaessa suojaus toimii niin, että 20 gG toimii ensimmäisenä, 63 gG sitten ja suojarole viimeisempänä. Kaavion mukaan pienimmällä mahdollisella oikosulkuvirralla suojarole laukeaa alle sekunnissa. Jos virta on suurempi kuin 1 kA laukeaa suojarole vieläkin nopeammin. Lisäksi kaaviossa näkyvät käyrät eivät ole keskenään päällekkäin, joten tällöin mikään suojausista ei toimi samanaikaisesti tai tavalla, jota ei ole haluttu. Tällöin siis vian ilmetessä suojaroleen ja lähtöjen välissä, suojaus toimii selektiivisesti.

Seuraavaksi tarkastellaan, kuinka muuntajan ensiössä oleva 315 gG sulake reagoi, jos vika tapahtuu. Lisäksi lisätään varavoimajärjestelmän heikoin kaapeli ja tarkastellaan, että suojarole varmasti suojaa myös kaapelia.

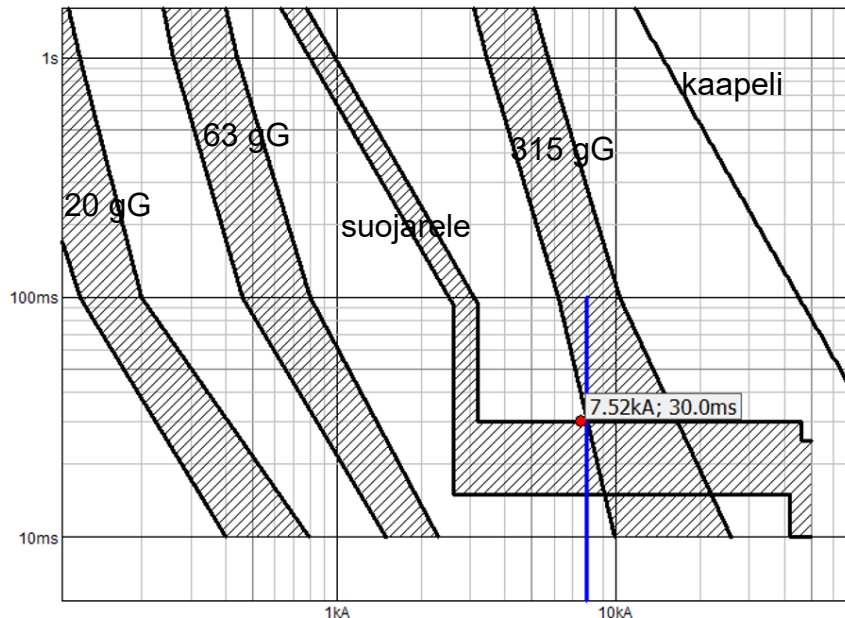


KAAVIO 2. Toimintakäyrät 20 gG, 63 gG, suojarole, 315 gG ja kaapeli

Kaaviosta 2 voidaan ensimmäisenä havaita, että suojarole suojaa myös suunniteltuja kaapeleita. Kaaviossa oleva kaapeli kuvaa suunnitelman heikointa kaapelia ja näin ollen muutkin kaapelit ovat suojattuja.

Lisäksi kaaviosta nähdään, että myös muuntajan ensiössä oleva sulake toimii selektiivisesti mitoitetun suojalaitteen kanssa. Noin 7,5 kA kohdalla oleva sininen pystysuoraviiva kuvaa muuntajan muuntosuhteen mukaista virtaa, joka

suurimmillaan näkyy muuntajan ensiössä, kun muuntajan toisiossa missä tahansa kohtaa syötetyssä verkossa tapahtuu oikosulku. Kaaviossa 3 nähdään vielä ko. kohta tarkemmin



KAAVIO 3. Toimintakäyrät 20 gG, 63 gG, suojarele ja 315 gG

Kuten kaaviosta 3 nähdään, muuntajan ensiössä oleva 315 gG sulake ei havahdu toisiossa tapahtuviin oikosulkuvirtoihin. Tämä havaitaan siitä, että pystysuora 7,5 kA viiva ei leikkaa ensiön sulakkeen käyrää kunnes 30 ms kulutta. Tällöin tarkastellaan suojareleen ylemmää rajavirtaa, sillä alempi rajavirta toimii jo aiemmin. Joten voidaan huomata, että tällöin koko suojareleen toiminta-alue on ylitetty eli suojarele on ehtinyt jo toimimaan. 7,5 kA on muuntajan muuntosuhteen mukainen maksimivirta, joka muuntajan ensiössä näkyy, kun vika tapahtuu muuntajan toisiossa. Jos taas virta on suurempi kuin 7,5 kA muuntosuhteen jälkeen, vika tapahtuu muuntajan ensiössä ja tällöin suojaus kuuluukin toimia muuntajan ensiön puolelta. 10 kA maksimivirran ja 1 kA minimivirran pystysuoraviiva on poistettu kaaviosta 3, koska tässä tarkastellaan muuntajan ensiössä näkyvää maksimivirtaa muuntosuhteen jälkeen eikä näin ollen vikavirta ole niin pieni eikä myöskään pysty edes niin suureksi kasvaa.

Optimaalinen suojareleasettelu on silloin, kun suojarele laukeaa mahdollisimman nopeasti mutta selektiivisesti. Kaaviossa 2 on nähtävissä, että suojareleen aset-

telu on optimaalinen. Se laukaisee suuret oikosulkuvirrat nopeasti, jolloin komponentit eivät ehdi vioittua, mutta myös selektiivisesti, jolloin muu suojaus ei mene sen kanssa sekaisin. Suojaus toimii myös niin että mitä suurempi oikosulkuvirta sitä nopeammin suojalaitteet reagoivat. Lisäksi mikään suojalaitteista ei toimi päällekkäisesti. Tällöin suojaus toimii sekä virtaselektiivisesti että aikaselektiivisesti halutulla tavalla. Alla olevassa kuvassa 3 nähdään suojareleelle asetellut arvot.

The screenshot shows the configuration interface for an ABB Ekip Touch LSI 400 circuit breaker. The title bar reads 'Cb - E1.2C 630 Ekip Touch LSI 400'. Below this, there is a 'Select' button and a dropdown menu set to 'Electronic'. The 'In' parameter is set to '400 [A]' and 'InN' is set to 'OFF'. There are three main sections for settings:

- L (IEC60947-2):** Checked. Settings: IEC60947-2, 0.900, 20s.
- S:** Checked. Options:  $I^2t=k$  (selected) and  $t=k$ . Settings: 1.5, 0.05s.
- I:** Checked. Setting: 7.0.
- I2:** Not checked. Setting: 4.0.

KUVA 3. Suojareleen asetteluarvot

Suojareleen asettelua voitaisiin saada paremmaksi, jos S kertoimeksi laitettaisiin pienempi kuin 0,05 s. Tällöin suojareleen havahtumispiste muuttuisi niin, että se havahtuisi oikosulkuvirtaan vieläkin aikaisemmin. Suojareleelle ilmoitetaan oikosulkukestoisuudeksi 24 kA virralla 3 sekuntia (ABB. 2022). Koska oikosulkuvirta kasvaa maksimissaan 10 kA kestää suojarele tätä ainakin 3 sekunnin verran. Suojarele kuitenkin laukeaa 0,05 s asetteluarvolla jo alle sekunnissa.

## 6 YHTEENVETO

Uuden NC ER -verkkosäännön vuoksi sähköverkon käyttövarmuus paranee sekä häiriö- tai vikatilasta palautuminen on huomattavasti sujuvampaa ja nopeampaa. Koska NC ER vaatimukset koskevat useita verkonkäyttäjiä, joutuu niistä jokainen miettimään ja suunnittelemaan sähköverkkoa koskevia säännöksiä. NC ER -verkkosääntö pitää sisällään useita osa-alueita alitaajuussuojausjärjestelmästä automaattiseen ylitaajuudesta tapahtuvaan irtikytkentään sekä pätötehon, loistehon ja jännitteen säätöön. Mutta tässä opinnäytetyössä tarkastellaan ja suunnitellaan vain 24 tunnin toimintakykyvaatimuksien täyttyminen.

Anjalankosken tehtaille NC ER -verkkosäännön 24 tunnin toimintakykyvaatimukset toteutetaan varavoimajärjestelmän avulla. Varavoimakoneeksi valitaan 250 kVA Stamfordin varavoimakone, joka täyttää sekä teho- että oikosulkuvirtavaatimukset. Järkevää varavoimakoneen mitoituksessa on huomioida tulevaisuus. 250 kVA varavoimakoneessa on myös huomioitu tulevaisuuden optiot, jos varavoimajärjestelmän taakse tarvitseekin saada lisää kuormaa. Varavoimajärjestelmään kuuluu myös kaapelit sekä suojalaitteet. Kaapelit eivät saa olla alimitoitettuja ja suojalaitteiden on toimittava selektiivisesti.

Varavoimajärjestelmä voidaan sijoittaa ulos tai sisätiloihin sille standardien erikseen määrittelemään huoneeseen. Ulos sijoitettaessa päästöjen, melun ja tärinän huomioiminen on helpompaa kuin sisätiloissa. Tässä opinnäytetyössä varavoimakoneen sijainti ulkona on optimaalinen, sillä täten se saadaan sijoitettua sähkötilan läheisyyteen. Lisäksi ulos konttiin sijoitetun varavoimajärjestelmän käyttöönottoaminen on huomattavasti helpompaa.

Opinnäytetyön avulla saadaan käsitys prosessista ja konkreettisista toimenpiteistä, mitä uusien verkkosäännösten noudattaminen vaatii merkittävilta verkonkäyttäjiltä. Varavoimajärjestelmän toteuttaminen on vain pieni osa NC ER -verkkosäännösten mukana tulevista hankinnoista, jotka parantavat sähköverkon käyttövarmuutta ja sähkön laatua.

## LÄHTEET

ABB. Detailed information for: E1.2C 630 Ekip Touch LSI 4p WMP. 2022. Luettu 27.8.2022. <https://new.abb.com/products/1SDA072695R1/e1-2c-630-ekip-touch-lsi-4p-wmp>

ABB:n TTT-käsikirja 2000-07 luku 7, Oikosulkusuojaus.

ABB:n TTT-käsikirja 2000-07 luku 3, Yleistä sähkötekniikkaa.

Angeria. H. 2017. Kalkkitehtaan pienjänniteverkon oikosulkulaskelmat. Opinnäytetyö.

Asiantuntijahaastattelu. Salovaara, M. 24.5.2022.

D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 2017. 24., uudistettu painos. Espoo: Sähköinfo Oy.

Enersense. Me olemme Enersense. 2022. Luettu 28.3.2022. <https://enersense.fi/tietoa-meista/>

Euroopan komission asetus (EU) 2017/2196. Viitattu 28.3.2022.

Kemijoki. Anjalankoski (Kymijoki). n.d. Luettu 30.3.2022. <https://www.kemijoki.fi/toimintamme/voimalaitokset-ja-tuotanto/anjalankoski-kymijoki.html>

Kemijoki. Inkeroinen (Kymijoki). n.d. Luettu 30.3.2022. <https://www.kemijoki.fi/toimintamme/voimalaitokset-ja-tuotanto/inkeroinen-kymijoki.html>

Siltala, J. 2020. Emergency and Restoration verkkosäntö – vaatimukset ja toimeenpano Suomessa. Fingrid. Luettu 21.3.2022 <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/verkkosaannot/nc-er-toimeenpano-perustietopaketti-julkinen.pdf>

Stamford. UCI274H Datalehti. n.d.

ST-käsikirja 31. 2019. Varavoimakoneet ja -laitokset. 4., uudistettu painos. Espoo: Sähköinfo Oy

Stora Enso. Anjalan tehdas. n.d. Luettu 14.3.2022.

<https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/stora-enso-locations/anjala-mill>

Stora Enso. Inkeröisten tehdas. n.d. Luettu 14.3.2022.

<https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/stora-enso-locations/ingerois-mill>

Stora Enso. Tietoa Stora Ensosta. n.d. Luettu 14.3.2022.

<https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso>

Ulenius, J. 2015. Voimalaitoksen sähkönjakelun kaukokäytön modernisointi. Opinnäytetyö.

**LIITTEET**

Liite 1. Neplan laskentatulokset yksivaiheisesta minimoioikosulkuvirrasta (verkko- ja varavoimakonesyöttö)

Liite 2. Neplan laskentatulokset yksivaiheisesta minimioikosulkuvirrasta (verkko-  
syöttö)



Liite 3. Neplan laskentatulokset yksivaiheisesta minimoioikosulkuvirrasta (varavoimakonesyöttö)

Liite 4. Neplan laskentatulokset kolmivaiheisesta maksimi oikosulkuvirrasta (verkko- ja varavoimakonesyöttö)

Liite 5. Neplan laskentatulokset kolmivaiheisesta minimioikosulkuvirrasta (varavoimakonesyöttö)

## Liite 6. Jakelukaavio