

Janne Stenbacka

SAIRAALAYMPÄRISTÖJEN VERKOSTOLASKENNAN
ERITYISPIIRTEET JA VAATIMUKSET

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
2018

SAIRAALAYMPÄRISTÖJEN VERKOSTOLASKENNAN ERITYISPIIRTEET JA VAATIMUKSET

Stenbacka, Janne
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2018
Sivumäärä: 46
Liitteitä: 9

Asiasanat: Oikosulkuvirta, Jakeluverkko, Selektiivisyys

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia sairaalaympäristöjen verkostolaskentaa ja selektiivisyyttä, kuin myös sairaalaan ja lääkintätiloihin liittyviä erityispiirteitä ja vaatimuksia. Oikosulkulaskentaa tehtiin erilaisissa käyttötilanteissa, normaalissa verkkokäytössä kuin myös varavoimaverkossa, generaattorikäytöllä. Työ vaati perehtymistä oikosulkuvirtalaskennan perusteisiin, selektiivisyydestä tarkasteluun sekä oikosulkuvirtalaskentaan käytetyn tietokoneohjelman harjoitteluun.

Kohteena työlle oli eräs sairaala Suomessa. Kohteesta kerättiin tietoa oikosulkulaskelmia varten. Sairaalan jakeluverkkoa tutkittiin toimivuuden toteamiseksi sekä tulevaisuuden muutoksia silmällä pitäen. Sairaalan jakeluverkko mallinnettiin Paladin DesignBase-ohjelmalla. Ohjelman avulla laskettiin oikosulkuvirratt mallinnetusta verkosta määritetyille pisteille.

Työn tuloksena saatiin hyvä ymmärrys oikosulkulaskennan tarkoituksesta sekä perehdyttiin sairaalaverkon vaatimiin yksityiskohtiin. Kohteena toimineen sairaalan verkosta laskettiin oikosulkuvirratt halutuille pisteille. Tuloksien perusteella voidaan luovuttaa raportti sairaalan verkon suojalaitteiden toiminnasta sekä yleiskuva verkon kunnosta.

ELECTRICAL GRID ANALYSIS AND SPECIAL FEATURES IN HOSPITAL ENVIRONMENT

Stenbacka, Janne

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electric and Automation Engineering

April 2018

Number of pages: 46

Appendices: 9

Keywords: Short-circuit current, Electrical grid, Selectivity

The purpose of this thesis was to study electrical grids short circuit calculations and selectivity analysis in hospital environment as well as study special features and demands associated to hospitals and medical rooms. Short-circuit calculation was done in normal electrical grid use as well as in reserve power use. Study required familiarizing to basics of short circuit calculations as well as practicing modelling with short circuit calculation software.

Object for this thesis was a hospital in Finland. Data for short circuit calculation was gathered from the hospital. Hospital's electrical grid was studied for its functionality and for future changes on the grid. Electrical grid was modelled with Paladin DesignBase-software. Short circuit currents were calculated with software.

As a result of this study a good understanding of short circuit calculation was made as well as got familiarized with details required in hospitals electrical grids. Short circuit currents of hospital's electric grid were calculated to wanted points. With this information a report which consists of how electric grids protective devices are functioning and overall view of the electric grids condition can be given to the hospital.

TERMIT

$I_k(t)$ = Oikosulkuvirta ajan funktiona

$I_{dc}(t)$ = Oikosulkuvirran tasavirtakomponentti ajan funktiona

$I_{ac}(t)$ = Oikosulkuvirran vaihtovirtakomponentti ajan funktiona

$I_{ac}(RMS)$ = Oikosulkuvirran vaihtovirtakomponentin tehollisarvo

$I_{pk}(t)$ = Oikosulkuvirran huippuarvo ajan funktiona

I_k = Oikosulkuvirta

U = Jännite

Z_k = Oikosulkuimpedanssi

U_n = Nimellisjännite

S_n = Nimellisteho

P_k = Muuntajan tyhjäkäyntihäviö

Z_t = Muuntajan impedanssi

I_n = Nimellisvirta

R_t = Muuntajan resistanssi

X_t = Muuntajan reaktanssi

R_c = Kaapelin resistanssi

X_c = Kaapelin induktanssi

I_{k3} = Kolmivaiheinen oikosulkuvirta

I_{k2} = Kaksivaiheinen oikosulkuvirta

I_{k1} = Yksivaiheinen oikosulkuvirta

$R_{(t,c,mmj)}$ = Resistanssi (muuntaja, kaapeli, johto)

$X_{(t,c,mmj)}$ = Reaktanssi (muuntaja, kaapeli, johto)

$S_{(t,c,mmj,rk1)}$ = Oikosulkuteho

I_{cw} = Terminen oikosulkukestoisuus

I_{pk} = Dynaaminen oikosulkukestoisuus

I_p = Virran huippuarvo

3P-1.0s I_{th} = Kolmivaiheinen terminen oikosulkuvirta (1s)

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	VERKOSTOLASKENTA.....	9
2.1	Mitä verkostolaskenta on ?	9
2.2	Selektiivisyys	9
2.3	Oikosulku	10
2.4	Vikatyytit	10
2.4.1	Kolmivaiheinen oikosulku I_{k3}	10
2.4.2	Kaksivaiheinen oikosulkuvirta I_{k2}	11
2.4.3	Yksivaiheinen oikosulku I_{k1}	12
2.5	Oikosulkuvirran kuvaaja.....	13
2.6	Oikosulkuvirtaan vaikuttavat asiat.....	13
2.7	Oikosulkuvirran vaikutus verkkoon.....	14
2.8	Kaapelien kuormitus	14
3	MIKÄ ON VERKOSTOLASKENNAN TARKOITUS ?	15
3.1	Mitä tuloksia verkostolaskennalla haetaan ?.....	15
4	OIKOSULKUVIRRRAN LASKENTA	17
4.1	Esimerkkiverkon laskenta.....	17
4.2	Oikosulkuvirtojen laskenta tehojen avulla.....	22
4.3	Oikosulkulaskennan yhteenveto	25
5	SUOJALAITTEET	26
5.1	Katkaisija	26
5.2	Sulake.....	27
5.3	Suojalaitteiden yhteensopivuus.....	28
6	LÄÄKINTÄTILOJEN STANDARDIT	30
6.1	Lääkintätilojen turvajärjestelmät	31
6.2	Varavoimien erikoisvaatimukset	31
7	LÄHTÖTIETOJA KOHTEESTA	32
7.1	Jakelunverkon rakenne.....	33
7.2	Jakeluverkon suojaus	33
8	SAIRAALAVERKON TUTKINTA	34
8.1	Oikosulkukestoisuus	34

8.2	Katkaisijoiden oikosulkukestoisuus.....	37
8.3	Suojalaitteiden selektiivisyys.....	37
9	SAIRAALAN VERKON YHTEENVETO.....	43
10	YHTEENVETO	45
	LÄHTEET.....	46

LIITTEET

LIITE 1 Jakelukaavio, pääjakelu

LIITE 2 Jakelukaavio, varavoimaverkko

LIITE 3 Pääjakelu maksimioikosulkuvirrat

LIITE 4 Pääjakelu minimioikosulkuvirrat

LIITE 5 Varavoima maksimioikosulkuvirrat

LIITE 6 Varavoima minimioikosulkuvirrat

LIITE 7 Pääjakelu, sulakkeiden toiminta-ajat

LIITE 8 Varavoima, sulakkeiden toiminta-ajat

LIITE 9 Sulakkeen oikosulkuvaimennus

1 JOHDANTO

Toimivan sairaalan edellytyksenä on luotettava ja standardin mukaisesti rakennettu sähköverkko. Hyvä suunnittelu, dokumentointi ja rakentaminen takaavat sähköverkon helpon huoltamisen ja päivittämisen. Sähköverkossa esiintyvät oikosulut aiheuttavat verkossa haasteita niin kaapeleille, keskuksille, katkaisijoille kuin myös muille sähköverkon komponenteille. Sähköverkkoa suunniteltaessa verkon komponentit tulee mitoittaa niin, ettei verkkoon aiheudu mekaanista tai termistä vahinkoa. Oikosulkuvirtojen laskennan avulla voidaan valita oikeanlaiset komponentit ja suojalaitteet ja täten ehkäistä tulipaloja sekä välttyä ihmisvahingoilta.

Tässä työssä tutkittiin erään sairaalan jakeluverkkoa ja sairaalan sähköverkon rakentamisessa käytettäviä standardeja. Sairaalaverkolle tehtiin oikosulkulaskentaa ja näin tutkittiin, kuinka hyvin sähköverkon suojaus on toteutettu. Työn tavoitteena on opetella oikosulkulaskennan periaatteita, opetella käyttämään oikosulkulaskentaohjelmaa, tutkia lääkintätiloille ominaisia standardeja ja sääntöjä sekä määrittää sairaalan eri muuntopiirien sähkökeskusten oikosulkuvirrat.

Työssä käydään läpi oikosulkulaskennan perusasioita, miksi oikosulkulaskentaa tehdään ja minkälaisia tuloksia haetaan. Työssä käydään läpi suojalaitteita ja miten suojalaitteet toimivat oikosulkusuojauksessa. Sairaalan jakeluverkko mallinnetaan tietokoneohjelmalla ja verkon suojalaitteita ja oikosulkuvirtoja tutkitaan.

Sairaalasta kerättiin lähtötietoja, joiden mukaan sairaalan jakeluverkko mallinnettiin oikosulkulaskentaohjelmalla. Lähtötietoja ovat muun muassa kaapelityypit ja kaapelipituudet. Opinnäytetyön yksi työvaiheista oli Paladin DesignBase-ohjelman opettelu. Opettelu tapahtui jakeluverkon piirtämisen yhteydessä.

Opinnäytetyöhön kuuluu liitteinä jakelukaaviot normaalista jakeluverkosta ja varavoimajakelusta, taulukot lasketuista oikosulkuvirroista sekä taulukot sulakkeiden toiminta-ajoista.

2 VERKOSTOLASKENTA

2.1 Mitä verkostolaskenta on ?

Verkostolaskennalla tarkoitetaan prosessia jossa sähköverkon käyttäytymistä tutkitaan vikatilanteessa. Sähköverkon suojalaitteiden oikeanlaisen toimivuuden saavuttaminen on verkostolaskennan tarkoitus. Verkon oikosulkuvirrat lasketaan halutuille pisteille, usein pääkeskuksille ja nousukeskuksille. Kun oikosulkuvirrat on laskettu, verkkoa voidaan analysoida. Verkostolaskenta antaa ajantasaisen kuvan verkon toiminnallisuudesta.

Oikosulkuvirtojen laskentaa käsitellään IEC 60909-standardissa. Verkostolaskenta aloitetaan mallintamalla asiakkaan sähköverkko tietokoneohjelmalla (Liite 1, Liite 2). Jakeluverkon mallintamiseen käytettiin Paladin DesignBase-ohjelmaa. Sähköverkosta tulee selvittää tietyt asiat ennen mallintamisen aloittamista, kuten kaapelityypit, kaapelipituudet, katkaisijat, muuntajat, generaattorit, sulakkeet ja keskuskeskukset. Mallinnuksen jälkeen ohjelmalla lasketaan verkon oikosulkuvirrat valittuihin pisteisiin. Laskennan jälkeen verkkoa voidaan analysoida ja selvittää toimiiko verkon suojaus halutulla ja standardin (SFS-6000) mukaisella tavalla.

2.2 Selektiivisyys

Selektiivisyydellä tarkoitetaan, että verkon suojalaitteet toimivat vikatilanteessa standardin mukaisesti ja oikeassa järjestyksessä. Selektiivisyydellä pyritään rajaamaan sähköverkon vikatilanteessa mahdollisimman pieni alue ja irrottamaan vain vika-alue verkosta. Verkon suojalaitteiden toiminnan takaamiseksi laitteiden tulee

toimia yhdessä selektiivisesti. Totaalisella selektiivisyydellä tarkoitetaan, että suojalaitteet toimivat keskenään täysin selektiivisesti eli alempi suojalaite toimii varmudella ennen ylempää suojalaitetta.

2.3 Oikosulku

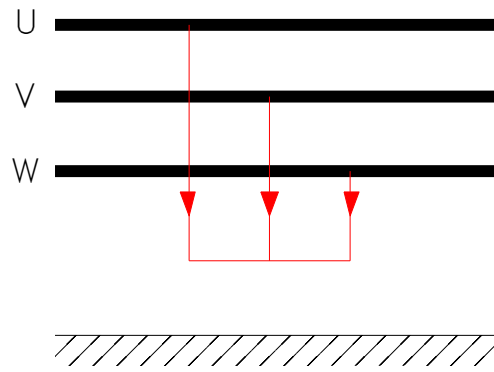
Oikosulku on verkossa tapahtuva vikatilanne, jossa sähköverkossa yksi tai useampi jännitteinen osa joutuu kosketukseen maan tai toisten jännitteisten osien kanssa pienen impedanssin kautta. Oikosulun seurauksena virta voi kasvaa kaapelissa erittäin suureksi mikä aiheuttaa ylikuumentumisen, josta voi pahimmassa tapauksessa seurata tulipalo tai räjähdys.

Yleinen oikosulun aiheuttaja on johtimen rikkoutunut eriste. Kaapelin eriste alkaa murentua pitkäaikaisen ylikuormituksen aiheuttaman kuumentumisen seurauksena. Rikkoutuneen eristeen seurauksena jännitteiset johtimet pääsevät toistensa kanssa kosketuksiin ja oikosulku tapahtuu. Oikosulku voi syntyä myös inhimillisen virheen seurauksena. Joskus metalliset työkalut joutuvat kosketuksiin jännitteisten osien kanssa tai tehdään virheellisiä kytkentöjä.

2.4 Vikatyypit

2.4.1 Kolmivaiheinen oikosulku I_{k3}

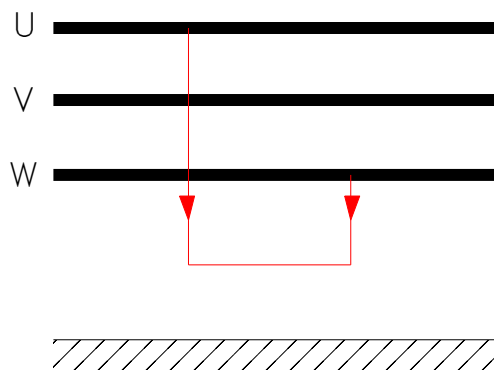
Kolmivaiheinen oikosulku syntyy kun verkon kaikki vaiheet kytkeytyvät yhteen. Verkon vaiheiden jännite tippuu ja vikapaikassa alkaa vaikuttaa kolmivaiheinen oikosulkuvirta I_{k3} .



Kolmivaiheinen oikosulkuvirta on yksi oikosulkulaskennan perustapauksista. Kolmivaiheinen oikosulkuvirta johtaa useimmiten suurimpaan oikosulkuvirtaan. Kolmivaiheinen oikosulkuvirta on symmetristä, joten sen laskenta on myös paljon helpompaa kuin epäsymmetristen virtojen.

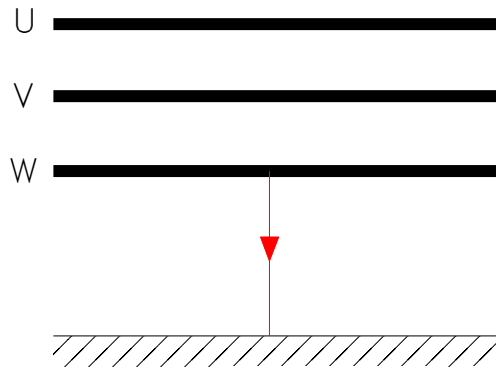
2.4.2 Kaksivaiheinen oikosulkuvirta I_{k2} .

Kaksivaiheinen oikosulku syntyy, kun kaksi verkon kolmesta vaiheesta kytkeytyy toisiinsa. Kaksivaiheinen oikosulkuvirta on lähes aina pienempi kuin kolmivaiheinen, joten sen arvolla ei ole järkevästi suurta merkitystä sähköverkon tutkimuksessa.



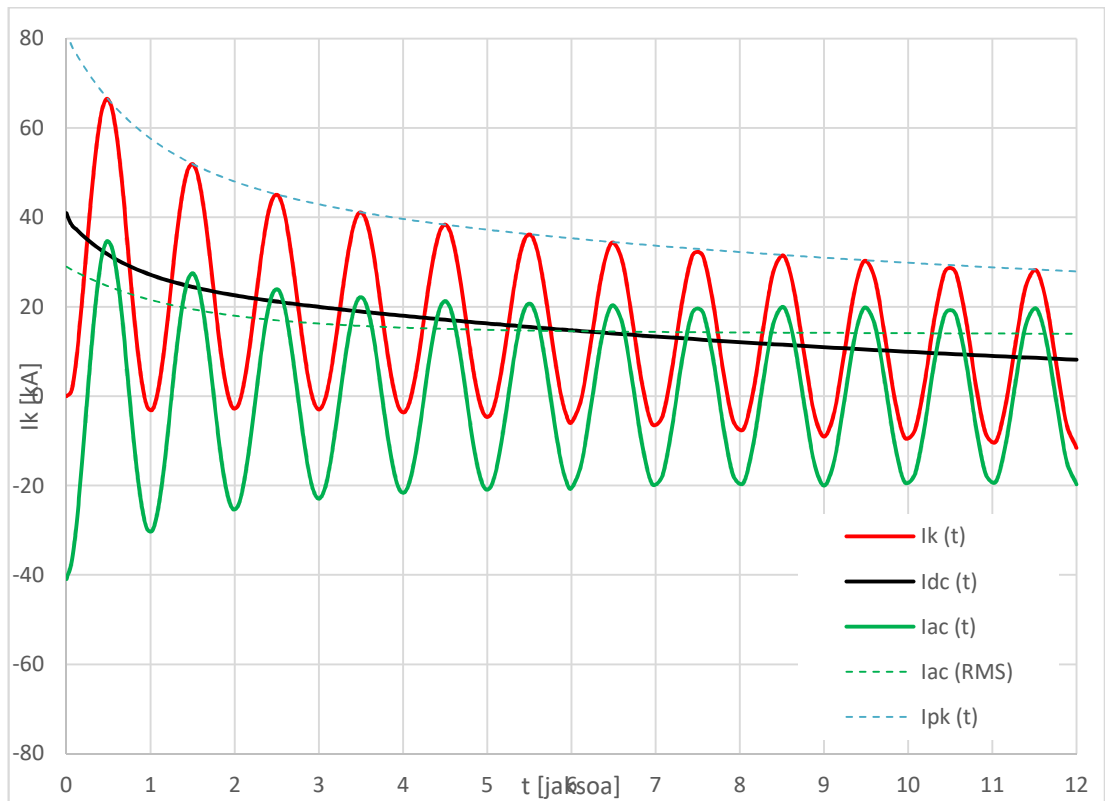
2.4.3 Yksivaiheinen oikosulku Ik1.

Yksivaiheinen oikosulku tapahtuu, kun yksi verkon vaihejohtimista kytkeytyy yhteen maan tai maadoitetun osan kanssa.



Yksivaiheinen oikosulku on erittäin yleinen tapaus sekä yksi oikosulkulaskennan perustapauksista. Oikosulkuvirran laskenta ei kuitenkaan ole niin yksinkertaista. Virtojen suuruuteen vaikuttaa verkon maadoitus joten tässä tapauksessa poiketaan kaksi- ja kolmivaiheisen oikosulkuvirran laskentatavasta. Yksivaiheinen oikosulkuvirta on yleensä kolmesta laskettavasta virrasta kaikkein pienin. Tapauksissa jossa muuntajan tähtipiste on lähellä vikapaikkaa tai verkon impedanssi on hyvin pieni, oikosulkuvirrat voivat nousta korkeammiksi kuin kolmivaiheisessa verkossa.

2.5 Oikosulkuvirran kuvaaja



Oikosulkuvirran kuvaajasta nähdään oikosulkuvirran käyttäytyminen. Oikosulkuvirta nousee hyvin nopeasti huippuarvoonsa, jonka jälkeen laskee ja tasaantuu pysyvän tilan arvoon.

2.6 Oikosulkuvirtaan vaikuttavat asiat

Oikosulkuvirran suuruuteen vaikuttavia asioita on monia. Suurin vaikutus oikosulkuvirtaan on muuntajan teholla ja oikosulkuimpedanssilla. Muuntajan teho määrittää, kuinka paljon oikosulkuvirtaa on saatavilla. Oikosulkuvirtaan vaikuttaa myös oikosulkuimpedanssi, joka määräytyy oikosulussa olevan materiaalin impedanssin mukaan. Impedanssiin vaikuttavat esimerkiksi kaapeleiden pituudet sekä tyypit ja maa-

sulussa maadoituksen suuruus. Suorat moottorikäytöt kasvattavat oikosulkuvirran suuruutta. Moottorit toimivat oikosulkutilanteen alkuhetkinä generaattoreina, jotka kasvattavat oikosulkuvirtaa. Taajuusmuuttajalla ohjatut moottorit eivät taas lisää oikosulkuvirtaa, koska taajuusmuuttajan ei kykene syöttämään energiaa verkkoon päin.

2.7 Oikosulkuvirran vaikutus verkkoon

Oikosulkuvirta vaikuttaa sähköverkon komponentteihin dynaamisesti sekä termisesti. Dynaamisella oikosulkuvirralla tarkoitetaan virran voimavaikutusta magneettikentissä. Suuret virrat luovat kiskoihin tai kaapeleihin magneettikentän. Kun moneen rinnakkaiseen kiskoon muodostuu magneettikenttä, ne alkavat liikuttamaan toisiaan, hylkiä ja vetäen toisiaan puoleensa. Esimerkiksi keskuksen jännitekiskon rakenteen tarvitsee olla tarpeeksi luja, jotta oikosulun tapahtuessa kiskot eivät irtoa liittoksestaan. Keskuksille ilmoitetaan oikosulkukestoisuudet, jolla tarkoitetaan paljonko virtaa ne maksimissaan kestävät, joten keskuksien oikein mitoittaminen on tärkeää.

Termisellä oikosulkuvirralla tarkoitetaan oikosulkuvirran fyysistä vaikutusta, lämpövaikutuksena. Kaapeleille ilmoitetaan oikosulkukestoisuudet. Oikosulkukestoisuus ilmoitetaan johtimen suurimman sallitun lämpötilan mukaan, esimerkiksi 160 °C (kesto enintään 5s) PVC-eristyksellä.

2.8 Kaapelien kuormitus

Oikosulkuvirrat kuormittavat kaapeleita termisesti. Oikosulun aikana kaapelin lämpötila ei saa nousta niin korkeaksi, että se heikentäisi kaapelin eristyksen mekaanista ja sähköistä lujuutta. Kaapelien terminen kestoisuus ilmaistaan yhden sekunnin oikosulkuvirralla I_{1s} , jonka kaapelin suojaus kestää vaurioitta. Kaapelivalmistajat ilmoittavat arvot kullekin kaapelityypille ja poikkipinta-alalle

3 MIKÄ ON VERKOSTOLASKENNAN TARKOITUS

Verkostolaskentaa tehdään usein vanhojen teollisuusrakennusten tai kiinteistöjen sähköverkon suojalaitteiden toiminnan toteamiseksi. Oikosulkulaskenta on nykyään pakollinen toimenpide jo suunnitteluvaiheessa. Verkostolaskenta ja selektiivisyys lisäävät paloturvallisuutta, kun saadaan mitoitettua laitteet oikein sekä sähköverkon suojalaitteet toimimaan oikein.

Verkostolaskentaa voidaan tehdä myös laivojen sähköverkoille tai vastaaville maaverkosta irrallaan oleville sähköverkoille. Laivojen sähköverkko eroaa maaverkosta ja tämä tulee huomioida myös verkostolaskennassa. Laivojen verkko rakennetaan yleensä rengastyypisellä eli tärkeimpiä keskuksia voidaan syöttää kahdesta eri syöttösuunnasta. Verkko rakennetaan näin, jotta yksittäisen vian sattuessa verkkoon ei tule totaalista sähkökatkosta. Laivan sähköverkkoja syötetään lähellä olevilla, polttoainekäyttöisillä generaattoreilla. Isot päägeneraattorit syöttävät laivan verkkoa. Laivassa täytyy myös olla hätägeneraattori sekä vielä varalla oleva UPS-järjestelmä kaikkein kriittisimpiä sähkökäyttöjä varten. Generaattorit tuottavat pienemmät oikosulkutehot kuin maan jakeluverkko. Tämä täytyy huomioida oikosulkuvirtojen laskennassa, sekä suojalaitteiden mitoituksessa.

3.1 Mitä tuloksia verkostolaskennalla haetaan

Verkostolaskennalla haetaan suojalaitteiden standardin mukaista ja oikea-aikaista toimivuutta eli selektiivisyyttä. Laskennalla selvitetään, että jokainen sulake, katkaisija tai muu suojalaite toimii moitteettomasti. Verkon oikosulkuvirtojen tulee olla tarpeeksi suuret, jotta suojalaitteet toimivat vikatilanteessa. Verkon maksimioikosulkuvirran perusteella verkon komponentit (keskukset, kytkinlaitteet, kaapelit, katkaisijat) mitoitetaan oikosulkukestoisuuksiltaan oikeanlaisiksi.

Verkostolaskennan tuloksien pohjalta lähdetään tarpeen tullen päivittämään kohteen laitteita. Suojalaitteita saatetaan joutua mitoittamaan uudelleen, sekä katkaisijoiden releen asettelua saatetaan hienosäätää. Kaapeleiden mitoittamiseen joudutaan harvemmin puuttumaan, mutta joskus kaapeleidenkin vaihtoon joudutaan turvautumaan.

4 OIKOSULKUVIRRRAN LASKENTA

Oikosulkuvirta on olennainen osa verkostolaskentaa. Oikosulkuvirtaan vaikuttaa käyttöjännite, nimellisvirta, kaapelin pituus, kaapelin poikkipinta-ala sekä kaapelin tyyppi. Oikosulkuvirran suuruus on usein monikymmenkertainen nimelliseen kuormitusvirtaan nähden. Kolmivaihejärjestelmässä suurimman oikosulun aiheuttaa kolmivaiheinen vastukseton oikosulku. Pienin oikosulkuvirta taas ilmenee yleensä yksivaiheisessa oikosulussa vaiheen ja maan välillä.

Oikosulkulaskennan peruskaava:

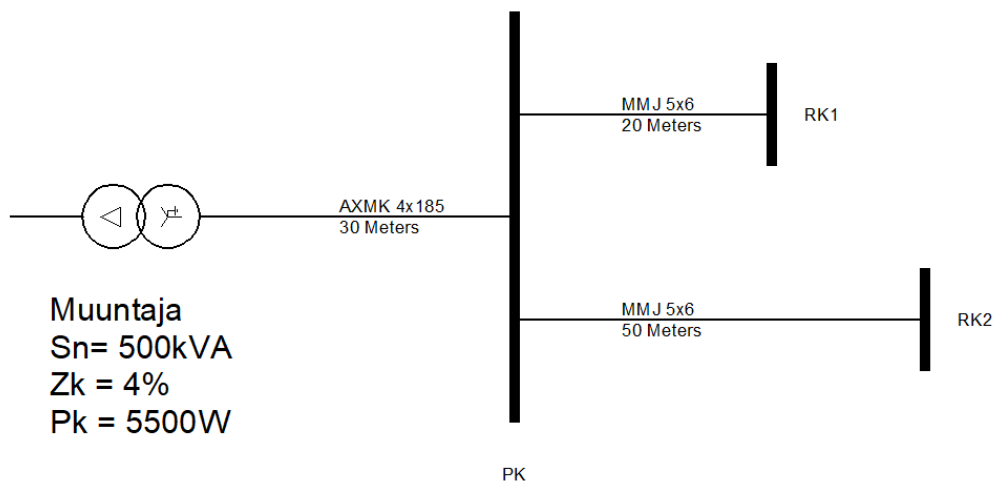
$$I_k = \frac{U}{Z_k}$$

3-vaiheinen oikosulku:

$$I_k = \frac{U}{\sqrt{3} * Z_k}$$

4.1 Esimerkkiverkon laskenta

Lasketaan oikosulkuvirrat esimerkkiverkosta. Lasketaan oikosulkuvirrat pääkeskuskelle sekä molemmille ryhmäkeskuksille. Esimerkkiverkosta on ilmoitettu muuntajan tiedot sekä kaapelityypit ja pituudet. Annettujen tietojen lisäksi täytyy vielä selvittää kaapeleiden resistanssit ja reaktanssit, jotka löytyvät esimerkiksi kaapelivalmistajan dokumenteista.



Oikosulkulaskenta lähdetään laskemaan verkon alkupäästä, joka tässä esimerkkitapauksessa on muuntaja. Muuntajan tyyppikilvestä saadaan muuntajan teho S_n , muuntajan oikosulkujännite U_k tai Z_k , sekä kuormitushäviö P_k . Muuntajan tietojen perusteella voidaan aloittaa impedanssin laskennalla.

$$Z_t = \frac{U_n^2}{S_n} * Z_k$$

$$Z_t = \frac{(400\text{V})^2}{500\text{kVA}} * \frac{4}{100} = 0,0128\Omega$$

Muuntajan nimellisvirta saadaan myös laskettua muuntajan tietojen perusteella.

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U}$$

$$I_n = \frac{500\text{kVA}}{\sqrt{3} * 400\text{V}} = 722\text{A}$$

Kun muuntajan nimellisvirta on saatu laskettua, voidaan laskea muuntajan resistanssi R_t .

$$R_t = \frac{Pk}{3 * I_n^2}$$

$$R_t = \frac{5500W}{3 * (722A)^2} = 0,003517\Omega$$

Muuntajan reaktanssi X_t saadaan laskettua Pythagoraan lauseen avulla.

$$X_t = \sqrt{Z_t^2 - R_t^2}$$

$$X_t = \sqrt{(0,0128\Omega)^2 - (0,003517\Omega)^2} = 0,012307\Omega$$

Kaapelin resistanssi ja reaktanssi löytyvät kaapelivalmistajien taulukoista.

$$R_c 20^\circ\text{C} = 0,03\text{km} * 0,164\Omega/\text{km}$$

$$R_c 90^\circ\text{C} = 0,03\text{km} * 0,210\Omega/\text{km}$$

$$X_c 20^\circ\text{C} = 0,03\text{km} * 0,08\Omega/\text{km}$$

$$X_c 90^\circ\text{C} = 0,03\text{km} * 0,08\Omega/\text{km}$$

Kaapelin resistansseissa käytetään kahta eri arvoa. Maksimioikosulkuvirtaa laskettaessa käytetään pienempää arvoa ja minimioikosulkuvirtaa laskettaessa käytetään suurempaa arvoa. Resistanssi nousee suoraan verrannollisesti lämpötilan kanssa ja virta taas kääntäen verrannollisesti resistanssin kanssa. Maksimioikosulkuvirta lasketaan pienemmällä lämpötilalla, jolloin resistanssi on pienempi ja saadaan vastaukseksi suurempi virran arvo. Minimioikosulkuvirtaa laskettaessa valitaan korkeampi lämpötila jolloin resistanssi on myös korkeampi. Vastaukseksi saadaan pienempi oikosulkuvirran arvo.

Kolmivaiheinen oikosulku pääkeskuksella (maksimioikosulkuvirta 20 °C). Maksimioikosulkuvirtaa laskettaessa käytetään kerrointa $c = 1,05$.

$$Ik3 Max = \frac{c * U}{\sqrt{3} * (\sqrt{(Rt + Rc)^2 + (Xt + Xc)^2})}$$

$$Ik3 Max = \frac{1,05 * 400V}{\sqrt{3} * (\sqrt{(0,003517\Omega + 0,00492\Omega)^2 + (0,012307\Omega + 0,0024\Omega)^2})}$$

$$= 14,3kA$$

Yksivaiheinen oikosulku pääkeskuksella (minimioikosulkuvirta 90 °C). Minimioikosulkuvirtaa laskettaessa käytetään kertoimena c , arvoa 0,95.

$$Ik1l Min = \frac{c * U}{\sqrt{3} * (\sqrt{(Rt + Rl + Rpen)^2 + (Xt + Xl + Xpen)^2})}$$

$Ik 1L Min$

$$= \frac{0,95 * 400V}{\sqrt{3} * (\sqrt{(0,003517\Omega + 0,0063\Omega + 0,0063\Omega)^2 + (0,012307\Omega + 0,0024\Omega + 0,0024\Omega)^2})}$$

$$= 9,335 kA$$

Kaapelin resistanssit sekä induktanssit eri lämpötiloissa. (MMJ5x6s)

Resistanssi 3,08 Ω/km 20 °C

Reaktanssi 0,08 Ω / km 20 °C

Resistanssi 3,08 Ω/km 70 °C

Reaktanssi 0,08 Ω / km 70 °C

Laskennassa käytetään 70 °C lämpötilaa vastaavaa resistanssia koska MMJ:n kuorimitettavuuden maksimilämpötila on 70 °C.

Ryhmäkeskus RK1 oikosulkuvirrat

Kolmivaiheinen oikosulku RK1 (maksimioikosulkuvirta 20 °C).

$$Ik\ 3l\ Max = \frac{c * U}{\sqrt{3} * (\sqrt{(Rt + Rc + Rmmj)^2 + (Xt + Xc + Xmmj)^2})}$$

Ik 3l Max

$$= \frac{1,05 * 400V}{\sqrt{3} * (\sqrt{(0,003517\Omega + 0,00492\Omega + 0,0616\Omega)^2 + (0,012307\Omega + 0,0024\Omega + 0,0016\Omega)^2})}$$

$$= 3,409\ kA$$

Yksivaiheinen oikosulkuvirta RK1 (minimioikosulkuvirta 90 °C).

$$Ik\ 1L\ Min = \frac{c * U}{\sqrt{3} * (\sqrt{(Rt + Rc + Rl + Rpen)^2 + (Xt + Xc + Xl + Xpen)^2})}$$

$$= 1,384\ kA$$

RK2 oikosulkuvirrat

Kolmivaiheinen oikosulku RK2 (maksimioikosulkuvirta 20 °C).

$$Ik\ 3L\ Max = \frac{c * U}{\sqrt{3} * (\sqrt{(Rt + Rc + Rmmj)^2 + (Xt + Xc + Xmmj)^2})} = 1,491\ kA$$

Yksivaiheinen oikosulku RK2 (minimioikosulkuvirta 90 °C)

$$I_{k1LMin} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * (\sqrt{(R_t + R_c + R_l + R_{pen})^2 + (X_t + X_c + X_l + X_{pen})^2})}$$
$$= 0,578kA$$

4.2 Oikosulkuvirtojen laskenta tehojen avulla

Kuten huomaamme, oikosulkuvirtojen laskenta käsin on aika työlästä. Laajan jakeluverkon oikosulkuvirtojen laskenta käsin olisi valtavan työläs projekti. Onneksi oikosulkulaskentaan on kehitetty laskentaohjelmia.

Joskus käsin laskentaa voi kuitenkin tarvita esimerkiksi työmaalla, kun tarvitsee arvioida oikosulkuvirtojen suuruuksia. Voimme laskea samasta esimerkkiverkosta karkeat oikosulkuvirrat vaihtoehtoisella tavalla. Lasketaan oikosulkuvirrat verkon tehojen avulla. Oikosulkuvirtojen laskeminen oikosulkutehojen avulla on helpompi tapa, mutta antaa epätarkemmat arvot.

Aloitetaan laskemalla muuntajan oikosulkuteho:

$$S_t = \frac{S_n}{Z_k}$$

$$S_t = \frac{500kVA}{0,04} = 12,5MVA$$

Muuntajan oikosulkuvirta saadaan laskettua oikosulkutehon avulla:

$$I_{kt} = \frac{S_t}{\sqrt{3} * U}$$

$$I_{kt} = \frac{12,5MVA}{\sqrt{3} * 400V} = 18,0 kA$$

Kaapelin oikosulkuteho:

Ensin tarvitsee laskea kaapelin impedanssi. Resistanssi ja reaktanssi löytyvät taulukoista ja niiden avulla saadaan laskettua impedanssi Pythagoraan lauseella:

$$Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2} = 0,183\Omega/\text{km}$$

$$Z_c = 0,183 \Omega/\text{km} * 0,03\text{km} = 0,0055\Omega$$

Oikosulkuteho:

$$S_c = \frac{U^2}{Z_c}$$

$$S_c = \frac{(400V)^2}{0,0055\Omega} = 29,1 \text{ MVA}$$

Seuraavaksi lasketaan pääkeskuksen oikosulkuteho kaavalla:

$$S_{pk} = \left(\frac{1}{S_t} + \frac{1}{S_c} \right)^{-1}$$

$$S_{pk} = \left(\frac{1}{12,5\text{MVA}} + \frac{1}{29,1\text{MVA}} \right)^{-1} = 8,75 \text{ MVA}$$

Pääkeskuksen oikosulkuvirta saadaan oikosulkutehosta.

$$I_{kpk} = \frac{S_{pk}}{\sqrt{3} * U}$$

$$I_{kpk} = \frac{8,75\text{MVA}}{\sqrt{3} * 400V} = 12,6 \text{ kA}$$

Seuraavaksi ryhmäkeskukset samaa kaavaa käyttäen
mmj20m oikosulkuteho:

Impedanssi saadaan taas resistanssista ja reaktanssista

$$Z_{mmj20} = \sqrt{R_{mmj}^2 + X_{mmj}^2} = 3,081\Omega/\text{km}$$

$$S_{mmj20} = \frac{U^2}{Z_{mmj20}}$$

$$S_{mmj20} = \frac{(400V)^2}{0,0616\Omega} = 2,6MVA$$

RK1 oikosulkuteho

$$S_{rk1} = \left(\frac{1}{S_t} + \frac{1}{S_c} + \frac{1}{S_{mmj20}} \right)^{-1}$$
$$S_{rk1} = \left(\frac{1}{12,5MVA} + \frac{1}{29,1MVA} + \frac{1}{2,6MVA} \right)^{-1} = 2 MVA$$

RK1 oikosulkuvirta:

$$I_{krk1} = \frac{S_{rk1}}{\sqrt{3} * U}$$

$$I_{krk1} = \frac{2MVA}{\sqrt{3} * 400V} = 2,9 kA$$

RK2 oikosulkuvirta samalla tavalla:

$$S_{mmj50} = \frac{U^2}{Z_{mmj50}} = 1,04 MVA$$

$$S_{rk2} = \left(\frac{1}{S_t} + \frac{1}{S_c} + \frac{1}{S_{mmj50}} \right)^{-1} = 0,93 MVA$$

$$I_{krk2} = \frac{S_{rk2}}{\sqrt{3} * U} = 1,34 kA$$

4.3 Oikosulkulaskennan yhteenveto

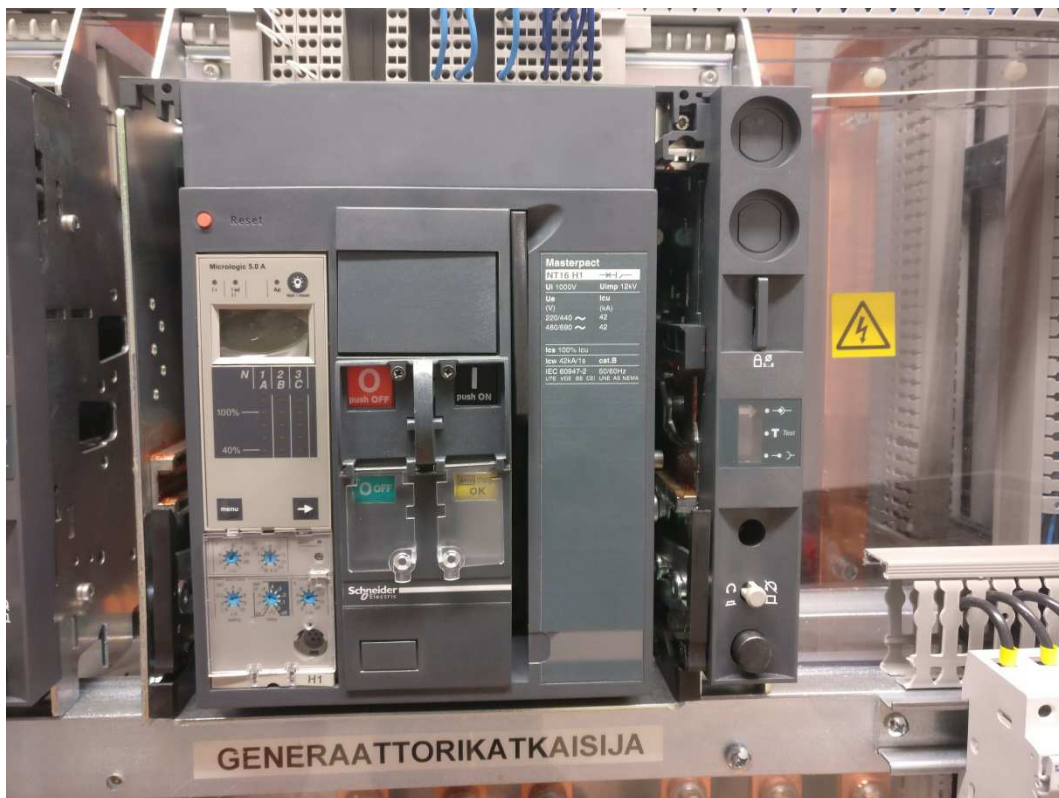
Kun oikosulkulaskenta on tehty kahdella vaihtoehtoisella tavalla, huomaamme, että laskentatavat eroavat toisistaan. Tarkemmalla, virtojen avulla laskemalla saamme suhteellisen tarkat arvot kun taas tehojen avulla laskemalla arvot ovat hieman epätar-
kemmat.

Pääkeskukselle oikosulkuvirta ensimmäisen esimerkin mukaan oli maksimissaan 14,3 kA ja minimissään 9,3 kA. Toisen esimerkin avulla saatiin oikosulkuvirraksi 12,6 kA. Oikosulkuvirta laskettuna tehojen avulla menee tarkan laskennan arvojen sisälle joten voidaan todeta, että nopeasti laskettuna saadaan arvio oikosulkuvirran kokoluokasta.

5 SUOJALAITTEET

Suojalaitteiden tehtävänä jakeluverkossa on suojata verkon kaapeleita ja kojeistoa vikatilanteessa. Suojalaitteiden tarkoitus on suojata virtapiirejä ylivirralla sekä oikosulkuvirralla. Suojalaitteita on moneen eri tarkoitukseen, eri jännitetasoille ja eri virran kestoisuuksille. Erilaisia suojalaitteita on esimerkiksi katkaisija, sulake, ja johdonsuoja-automaatti.

5.1 Katkaisija



Kuva 5.1 Katkaisija

Katkaisijan tehtävä on katkaista virtapiiri oikosulun tapahtuessa. Katkaisijat pystyvät katkomaan tarvittaessa suuriakin oikosulkuvirtoja. Valmistaja ilmoittaa katkaisijoille maksimikatkaisukyvyyn, maksimikytöntäkyvyyn sekä katkaisijan rungon oikosulku-kestoisuuden.

Katkaisijat voidaan jakaa kolmeen luokkaan katkaisuvälin mukaan: Ilmakatkaisu, tyhjiökatkaisu ja kaasukatkaisu. Tällä tarkoitetaan, että katkaisijan pääkoskettimet ovat joko ilmassa, tyhjiössä tai kaasussa. Myös ulkonäöltään katkaisijat jaetaan kahteen eri tyyppiin: Kompakti tai ilmakatkaisija. Pienjännitekatkaisijoiden pääkoskettimet ovat ilmavälilliset.

Katkaisijaan liitetään rele, jolla määritetään virta, jolla katkaisija toimii. Releen toimintavirtaa voidaan säätää karkealla ja hienosäädöllä releen potentiometreistä. Releessä on myös katkaisuviive, jota voidaan niin ikään säätää karkeasti sekä hienosti.

Kompaktikatkaisija on rakenteeltaan valettu ja eristeinen kotelo. Kompaktikatkaisijassa pääkoskettimia käytetään mekaanisesti käyttökytkimen avulla. Katkaisimia käytetään suojaamaan virtapiiriä ylivirralla sekä oikosulkuvirralla. Myös moottoripiirejä voidaan suojata katkaisijoilla. Katkaisijoita on käyttövirraltaan muutamasta ampeerista useisiin tuhansiin ampeereihin. Kompaktikatkaisijassa on myös propulsiolaukaisu-toiminto. Propulsiolaukaisu katkaisee suuren oikosulkuvirran välittömästi. Propulsiolaukaisu toimii myös ilman relettä.

Ilmakatkaisija on katkaisija, jonka pääkoskettimet ovat vapaassa tilassa. Katkaisijan runko on yleensä metallista ja koskettimien kiinni auki toiminto suoritetaan jousivoimalla. Laukaisujouset viritetään joko käsin tai moottorin avustuksella. Ilmakatkaisija avataan ja suljetaan painonapista.

5.2 Sulake

Sulake on perinteinen ylikuormitussuoja, jota on käytetty yleisimpänä suojalaitteena kotitalouksissa sekä teollisuudessa. Sulakkeella on erittäin hyvä oikosulkuvirran rajoituskyky pienillä nimellisvirroilla. Sulakesuojaus on aiemmin ollut yleisesti käytössä omakotitaloissa ja teollisuudessa. Nykyaikana johdonsuoja-automaatit ovat yleistyneet ja syrjäyttäneen sulakkeet omakotitaloissa ja osittain teollisuudessa. Suurivirtaisia lähtöjä suojataan vielä sulakkeilla. Sulakkeita käytetään sekä ylikuormitus-

suojana, että oikosulkusuojana. Yleisimmät sulaketyypit ovat tulppasulake ja kahvasulake.

Tulppasulake on varsin yleisesti käytössä ryhmäjohtojen ylivirtasuojana. Tulppasulakkeen katkaisukyky on oltava vaihtosähköllä vähintään 50 kA. Sulakkeet asennetaan varokepesiin ja tämä rajoittaa sulakkeiden suurinta sallittua sulakekoko.

Kahvasulakkeella on hyvät katkaisuoimaisuuden ja oikosulkuvirran rajoituskyky. Kahvasulakkeita käytetäänkin tästä syystä isoimmilla kuormitusvirroilla ja silloin kun oikosulkuvirrat kasvavat suuriksi. Kahvavaroike muodostuu varokealustasta sekä kahvasulakkeesta. Kahvasulake asennetaan ja poistetaan erillisellä vaihtokahvalla. Vaihtokahva on malliltaan jännitesuojattu hanska.

Johdonsuojakatkaisijaa käytetään osittain perinteisen sulakkeen korvaajana. Johdonsuojakatkaisijaa käytetäänkin paljon ryhmäjohtojen suojaamisessa sulakkeen sijasta. Johdonsuojakatkaisijan helppokäyttöisyys sekä pienempi koko ovat syitä, miksi niiden käyttö on yleistynyt. Johdonsuojakatkaisijan laukaisee pienellä ylivirralla bimetalililiuska ja suurella oikosulkuvirralla se laukeaa sähkömagneettisesti.

5.3 Suojalaitteiden yhteensopivuus

Useamman suojalaitteen käyttöä samassa piirissä tai saman keskuksen alla, tulee ottaa huomioon suojalaitteiden selektiivisyys. Jos ryhmäjohtossa tapahtuu oikosulku, syötön puoleisten keskusten ylivirtasuojat eivät saa laukea ennen ryhmäjohtoa suojaavaa suojalaitetta. Laitevalmistajat ilmoittavat omille laitteilleen selektiivisyystaulukot, joista selviää, mitkä kyseisen laitevalmistajan laitteet ovat milläkin virtatasolla selektiivisiä keskenään. Tämä toteutuu vain, jos kaikki piirissä olevat suojalaitteet ovat samalta laitevalmistajalta.

Sulakkeissa voidaan käyttää nyrkkisääntöä, että kahden sulakkeen välinen selektiivisyys toteutuu, kun sulakkeiden nimellisvirran kokoero on vähintään kaksi sulakekoko. Esimerkiksi kun 25 A pääsulakkeen takana olevan lähdön sulakkeena on 16 A sulake, jolloin väliin jää 20 A sulake. Tässä tapauksessa kun vikatilanne sattuu lähdön takana, 16 A sulake laukeaa varmasti ennen 25 A sulaketta ja suojaus on täysin selektiivinen.

Kahden eri laitevalmistajan laitteiden selektiivisyyttä ei ole testattu, joten taulukoita ei ole laadittu. Kun eri laitevalmistajien laitteita käytetään samassa piirissä, tulee laitteiden kesken tehdä selektiivisyystarkastelu, jotta laitteet voidaan todeta täysin selektiivisiksi keskenään.

6 LÄÄKINTÄTILOJEN STANDARDIT

Terveysasemalla tai klinikalla tehtävien toimenpiteiden turvallinen tekeminen vaatii usein sähkönsyötön katkeamatonta toimintaa. Jos terveysasemalla tai klinikalla tehdään mitään toimenpiteitä, jossa sähkönsyötön katkeaminen vikatilanteessa aiheuttaa potilaalle vaaraa, tulee kyseisten toimenpidetilojen sähkönsyöttö turvata varavoimalla tai akkukäyttöisellä syöttöjärjestelmällä.

Lääkintätilojen jakelujärjestelmä suositellaan toteuttamaan siten, että tärkeimmät kuormitukset saadaan helposti siirrettyä automaattisesti pääverkosta varavoimajärjestelmään. Varavoiman tulee olla erillinen tehonlähde esimerkiksi generaattori. Yleisellä sähkönjakelulla ja varavoimalla tulee olla omat keskuksensa. Jos normaaliverkko vioittuu, varavoimajärjestelmän on tultava jännitteiseksi standardissa (SFS-6000) määritellyn kytkeytymisajan sisällä ja syötettävä sähköenergiaa tietyn ajan jakson.

Kun syötössä tapahtuu vikatilanne, tulee syötön täydellinen katkeaminen ehkäistä. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi käyttämällä kahta toisistaan riippumatonta syöttöä kuten normaalin verkon syöttöä ja varavoimaa. Jos sähkökäyttöisiä lääkintälaitteita on käytössä rakennuksessa useassa paikassa, suositellaan välttämään tarpeettomia sähkökatkoja. Esimerkiksi huollon yhteydessä tulevia sähkökatkoksia tulee välttää. Keskuksia tulee varustaa merkkikilvin, jotka kehottavat välttämään sähkökatkoja lääkintälaitteiden käytön takia.

Varavoimaverkko ja muu turvajärjestelmiin liittyvä kaapelointi sekä keskuksia tulee asentaa riittävän erilleen toisistaan sekä eri palotiloihin muusta normaalista verkosta, samanaikaisen vaurioitumisen ehkäisemiseksi.

Lääkintämuuntajan syöttöpiirissä ei saa käyttää ylikuormitussuojaa, ei ennen eikä jälkeen lääkintämuuntajan. Ylivirtasuojia eli sulakkeita kuitenkin saa käyttää muuntajan syötössä. Lääkintämuuntajat tulee sijoittaa lääkintätilojen läheisyyteen. Muuntajan ulostuloliittimen ja kulutuskojeen välinen etäisyys saa korkeintaan olla 25 m.

6.1 Lääkintätilojen turvajärjestelmät

Lääkintätiloissa tarvitaan varavoimajärjestelmä turvamaan lääkintätilojen katkeamaton toiminta sähkökatkon takia. Normaalisti sairaaloissa varavoiman keskeytysaika saa olla korkeintaan 0,5 s. Sairaalan toiminnallisuus pitkien katkojen aikana voi vaatia lisävaravoimaa, jonka kytkeytymisaika saa olla pidempi. Varavoiman tulee kytkeytyä automaattisesti päälle, jos jännite pääkeskuksessa putoaa alle 90 % normaali-jännitteestä.

Jos lääkintätiloissa tehdään vain sellaisia toimenpiteitä, jossa sähkökatkos ei aiheuta potilaalle vaaraa, lääkintätilan vastuullinen johto tekee päätöksen varavoiman tarpeellisuudesta. Jos kyseisissä pienemmissä lääkintätiloissa on tarvetta välttämättömiin lääkintälaitteiden syötöille, voidaan kyseiset erikoistapaukset toteuttaa laitekohtaisilla akuilla tai UPS – järjestelmällä. Sairaalan johdon pitäisi olla mukana päättämässä, mihin sairaalan lääkintätiloista tarvitaan varavoimaa tai muuta turvalaitteistoa.

6.2 Varavoiman erikoisvaatimukset

Enintään 0,5 s kytkeytymisajan varavoimalaitteen tulee pystyä syöttämään yhtä tai useampaa jakokeskusta vähintään kolmen tunnin ajan ja leikkausvalaisimia sekä lääkintälaitteita, jotka ovat käytön kannalta välttämättömiä toimenpiteiden suorittamiseen sekä kriittisiä elämää ylläpitäviä laitteita. Vikatilanteen sattuessa poistumisvalaistus ja varavalaistus tulee säilyä välttämättömiin tukitoimintoihin käytetyissä tiloissa ja varavoimajärjestelmän generaattori- ja keskustiloissa. Myös palohälytys- ja ilmoituslaitteiden tulee pysyä toiminnassa vikatilanteissa.

7 LÄHTÖTIETOJA KOHTEESTA

Laskentaa varten sairaalasta kerättiin lähtötietoja. Laskentaan tarvittavia tietoja olivat keskusten etäisyydet, kaapelityypit, kaapelien pituudet, lääkintämuuntajien sijainti ja tyypit sekä jakelumuuntajan sähköiset arvot.

Muuntajan oikosulkuvirrat saatiin sähköpostitse verkkoyhtiöltä. Muuntajan tyyppikilvessä lisää tietoja.



Kuva 7.1 Muuntajan tyyppikilpi

Muuntajan liittymäpisteen oikosulkuvirraksi ilmoitettiin 4810 A. Erittäin harvinaisessa poikkeustilanteessa sairaalaa saatetaan syöttää varasyöttösuunnasta, ilmalinjankautta, jolloin kolmivaiheiseksi oikosulkuvirraksi ilmoitetaan 1760 A.

Keskusten välisten kaapelipituuksien mittaus toteutettiin paikanpäällä mitaten. Apuna tiedonkeruussa toimi sairaalan henkilökunta. Heillä on usean vuoden kokemus

sairaalan verkosta ja täten tietoa kaapelireiteistä. Apuna käytettiin myös aksonometristä pohjakuvaa sairaalaverkosta.

Kohteesta otettiin myös paljon valokuvia. Valokuvia otettiin jokaisesta keskuksesta, nousujohtokaavioista, kaapeleista sekä muista laskentaan liittyvistä tärkeistä yksityiskohdista. Nousujohtokaaviosta selvisi mallinnettavan verkon rakenne.

7.1 Jakelunverkon rakenne

Sairaalan syöttö tulee lähellä sijaitsevalta muuntajalta. Muuntaja on tyypiltään Areva TNOSN 1000/20, 1 MVA, öljyeristeinen, hermeettisesti suljettu muuntaja. Sairaalaa syötetään normaalitilanteessa muuntajalta MK/PK:lle. Sähkönjakelua on lähimenneisyudessa laajennettu niin, että uusi isompi pääkeskus on asennettu ja vanha pääkeskus on jätetty nousukeskukseksi. Osa sairaalan sähköverkosta on varavoimakeskuksen perässä, jota voidaan valtakunnanverkon sähkökatkoksen sattuessa tai muussa vikatilanteessa syöttää generaattorin avulla.

Muuntaja syöttää MK/PK:ta kuudella AXMK 4x240 alumiinikaapelilla. Standardissa määritetään, että yli kahden kaapelin rinnankytkentä tulee suojata kaapelin molemmista päistä sulakkeilla. Syöttö on suojattu kaapelin molemmista päistä 315 A sulakkeilla. Suojaus toteutetaan näin, että vikatilanteessa saadaan tarpeeksi suuret oikosulkuvirrat laukaisemaan suojalaitteet.

7.2 Jakeluverkon suojaus

Sairaalan sähköverkko on suojattu pääasiassa sulakkeiden avulla. Sairaala on suhteellisen vanha, joten suurin osa suojauksesta on tulppasulakkeita ja kahvasulakkeita. Sairaalan uudisrakennetuissa osissa on käytössä myös johdonsuojakatkaisijoita eli automaattisulakkeita. Kriittisimmät lääkintätilat on suojattu lääkintäsuojaerotusmuuntajilla. Lääkintäsuojaerotusmuuntajia käytetään leikkaussaleissa erottamaan leikkauksissa käytetyt suojalaitteet verkosta ja täten eliminoidaan mahdolliset sähköiskut potilaille tai henkilökunnalle.

8 SAIRAALAVERKON TUTKINTA

Sairaalaverkon tutkinta aloitettiin mallintamalla sairaalan sähköverkko Paladin DesignBase-ohjelmalla (Liite 1, Liite 2,). Sairaalan jakeluverkosta mallinnettiin normaalitilanteessa toimiva verkko eli varmentamaton verkko sekä sähkökatkon aikana toimiva, generaattorisyyttöinen, varmennettu verkko. Mallinnetuista verkoista laskettiin oikosulkuvirrat keskuksille. Myös muuntajalle sekä generaattorille laskettiin oikosulkuvirrat. Oikosulkuvirtalaskelmien tulosten perusteella voidaan tutkia, onko verkon suojalaitteet mitoitettu oikein ja ovatko keskuksat kestoisuuksiltaan mitoitettu oikein sekä toimivatko suojalaitteet selektiivisesti keskenään ja riittääkö verkon oikosulkuvirta suojalaitteiden toimintaan.

Sairaalaverkon mallintaminen aloitettiin liittymäpisteen muuntajalta. Muuntajalta edettiin rakennuksen pääkeskukselle josta edelleen nousu- ja ryhmäkeskuksille. Varavoimaverkko mallinnettiin pääjakelun jälkeen. Verkkomalliin täytettiin sen jälkeen kaapelimitat ja kaapelityypit sekä sulaketyypit ja sulakekoot. Verkkomallista laskettiin oikosulkuvirrat, jotka kirjattiin taulukoihin. Selektiivisyydestä tehtiin sulakkeiden välillä tutkielmia, joista voidaan todeta, ovatko suojalaitteet selektiiviset keskenään.

8.1 Oikosulkukestoisuus

Oikosulkutilanne kuormittaa keskuksia niin dynaamisesti kuin termisesti. Sairaalaverkosta laskettiin keskuksille oikosulkuvirrat (Liite 3, Liite 4, Liite 5, Liite 6). Muutamien keskuksien oikosulkukestoisuuksia tutkittiin tarkemmin. Keskusten tyyppikilvistä poimittiin oikosulkukestoisuudet ja niitä verrattiin laskettuihin oikosulkuarvoihin. Oikosulkuvirran huippuarvoa I_p verrattiin keskuksen kestoisuusarvoon I_{pk} . Oikosulkuvirran termistä arvoa $3P-1,0s$ lth verrattiin keskusten termiseen oikosulkukestoisuuteen I_{cw} . Neljän keskuksen oikosulkukestoisuuksia tutkittiin tarkemmin.

Keskus	I _{cw} (kA)	I _{pk} (kA)	I _n (A)	I _p (kA)	3P-1,0s I _{th} (kA)
MKPK	50	105	2000	32,3	18,1
NK-01	< 10	<17	250	16,9	10,4
RT-1.215	3	10	125	2	1,4
RT-1.219	3	10	125	10,5	7,2

Kuva 8.2 Keskusten oikosulkukestoisuus

Taulukosta nähdään, että MKPK ja RT-1.215 ovat kestoisuuksiltaan mitoitettu oikein. NK-01 sekä RT-1.219 oikosulkuvirrat ylittävät keskusten oikosulkukestoisuudet.

Tapauksissa jossa arvot ylittyvät, voidaan arvoja hieman parantaa ja tarkentaa laskeamalla. Dynaamisen oikosulkuvirran ylittyessä käytetään laskentataulukkoa (Liite 9). Sulakkeet vaimentavat dynaamista oikosulkuvirtaa tehokkaasti. Taulukon avulla voidaan tarkistaa sulakesuojatun kohteen todellinen dynaamisen oikosulkuvirran taso. Usein tämän tarkastelun tuloksena voidaan todeta, että sulakkeen vaimentava vaikutus on niin suuri, että nimelliskestoisuus ei ylity.

Taulukkoon syötetään keskuksen I_p sekä I_k arvot ja taulukko laskee eri sulakekoolle oikosulkuvirrat. RT-1.219 keskusta syötetään 80 A sulakkeella, joten taulukosta voidaan katsoa, että 80 A sulake vaimentaa oikosulkuvirtaa 42 % ja uudeksi arvoksi saadaan 6,1 kA. Uusi I_p arvo on pienempi kuin keskuksen oikosulkukestoisuus, joten voidaan todeta, että keskus on mitoitettu oikein.

Terminen oikosulku ylittyy kahdessa keskuksessa. Termisen oikosulun korjauslaskentaan on olemassa kaava. Tietokoneohjelma laskee termisen oikosulun 1 sekunnin kestolle. Suojalaitteet kuitenkin toimivat paljon nopeammin joten kojeisto ei ikinä ole sekuntia oikosulussa. SFS-6000 standardissa ilmoitetaan suurimmat sallitut pois-kytkentäajat. 400 V verkossa suurin sallittu pois-kytkentäaika vaihtojännitteellä TN-järjestelmässä on 0,4s alle 32 A lähdöille ja yli 32 A lähdöillä korkeintaan 5s.

Lasketaan kaavalla:

$$I_{th} = \frac{I_{1s}}{\sqrt{t}}$$

Asetetaan aika t arvoon 0,4s. Standardin mukaan suurin sallittu poiskytkentäaika käytetyssä verkossa on 0,4s joten käytetään tätä arvoa. Lasketaan NK-01 oikosulkukestoisuus maksimissaan 0,4s kestävässä oikosulkuvirrassa:

$$I_{th} = \frac{10,4}{\sqrt{0,4}} = 16,4 \text{ kA}$$

Kojeisto kestänee termistä oikosulkuvirtaa 0,4s maksimissaan 16,4 kA, joka on suurempi kuin suurin mahdollinen keskukseseen vaikuttava oikosulkuvirta.

Lasketaan RT-1.219 oikosulkukestoisuus 0,4s oikosulkuvirrassa.

$$I_{th} = \frac{7,2}{\sqrt{0,4}} = 11,4 \text{ kA}$$

Kojeiston kestänee termistä oikosulkuvirtaa 0,4s aikana maksimissaan 11,4 kA, joka on suurempi kuin suurin keskukseseen vaikuttava oikosulkuvirta.

Keskus	I_{cw} (kA)	I_{pk} (kA)	I_n (A)	I_p (kA)	3P-1,0s I_{th} (kA)
MKPK	50	105	2000	32,3	18,1
NK-01	16,4	<17	250	16,9	10,4
RT-1.215	3	10	125	2	1,4
RT-1.219	11,4	10	125	6,1	7,2

Kuva 8.2 Keskusten oikosulkukestoisuus

Taulukosta voidaan havaita muuttuneet arvot. Vihreällä pohjalla on merkitty muuttuneet arvot. Arvot menevät rajojen sisälle, joten voimme todeta, että kaikki tarkastellut keskuksset täyttävät oikosulkukestoisuusvaatimukset ja täten ne on mitoitettu oikein.

8.2 Katkaisijoiden oikosulkukestoisuus

Tutkittavassa sairaalassa on kolme katkaisijaa. Yksi sijaitsee generaattorihuoneen ohjauskeskuksessa. Kaksi muuta sijaitsevat verkonvaihtokeskuksessa. Verkonvaihtokeskuksessa sijaitsevat katkaisijat ovat samanlaiset. Katkaisijoihin on liitetty säädettävä suojarele.

Merkki	Malli	Rele	In (A)	Icu (kA)	Ima (kA)	3P-Ik"	3p-ip
Merlin Gerin	NS400 N	STR23SE	400	50	105	13,1	23,8
Schneider Masterpact	NT16 H1	Micrologic 5.0 A	1600	42	88	12,3	21,7

Kuva 8.3 katkaisijoiden oikosulkukestoisuus

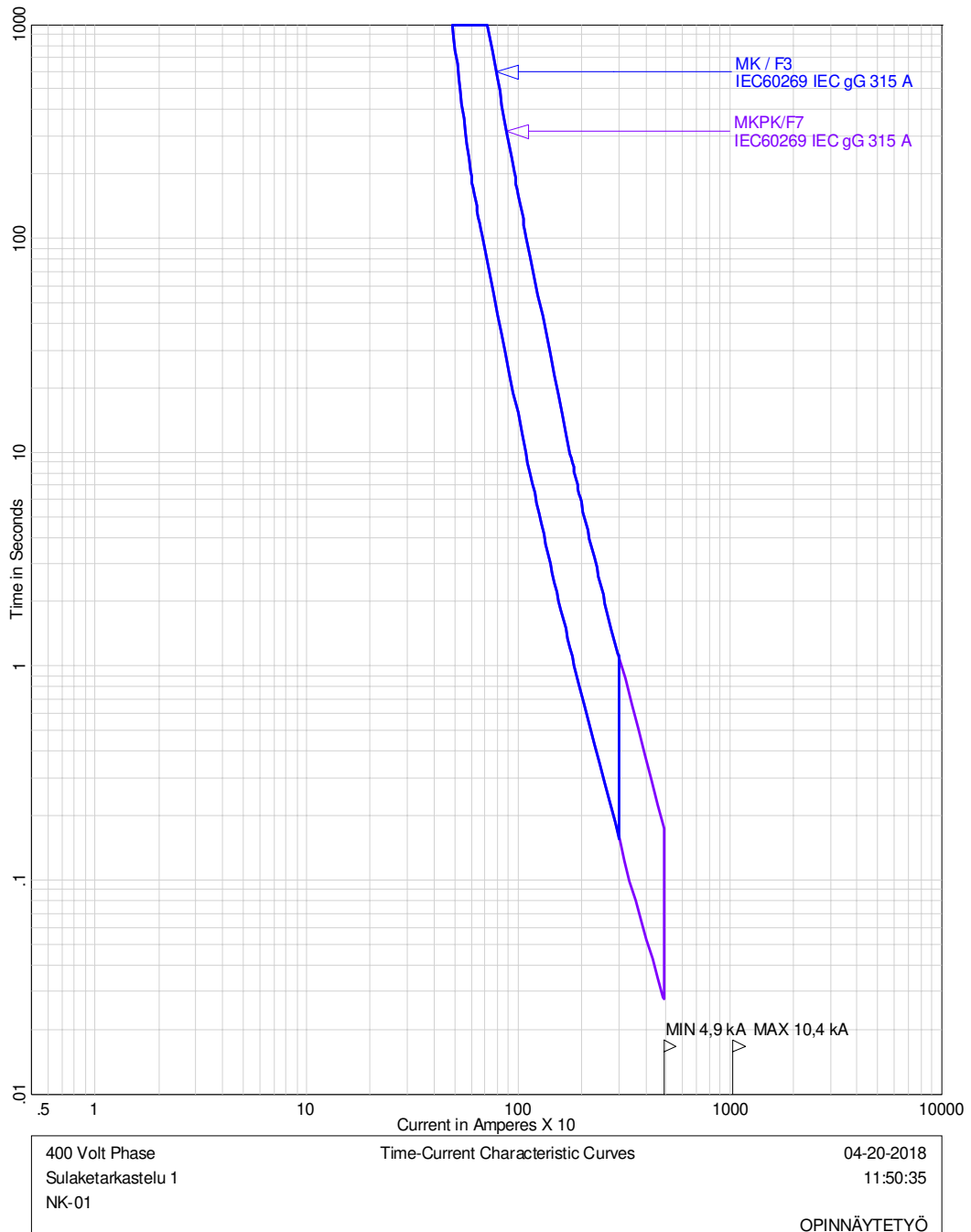
Katkaisijoiden oikosulkukestoisuuksia tutkittaessa katkaisijoiden kestoisuuksista tutkittiin breaking capacity Icu arvoa, eli katkaisijan katkaisukykyä, sekä making capacity Ima arvoa, joka tarkoittaa katkaisijan kykyä kytkeytyä päälle oikosulussa. Katkaisijan breaking capacity Icu arvoa verrattiin keskuksen, kolmivaiheiseen oikosulkuvirtaan, kun taas katkaisijan making capacity Ima arvoa verrattiin keskuksen kolmivaiheiseen huippuoikosulkuvirtaan. Arvojen vertailun jälkeen voidaan todeta, että molempien katkaisijoiden oikosulkukestoisuudet ovat riittävät verkon oikosulkuvirtoihin verrattuna.

8.3 Suojalaitteiden selektiivisyys

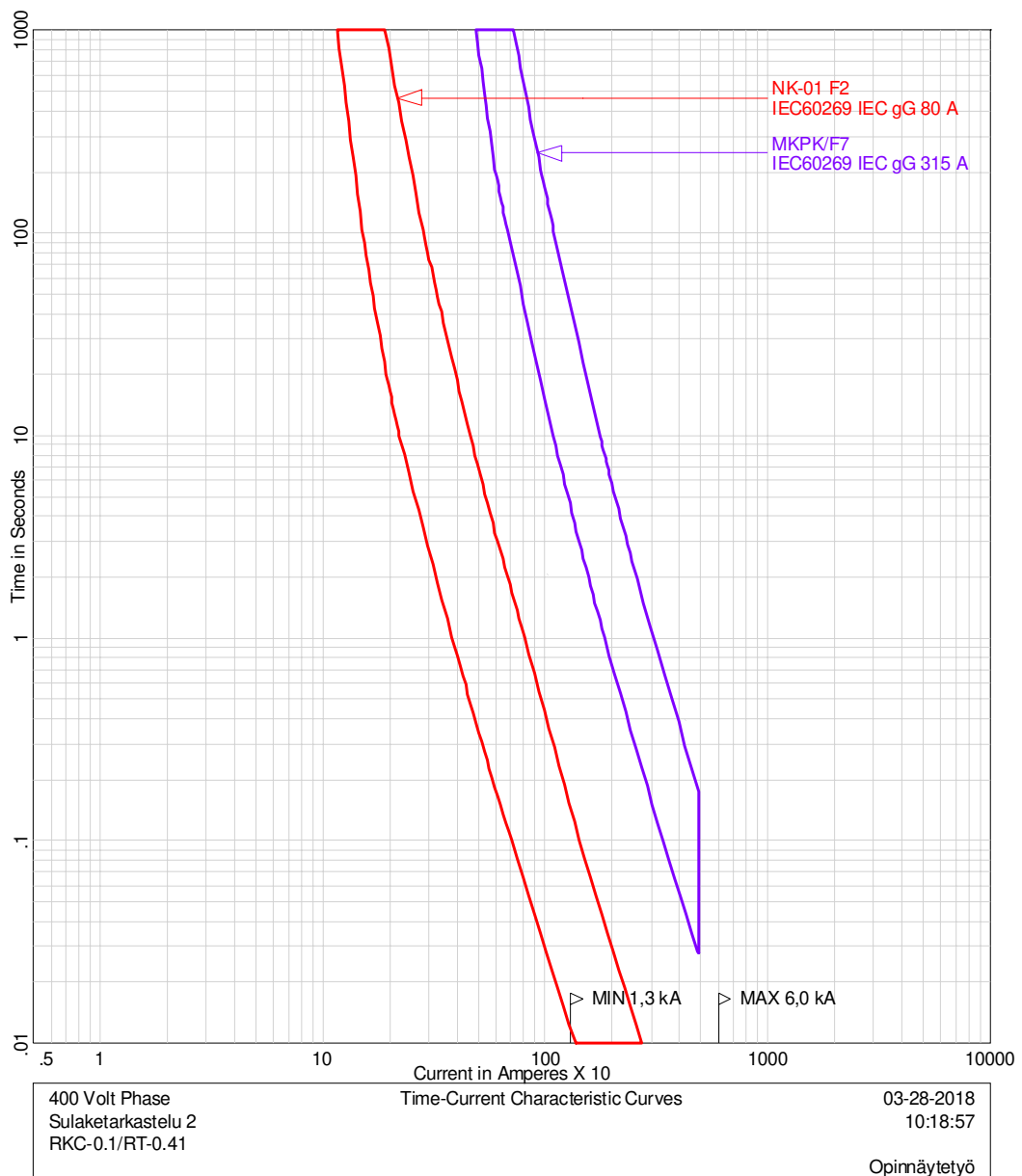
Sairaalaverkon suojaus on pääosin toteutettu sulakkeilla. Generaattorikeskuksessa sekä varavoimakeskuksessa on yhteensä kolme katkaisijaa. Niin sanotulla normaalilla verkkokäytöllä verkkoa suojataan sulakkeilla sekä johdonsuoja-automaateilla. Suojalaitteiden selektiivisyys voidaan todeta kuvaajien perusteella. Selektiivisyyskuvaajassa esitetään aika oikosulkuvirran funktiona. Kuvaaja on logaritminen funktio.

Tutkitaan keskuksessa NK-01 tapahtuvaa oikosulkua. NK-01 keskuksen laskettu oikosulkuvirta on 5,6 kA. Kuvaajassa tutkitaan kahden samankokoisen 315 A sulakkeen keskinäistä selektiivisyyttä. NK-01 keskusta syöttää 315 A sulake MKPK/F3. Kyseistä sulaketta verrataan yhteen kuudesta 315 A sulakkeesta, joka suojaa MKPK keskusta. MKPK:n syöttö tulee muuntajalta kuudella rinnakkaisella kaapelilla. Kun

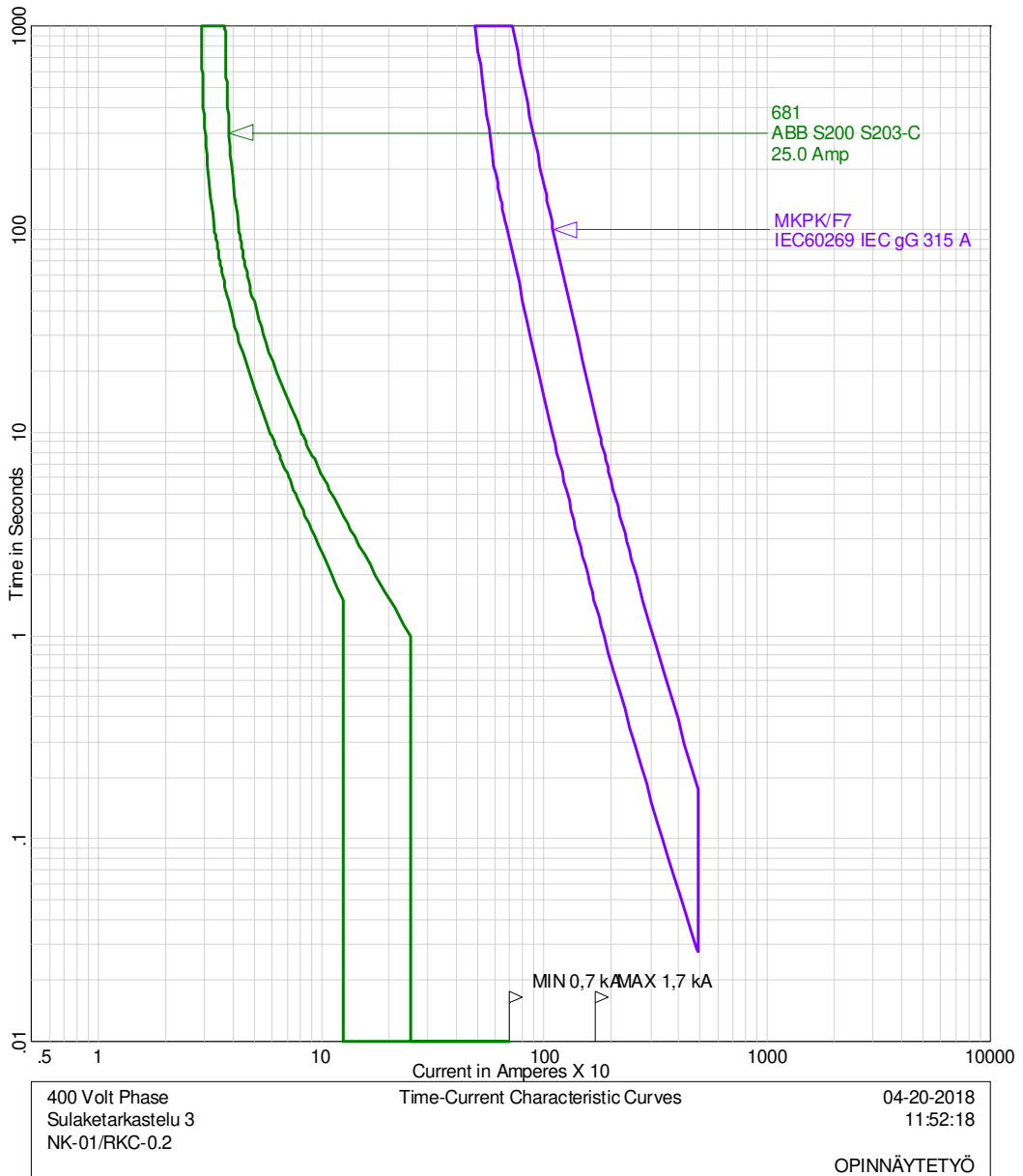
rinnankytkettynä on kuusi kaapelia, jokaisen kaapelin läpi kulkee 1/6 NK-01 keskuksen 5,6kA oikosulkuvirrasta, eli 0,93 kA. Kuvaajassa esitetään keskuksessa NK-01 tapahtuvat maksimi ja minimi oikosulkuvirta sekä heti sulakkeen MK/F3 jälkeen tapahtuva oikosulkuvirta, joka on sama kuin keskuksen MK/PK oikosulkuvirta. Kuvaajasta voidaan todeta, että NK-01 suojaava sulake MKPK/F7 laukeaa ennen kuin yksikään muuntajan kuudesta sulakkeesta vaikka vika tapahtuisi keskuksella NK-01 tai lähtösulakkeen jälkeen.



Tutkitaan NK-01 keskuksen lähtöjä. Otetaan selektiivisyystarkasteluun sama MKPK/F7 315 A sulake sekä NK-01 keskuksen lähtö NK-01 F2, joka on keskuksen suurin gG sulake. NK-01 F2 syöttää RKC-01 keskusta 80 A sulakkeella. RKC-01 piiri jatkuu RT-0.41:lle. Tämän takia käytämme RT-0.41 minimioikosulkuarvoa ja RKC-01 maksimioikosulkuarvoa. Kuvaajasta voimme todeta, että F2 80 A lähtösulake laukeaa ennen kuin 315 A pääsulake. Tarkasteltavat sulakkeet toimivat selektiivisesti. Kun keskuksen suurin sulake on selektiivinen pääsulakkeen kanssa, voidaan todeta keskuksen muidenkin sulakkeiden olevan selektiivisiä pääsulakkeen kanssa.

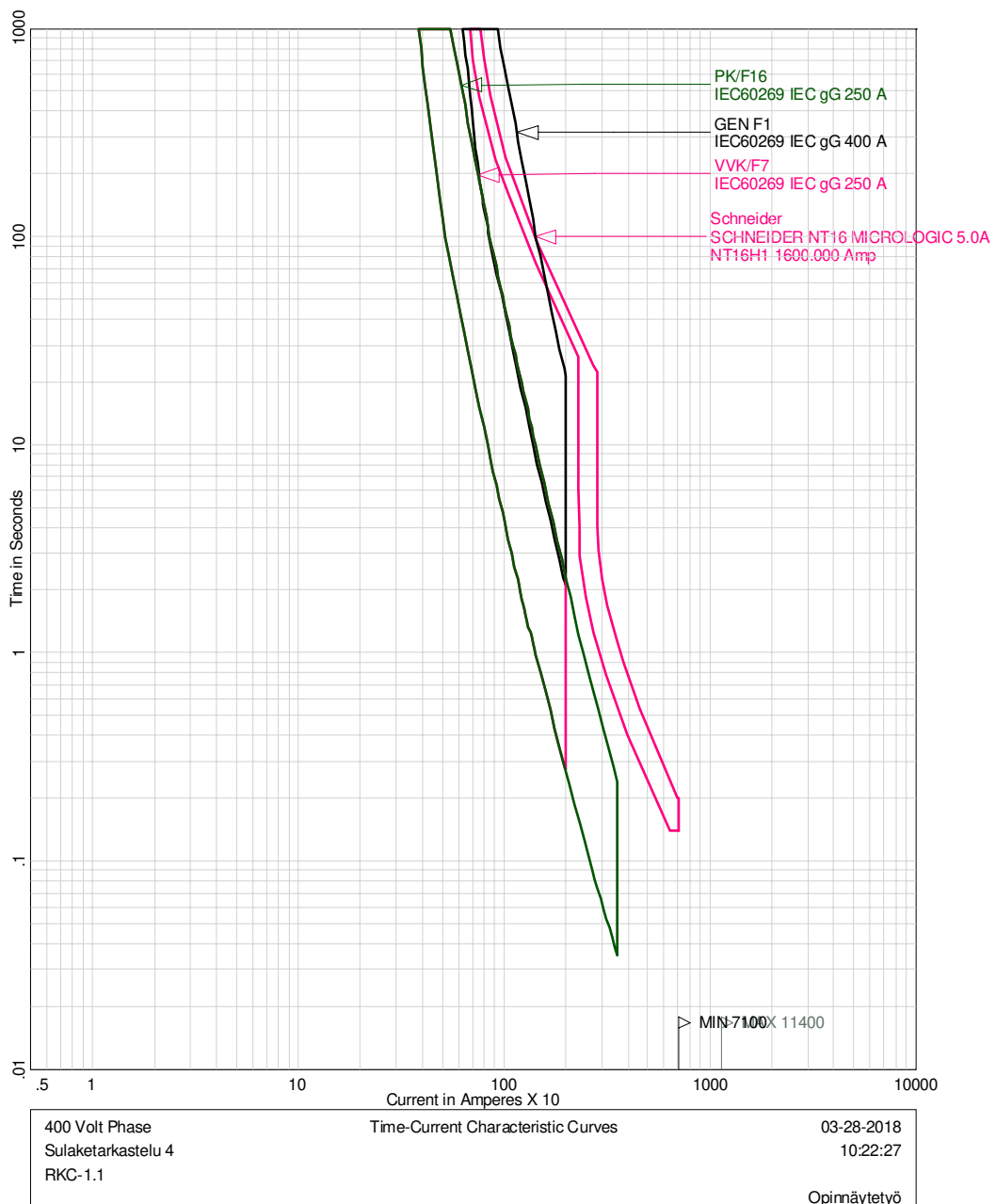


Tutkitaan NK-01 keskuksen johdonsuojakatkaisijoita. Valitaan keskukselta suurin johdonsuojakatkaisija, joka tapauksessa on C25. Verrataan C25 johdonsuojakatkaisijaa 315 A pääsulakkeeseen. Valitaan keskus jossa on pienin oikosulkuvirta. Jos keskuksen suurin johdonsuojakatkaisija C25 toimii pienimmällä mahdollisella oikosulkuvirralla selektiivisesti pääsulakkeen kanssa, voidaan todeta, että myös kaikki muut keskuksen johdonsuojakatkaisijat toimivat selektiivisesti pääsulakkeen kanssa. Kuvasta todetaan, että johdonsuojakatkaisija laukeaa ennen pääsulaketta, joten suojalaitteet ovat selektiiviset.

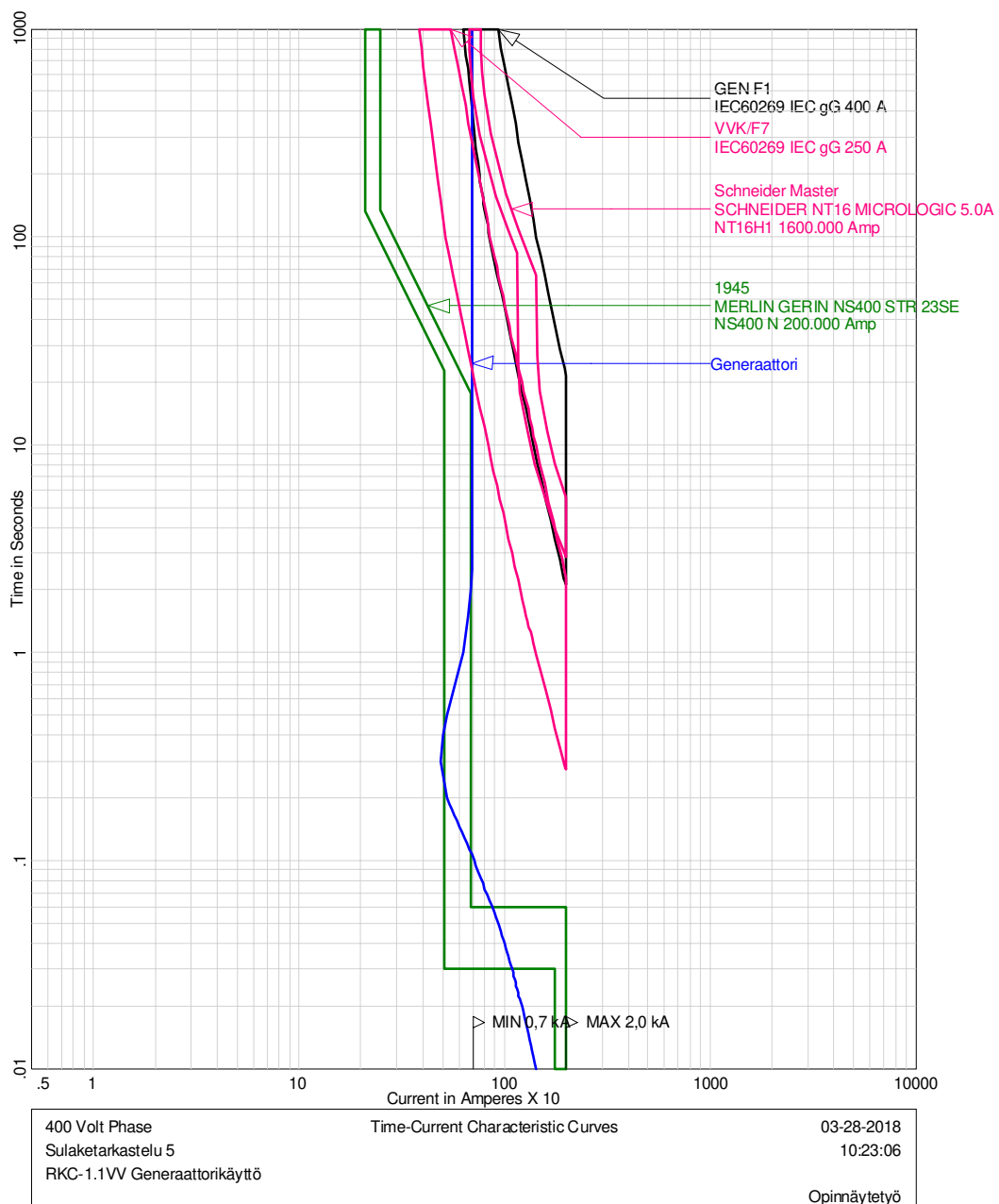


Tutkitaan varavoimakeskuksen käyttöä verkkovirralla. Varavoimakeskuksen vieressä on generaattorikeskus. Generaattorikeskuksessa on verkonvaihtokeskus, josta voidaan valita toimiiko varavoimakeskus niin sanotusti normaalitilanteella eli verkko-voimalla, vai onko hätätilanne ja joudutaan käyttämään varavoimageneraattoria.

Varavoimakeskuksen käyttö verkkovirralla. Tutkitaan selektiivisyyttä pääkeskukselta RKC-1.1VV asti. Sulakkeet PK/F16, PK/F17, Verkkokatkaisija sekä GEN F1 ovat samaa piiriä, joten niiden ei tarvitse olla selektiivisiä keskenään, koska jos mikä tahansa laukeaa, sama määrä verkosta kytkeytyy pois.



Seuraavassa tapauksessa syötetään RKC-1.1VV keskusta varavoimalla, generaattorin avulla. Tutkitaan tapauksessa suojalaitteiden selektiivisyyttä generaattorikäytöllä. Kuvaajasta nähdään, että generaattorin katkaisija laukeaa 2,6s kuluttua. Normaali-käytöllä saimme piirin selektiiviseksi, mutta kun verkkoa käytetään generaattorilla, ei verkkoa aina saada täysin selektiiviseksi. Generaattorin katkaisija ei ole selektiivinen 250 A sulakkeen kanssa, koska se laukeaa nopeammin kuin 250 A sulake. Piirin pienemmät sulakkeet laukeavat todennäköisesti nopeammin kuin katkaisija.



9 SAIRAALAN VERKON YHTEENVETO

Sairaalan sähköjakeluverkko on toiminnaltaan hyvässä kunnossa ja laitekanta on hyvin tavallinen, eri aikakausien laitekanta. Sairaala on rakennettu 70-luvulla, joten vanhin laitekanta on peräisin kyseiseltä vuosikymmeneltä. Keskuksia on uusittu 2000- ja 2010-luvulla. Vanhimmat keskuksset ovat 70-luvulta kuin myös varavoimageraattori, joka on alkuperäinen. Kyseisellä kojeiden uusimisvauhdilla sähköverkon kunnon voidaan olettaa pysyvän hyvällä tasolla.

Sairaalan dokumentointia ja merkkäämistä voisi parantaa. Muutaman keskuksen, esimerkiksi vanhan pääkeskuksen merkkaukset olivat puutteelliset. Merkkäusten puutteellisuus tuo haasteellisuutta vianetsintään sekä korjaustöihin.

Jakeluverkon selektiivisyys on toteutukseltaan yksinkertainen ja toimiva. Sairaalan jakelu on toteutettu lähes kokonaan sulakesuojauksella, joten verkon selektiivisyys on helppo todeta, kun ylä- ja alapuolisen sulakkeen väliin jää yksi sulakekoko. Katkaisijat on säädetty siten, että verkkokäytön oikosulkuvirroilla ne toimivat moitteettomasti.

Jakeluverkon oikosulkuvirrat ovat kojeisiin nähden hyvät. Suurimmassa osassa keskuksia ei ollut mitään kilpitietoja nimellisvirran lisäksi, joten kestoisuuksia ei voida tutkia joka keskukselta. Tutkittujen keskuksien oikosulkukestoisuudet todettiin riittäviksi.

Oikosulkuvirrat laskettiin määritetyille pisteille. Pääjakelussa keskusten oikosulkuarvot riittivät laukaisemaan suojalaitteet vaaditun standardin (SFS 6000) mukaisesti (Liite 7). Kun sairaalaa käytetään generaattorilla, niin kolmasosa sulakkeista ei laukea standardin mukaisessa ajassa (Liite 8). Varavoimakäytöllä generaattorin luotettavana minimioikosulkuvirtana voidaan pitää pysyvän tilan oikosukuarvoa. Generaattorin teho ei riitä antamaan tarpeeksi suuria oikosulkuvirtoja verkon suurimpien sulakkeiden polttamiseen. Generaattori käytöllä verkko ei ole täysin selektiivinen, kos-

ka suojauspiireissä on peräkkäin ei-säädettäviä suojalaitteita, joiden välillä ei ole selektiivisyyttä.

Generaattorikäytöllä sairaalan jakeluverkko vaatii korjauksia. Verkon oikosulkusuojaus sekä selektiivisyys voidaan korjata tehokkaamman generaattorin hankinnalla, tai vaihtoehtoisesti pienentämällä keskuksien lähtöjen kokoja. Käytännössä keskuksien lähtöjen pienentäminen on kohtuuttoman suuri tai lähes mahdoton prosessi, joten uuden varavoimakoneen hankinta on tässä tapauksessa parempi vaihtoehto.

10 YHTEENVETO

Työ oli laaja ja sopivan haastava. Työssä pääsin perehtymään syvällisesti laajan sähköverkon rakenteeseen, sekä sairaalan jakeluverkon erityispiirteisiin. Laajaan sähköverkkoon perehtyminen ja sen tutkiminen antaa varmasti apua tulevaisuuden projekteihin.

Oikosulkulaskennan teoriaan perehtyminen alkoi perusteista lähtien. Oikosulkulaskentaan täytyi perehtyä paljon syvällisemmin, mitä koulussa käytiin läpi. Oikosulkuvirtalaskentaan perehtyminen on varmasti avuksi tulevaisuuden työtehtävissä sähköalalla, työtehtävästä riippumatta.

Jakeluverkon mallintaminen Paladin DesignBase-ohjelmalla oli haastava työvaihe. Piirtäminen on aina hieman erilaista eri ohjelmilla, vaikkakin perustoiminnot ovat usein samat, ohjelmasta riippumatta. Piirtäminen tuntui aluksi hankalalta kun samalla opettelee ohjelman käyttöä, oppii uusia toimintoja ja piirtää jakelukaaviota. Rutiinin puuttuminen myös näkyi piirtämisessä. Piirsin ensin pääjakelukaavion, ja siinä rutiinin puuttuminen näkyi esimerkiksi symbolien sijoittelussa. Varavoimajakelun piirtäminen sujui taas paljon luontevammin, kun rutiinia piirtämiseen oli jo hieman.

Työn tuloksien perusteella voidaan luovuttaa raportti sairaalalle verkon toiminnasta. Sairaalalle voidaan luovuttaa tulokset keskuksien oikosulkuvirroista, selektiivisyystarkastelut sekä parannusehdotukset puutteellisista kohteista.

Opinnäytetyö oli projektina erittäin opettavainen ja mielenkiintoinen. Työtä tehdessä opin paljon uusia asioita verkostolaskennasta, oikosulkulaskennasta, sähköjakeluverkoista ja yleisesti sähkötekniikasta.

LÄHTEET

Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa 2011: Sähköverkot 1. Otatieto, Helsinki.

Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo 2009: Sähkönjakelutekniikka. Otatieto, Helsinki.

Tiainen, Esa 2010: Johdon mitoitus ja suojaus. Painokurki Oy, Helsinki.

Aura, Lauri & Tonteri, Antti.J 1993: Sähkölaitostekniikka. WSOY, Porvoo.

SAMK Sähköisen talotekniikan opiskeluaineisto [verkkodokumentti]. Saatavissa:
<<https://moodle.amk.fi/course/view.php?id=31>>

Gary H. Fox: Power System Selectivity: The Basics Of Protective Coordination [verkkodokumentti]. Saatavissa:
<<http://apps.geindustrial.com/publibrary/checkout/FALLO6%20ARTICLE?TNR=White%20Papers|FALLO6%20ARTICLE|generic>>

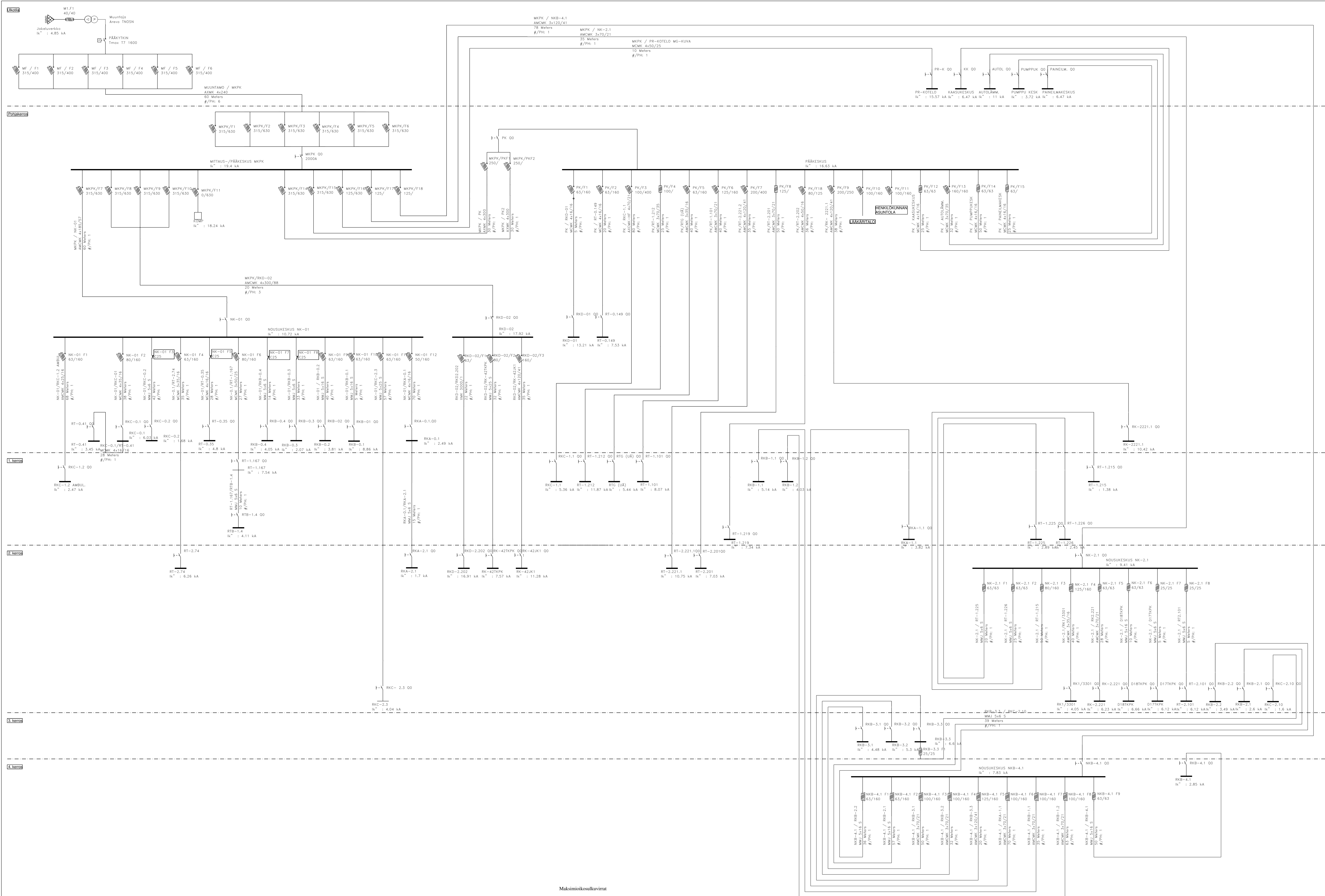
SFS-käsikirja 600-1-2 2017: SFS 6000-7-710: Lääkintätilat.

ABB:n TTT- käsikirja 2000-07: Sähköjohtojen mitoittaminen. [verkkodokumentti].
<http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/19_1_S%84hk%94johtojen%20mitoittaminen.pdf>

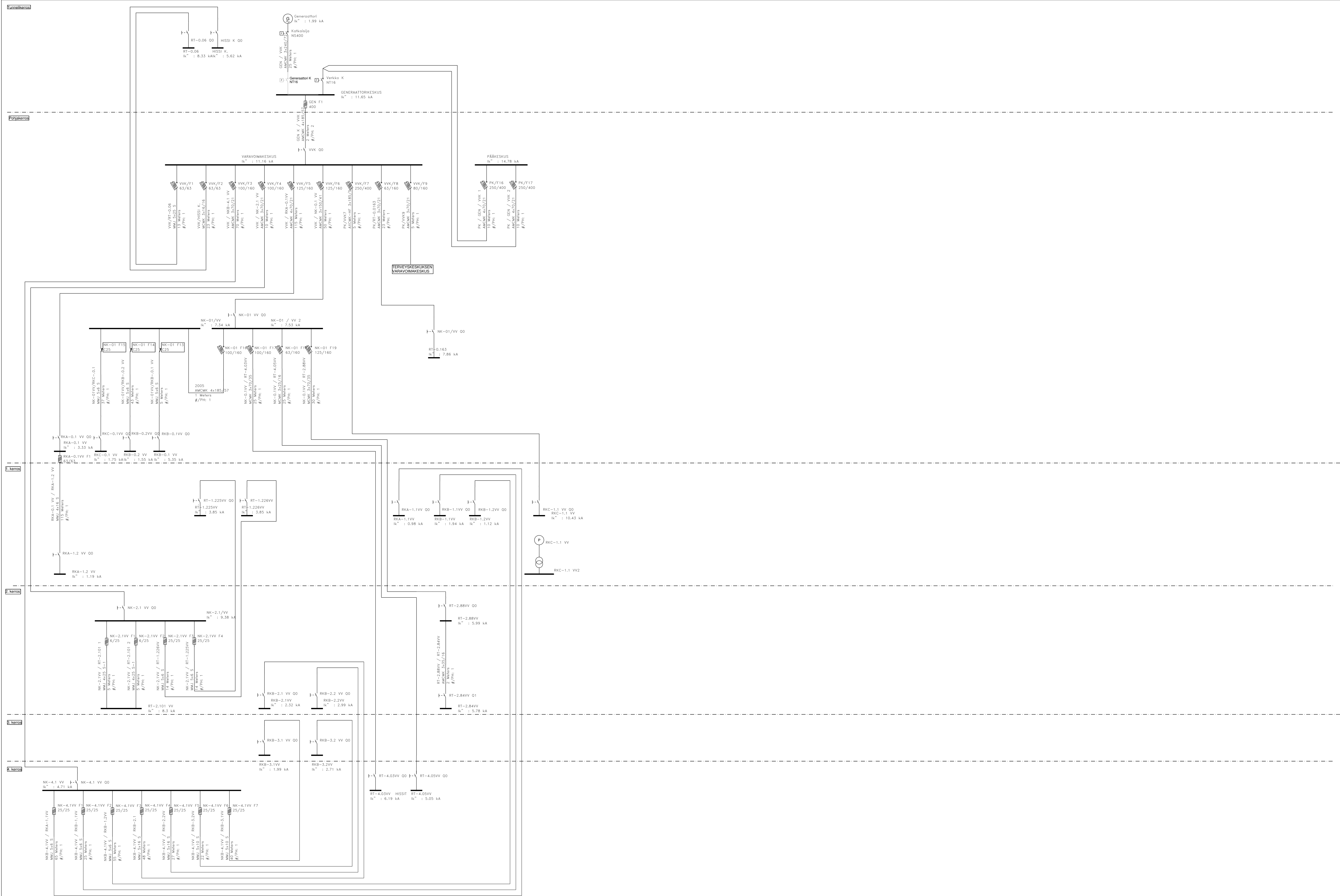
Korpinen, Leena [verkkodokumentti].
<http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf>

ABB Strömberg 2000: Teknisiä tietoja ja taulukoita. Vaasa.

ABB:n TTT- käsikirja 2000-07: Oikosulkusuojaus. [verkkodokumentti].
<http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_1_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf>



Maksimikoskuvirat



Pääjakelu Maksimioikosulkuvirrat

Keskus	Jännite(kV)	3P-Ik''	3p-ip	LL-Ik''	LG-Ik''	3P-1.0s Ith
AUTOLÄMM.	0,41	10,4	16,7	9	6,1	10,4
D17TKPK	0,41	6,1	8,9	5,3	2,8	6,1
D18TKPK	0,41	6,6	9,6	5,7	3,1	6,6
GENERAATTORIKESKUS	0,41	13,1	23,8	11,4	10,2	13,2
HISSIK.	0,41	6	8,7	5,2	3,3	6
KAASUKESKUS	0,41	6,4	9,2	5,5	3,6	6,4
KOMP	0,41	17	35,5	14,7	16,2	17,1
NK-01VV	0,41	8	12,5	6,9	4,1	8
NK-2.1VV	0,41	10,2	16,6	8,9	6,3	10,3
NK-4.1VV	0,41	5	7,3	4,3	2,1	5
NK-01VV2	0,41	8,1	12,8	7	4,2	8,2
NOUSUKESKUSNK-01	0,41	10,4	16,9	9	5,6	10,4
NOUSUKESKUSNK-2.1	0,41	9,2	13,7	8	4,3	9,2
NOUSUKESKUSNKB-4.1	0,41	7,7	11,5	6,7	3,7	7,7
PAINELMAKESKUS	0,41	6,4	9,2	5,5	3,6	6,4
PR-KOTELO	0,41	14,7	25,9	12,8	10,8	14,8
PUMPPU KESK.	0,41	3,7	5,4	3,2	2	3,7
RK1/3301	0,41	4,1	5,9	3,5	1,8	4,1
RK-2.221	0,41	6,2	9	5,4	2,6	6,2
RK-2221.1	0,41	9,9	15,7	8,6	5,7	9,9
RK-42JK1	0,41	10,9	17,4	9,5	6,2	10,9
RK-42TKPK	0,41	7,5	10,9	6,5	4,3	7,5
RKA-0.1	0,41	2,5	3,7	2,2	1,2	2,5
RKA-0.1VV	0,41	3,5	5,1	3	1,3	3,5
RKA-1.1	0,41	3,9	5,6	3,3	1,5	3,9
RKA-1.1VV	0,41	1	1,5	0,9	0,5	1
RKA-1.2VV	0,41	1,2	1,8	1,1	0,6	1,2
RKA-2.1	0,41	1,7	2,5	1,5	0,8	1,7
RKB-0.1	0,41	8,7	13,3	7,5	4,5	8,7
RKB-0.1VV	0,41	5,7	8,4	5	2,8	5,7
RKB-0.2	0,41	3,9	5,6	3,3	1,9	3,9
RKB-0.2VV	0,41	1,6	2,3	1,4	0,8	1,6
RKB-0.3	0,41	2,1	3	1,8	1	2,1
RKB-0.4	0,41	4,1	5,9	3,5	2	4,1
RKB-1.1	0,41	5,2	7,5	4,5	2,1	5,2
RKB-1.1VV	0,41	2	2,9	1,7	0,9	2
RKB-1.2	0,41	4,1	5,9	3,5	1,6	4,1
RKB-1.2VV	0,41	1,2	1,7	1	0,5	1,2
RKB-2.1	0,41	2,6	3,8	2,3	1,3	2,6
RKB-2.1VV	0,41	2,4	3,5	2,1	1,1	2,4
RKB-2.2	0,41	3,5	5,1	3,1	1,7	3,5
RKB-2.2VV	0,41	3,1	4,5	2,7	1,4	3,1
RKB-3.1	0,41	4,5	6,5	3,9	1,8	4,5
RKB-3.1VV	0,41	2,1	3	1,8	0,9	2,1
RKB-3.2	0,41	5,3	7,7	4,6	2,2	5,3
RKB-3.2VV	0,41	2,8	4,1	2,5	1,2	2,8
RKB-3.3	0,41	6,6	9,7	5,7	3	6,6
RKB-4.1	0,41	2,9	4,2	2,5	1,4	2,9
RKC-0.1	0,41	6	8,8	5,2	2,4	6
RKC-0.1VV	0,41	1,8	2,6	1,6	0,9	1,8
RKC-0.2	0,41	1,7	2,5	1,5	0,8	1,7
RKC-1.1	0,41	5,3	7,7	4,6	2,1	5,3
RKC-1.1VV	0,41	11,4	20,1	9,9	8,2	11,5
RKC-1.2 AMBUL.	0,41	2,5	3,6	2,2	1,2	2,5
RKC-2.10	0,41	1,6	2,4	1,4	0,8	1,6
RKC-2.3	0,41	4,1	5,9	3,5	2	4,1
RKD-01	0,41	12,3	20,2	10,7	9,1	12,3
RKD-02	0,41	16,7	33,7	14,5	14,9	16,8
RKD-2.202	0,41	15,9	32,2	13,8	14,3	16
RT-0.06	0,41	9,1	13,9	7,9	5,6	9,1
RT-0.149	0,41	7,3	10,7	6,4	4,2	7,4
RT-0.163	0,41	8,5	13	7,4	4,4	8,5
RT-0.35	0,41	4,8	7	4,2	2,4	4,8
RT-0.41	0,41	3,5	5	3	1,5	3,5
RT-1.101	0,41	7,8	11,6	6,8	3,6	7,8
RT-1.167	0,41	7,5	11,2	6,5	3,4	7,5
RT-1.212	0,41	11,2	18,4	9,7	7	11,2
RT-1.215	0,41	1,4	2	1,2	0,7	1,4
RT-1.219	0,41	7,2	10,5	6,2	3,1	7,2
RT-1.225	0,41	2,9	4,2	2,5	1,4	2,9
RT-1.225VV	0,41	4,1	5,9	3,5	2	4,1
RT-1.226	0,41	2,5	3,6	2,2	1,2	2,5
RT-1.226VV	0,41	4,1	5,9	3,5	2	4,1
RT-2.101	0,41	6,1	8,9	5,3	2,8	6,1
RT-2.101VV	0,41	9	14,1	7,8	5,3	9
RT-2.201	0,41	6,9	10,1	6	3	6,9
RT-2.221.1	0,41	10,2	16,3	8,8	5,9	10,2
RT-2.74	0,41	6,2	9,2	5,4	2,5	6,2
RT-2.84VV	0,41	6,1	9,2	5,3	2,8	6,1
RT-2.88VV	0,41	6,4	9,7	5,6	3	6,4
RT-4.03VV HISSIT	0,41	6,6	10,1	5,7	3,1	6,6
RT-4.05VV	0,41	5,4	7,9	4,7	2,4	5,4
RTB-1.4	0,41	4,1	6	3,6	1,9	4,2
RTG(UÄ)	0,41	5,4	7,8	4,7	2,7	5,4
VERKKOYHTIÖ	20,5	4,9	11,2	4,3	0	5
VARAVOIMAKESKUS	0,41	12,3	21,7	10,6	9,1	12,3
MITTAUS-/PÄÄKESKUS MKPK	0,41	18	37,3	15,6	17,1	18,1
PÄÄKESKUS	0,41	15,1	29,7	13,1	13,2	15,2

Pääjaku
Minimioikosulkuvirrat

Keskus	Jännite (kV)	3P-Ik''	3p-ip	LL-Ik''	LG-Ik''	3P-1.0s Ith
AUTOLÄMM.	0,4	8,7	14,1	7,5	5,3	8,7
D17TKPK	0,4	5,3	7,6	4,6	2,5	5,3
D18TKPK	0,4	5,7	8,3	4,9	2,7	5,7
GENERAATTORIKESKUS	0,4	10,7	19,7	9,3	8,6	10,8
HISSI K.	0,4	5,2	7,5	4,5	2,9	5,2
KAASUKESKUS	0,4	5,5	8	4,7	3,1	5,5
KOMP	0,4	13,6	28,5	11,8	13,4	13,7
NK-01VV	0,4	6,7	10,7	5,8	3,6	6,7
NK-2.1VV	0,4	8,5	14	7,4	5,5	8,6
NK-4.1 VV	0,4	4,3	6,3	3,7	1,8	4,3
NK-01 / VV 2	0,4	6,9	10,9	6	3,6	6,9
NOUSUKESKUS NK-01	0,4	8,7	14,2	7,5	4,9	8,7
NOUSUKESKUS NK-2.1	0,4	7,8	11,7	6,7	3,8	7,8
NOUSUKESKUS NKB-4.1	0,4	6,6	9,9	5,7	3,2	6,6
PAINELMAKESKUS	0,4	5,5	8	4,7	3,1	5,5
PR-KOTELO	0,4	11,9	21,3	10,3	9,2	12
PUMPPU KESK.	0,4	3,3	4,7	2,8	1,7	3,3
RK1/3301	0,4	3,6	5,1	3,1	1,6	3,6
RK-2.221	0,4	5,3	7,8	4,6	2,3	5,4
RK-2221.1	0,4	8,3	13,3	7,2	4,9	8,3
RK-42JK1	0,4	9,1	14,7	7,9	5,4	9,1
RK-42TKPK	0,4	6,4	9,4	5,6	3,7	6,4
RKA-0.1	0,4	2,2	3,2	1,9	1,1	2,2
RKA-0.1 VV	0,4	3,1	4,4	2,6	1,2	3,1
RKA-1.1	0,4	3,4	4,9	2,9	1,3	3,4
RKA-1.1VV	0,4	0,9	1,3	0,8	0,4	0,9
RKA-1.2 VV	0,4	1,1	1,6	0,9	0,5	1,1
RKA-2.1	0,4	1,5	2,2	1,3	0,7	1,5
RKB-0.1	0,4	7,3	11,3	6,4	4	7,3
RKB-0.1 VV	0,4	4,9	7,3	4,3	2,5	4,9
RKB-0.2	0,4	3,4	4,8	2,9	1,7	3,4
RKB-0.2 VV	0,4	1,4	2	1,2	0,7	1,4
RKB-0.3	0,4	1,9	2,7	1,6	0,9	1,9
RKB-0.4	0,4	3,6	5,1	3,1	1,7	3,6
RKB-1.1	0,4	4,5	6,5	3,9	1,9	4,5
RKB-1.1VV	0,4	1,8	2,6	1,5	0,8	1,8
RKB-1.2	0,4	3,5	5,1	3,1	1,4	3,5
RKB-1.2VV	0,4	1	1,5	0,9	0,5	1
RKB-2.1	0,4	2,3	3,3	2	1,1	2,3
RKB-2.1VV	0,4	2,1	3,1	1,8	0,9	2,1
RKB-2.2	0,4	3,1	4,4	2,7	1,5	3,1
RKB-2.2VV	0,4	2,7	4	2,4	1,2	2,7
RKB-3.1	0,4	3,9	5,7	3,4	1,6	3,9
RKB-3.1VV	0,4	1,8	2,6	1,6	0,8	1,8
RKB-3.2	0,4	4,6	6,7	4	2	4,6
RKB-3.2VV	0,4	2,5	3,6	2,1	1,1	2,5
RKB-3.3	0,4	5,6	8,3	4,9	2,6	5,6
RKB-4.1	0,4	2,5	3,6	2,2	1,2	2,5
RKC-0.1	0,4	5,2	7,6	4,5	2,1	5,2
RKC-0.1 VV	0,4	1,6	2,3	1,4	0,8	1,6
RKC-0.2	0,4	1,5	2,2	1,3	0,7	1,5
RKC-1.1	0,4	4,6	6,7	4	1,9	4,6
RKC-1.1 VV	0,4	9,4	16,8	8,2	7,1	9,5
RKC-1.2 AMBUL.	0,4	2,2	3,2	1,9	1,1	2,2
RKC-2.10	0,4	1,4	2,1	1,2	0,7	1,4
RKC-2.3	0,4	3,5	5,1	3,1	1,8	3,6
RKD-01	0,4	10,1	16,9	8,8	7,8	10,2
RKD-02	0,4	13,4	27,2	11,6	12,4	13,5
RKD-2.202	0,4	12,8	26,1	11	11,9	12,8
RT-0.06	0,4	7,6	11,8	6,6	4,9	7,6
RT-0.149	0,4	6,3	9,2	5,4	3,7	6,3
RT-0.163	0,4	7,2	11,1	6,2	3,9	7,2
RT-0.35	0,4	4,2	6,1	3,6	2,1	4,2
RT-0.41	0,4	3	4,4	2,6	1,3	3,1
RT-1.101	0,4	6,7	9,9	5,8	3,2	6,7
RT-1.167	0,4	6,3	9,6	5,5	3	6,3
RT-1.212	0,4	9,2	15,5	8	6	9,3
RT-1.215	0,4	1,2	1,8	1,1	0,6	1,2
RT-1.219	0,4	6,1	9	5,3	2,7	6,1
RT-1.225	0,4	2,6	3,7	2,2	1,2	2,6
RT-1.225VV	0,4	3,5	5,1	3,1	1,8	3,5
RT-1.226	0,4	2,2	3,2	1,9	1	2,2
RT-1.226VV	0,4	3,5	5,1	3,1	1,8	3,5
RT-2.101	0,4	5,3	7,6	4,6	2,5	5,3
RT-2.101 VV	0,4	7,6	12	6,6	4,6	7,6
RT-2.201	0,4	5,9	8,7	5,1	2,7	5,9
RT-2.221.1	0,4	8,5	13,8	7,4	5,2	8,5
RT-2.74	0,4	5,3	7,9	4,6	2,2	5,4
RT-2.84VV	0,4	5,2	7,9	4,5	2,5	5,2
RT-2.88VV	0,4	5,5	8,3	4,7	2,6	5,5
RT-4.03VVHISSIT	0,4	5,7	8,7	4,9	2,7	5,7
RT-4.05VV	0,4	4,6	6,8	4	2,1	4,6
RTB-1.4	0,4	3,6	5,2	3,1	1,7	3,6
RTG (UÄ)	0,4	4,7	6,8	4	2,3	4,7
VERKKOYHTIÖ	20	1,8	4	1,5	0	1,8
VARAVOIMAKESKUS	0,4	10,1	18,1	8,7	7,8	10,1
MITTAUS-/PÄÄKESKUS MKPK	0,4	14,3	29,8	12,4	14,1	14,4
PÄÄKESKUS	0,4	12,2	24,2	10,6	11	12,3

Varavoima Maksimioikosulkuvirrat

Keskus	Jännite (kV)	3P-Std Ik	LL-Std Ik	LG-StdIk
Generaattori	0,4	0,7	1,1	1,8
GENERAATTORIKESKUS	0,4	0,7	1,1	1,7
HISSI K.	0,4	0,7	1	1,5
NK-01/VV	0,4	0,7	1	1,5
NK-2.1/VV	0,4	0,7	1	1,6
NK-4.1 VV	0,4	0,7	1	1,2
NK-01 / VV 2	0,4	0,7	1	1,5
RKA-0.1 VV	0,4	0,7	0,9	1
RKA-1.1VV	0,4	0,5	0,6	0,4
RKA-1.2 VV	0,4	0,6	0,7	0,5
RKB-0.1 VV	0,4	0,7	1	1,4
RKB-0.2 VV	0,4	0,6	0,8	0,7
RKB-1.1VV	0,4	0,6	0,9	0,8
RKB-1.2VV	0,4	0,6	0,7	0,5
RKB-2.1VV	0,4	0,6	0,9	0,9
RKB-2.2VV	0,4	0,7	0,9	1
RKB-3.1VV	0,4	0,6	0,9	0,8
RKB-3.2VV	0,4	0,7	0,9	0,9
RKC-0.1 VV	0,4	0,6	0,8	0,7
RKC-1.1 VV	0,4	0,7	1,1	1,6
RT-0.06	0,4	0,7	1	1,6
RT-0.163	0,4	0,7	1	1,5
RT-1.225VV	0,4	0,7	1	1,3
RT-1.226VV	0,4	0,7	1	1,3
RT-2.101 VV	0,4	0,7	1	1,6
RT-2.84VV	0,4	0,7	1	1,3
RT-2.88VV	0,4	0,7	1	1,4
RT-4.03VV HISSIT	0,4	0,7	1	1,4
RT-4.05VV	0,4	0,7	1	1,3
VARAVOIMAKESKUS	0,4	0,7	1,1	1,7

Varavoima Minimioikosulkuvirrat

Keskus	Jännite (kV)	3P-Std Ik	LL-Std Ik	LG-Std Ik
Generaattori	0,4	0,6	1	1,6
GENERAATTORIKESKUS	0,4	0,6	1	1,5
HISSI K.	0,4	0,6	0,9	1,3
NK-01/VV	0,4	0,6	0,9	1,3
NK-2.1/VV	0,4	0,6	0,9	1,5
NK-4.1 VV	0,4	0,6	0,9	1,1
NK-01 / VV 2	0,4	0,6	0,9	1,4
RKA-0.1 VV	0,4	0,6	0,9	0,9
RKA-1.1 VV	0,4	0,5	0,6	0,4
RKA-1.2 VV	0,4	0,5	0,6	0,5
RKB-0.1 VV	0,4	0,6	0,9	1,2
RKB-0.2 VV	0,4	0,6	0,7	0,6
RKB-1.1 VV	0,4	0,6	0,8	0,7
RKB-1.2 VV	0,4	0,5	0,6	0,5
RKB-2.1 VV	0,4	0,6	0,8	0,8
RKB-2.2 VV	0,4	0,6	0,8	0,9
RKB-3.1 VV	0,4	0,6	0,8	0,7
RKB-3.2 VV	0,4	0,6	0,8	0,9
RKC-0.1 VV	0,4	0,6	0,8	0,7
RKC-1.1 VV	0,4	0,6	1	1,5
RT-0.06	0,4	0,6	0,9	1,4
RT-0.163	0,4	0,6	0,9	1,4
RT-1.225 VV	0,4	0,6	0,9	1,1
RT-1.226 VV	0,4	0,6	0,9	1,1
RT-2.101 VV	0,4	0,6	0,9	1,4
RT-2.84 VV	0,4	0,6	0,9	1,2
RT-2.88 VV	0,4	0,6	0,9	1,2
RT-4.03 VV HISSIT	0,4	0,6	0,9	1,3
RT-4.05 VV	0,4	0,6	0,9	1,2
VARAVOIMAKESKUS	0,4	0,6	1	1,5

Pääjakelu
Sulakkeiden toiminta-ajat

KESKUS	SULAKEKOKO	VAADITTU	VAADITTU	LASKETTU	TULOS TÄYTTÄÄ	TULOS TÄYTTÄÄ
		OIKOSULKUVIRT A 0.4s AJALLE	OIKOSULKUVIRT A 5.0s AJALLE	PIENIN OIKOSULKUVIRT	VAATIMUKSEN 0.4 s [TOSI/EPÄTOSI]	VAATIMUKSEN 5.0 s [TOSI/EPÄTOSI]
	IN	[kA]	[kA]	[kA]		
AUTOLÄMM.	160	1,6	0,95	5,3	TOSI	TOSI
D17TKPK	80	0,84	0,425	2,5	TOSI	TOSI
D18TKPK	25	0,18	0,11	2,7	TOSI	TOSI
GENERAATTORIKESKUS	250	2,8	1,65	8,6	TOSI	TOSI
HISSIK.	63	0,55	0,32	2,9	TOSI	TOSI
KAASUKESKUS	63	0,55	0,32	3,1	TOSI	TOSI
KOMP.	400	4,8	2,84	11,8	TOSI	TOSI
NK-01VV	160	1,6	0,95	3,6	TOSI	TOSI
NK-2.1VV	100	1	0,58	5,5	TOSI	TOSI
NK-4.1 VV	100	1	0,58	1,8	TOSI	TOSI
NK-01 / VV 2	160	1,6	0,95	3,6	TOSI	TOSI
NOUSUKESKUS NK-01	250	2,8	1,65	4,9	TOSI	TOSI
NOUSUKESKUS NK-2.1	250	2,8	1,65	3,8	TOSI	TOSI
NOUSUKESKUS NKB-4.1	315	3,7	2,2	3,2	EPÄTOSI	TOSI
PAINEILMAKESKUS	315	3,7	2,2	3,1	EPÄTOSI	TOSI
PR-KOTELO	100	1	0,58	9,2	TOSI	TOSI
PUMPPU KESK.	63	0,55	0,32	1,7	TOSI	TOSI
RK1/3301	125	1,45	0,715	1,6	TOSI	TOSI
RK-2.221	63	0,55	0,32	2,3	TOSI	TOSI
RK-2221.1	200	2,1	1,25	4,9	TOSI	TOSI
RK-421K1	160	1,6	0,95	5,4	TOSI	TOSI
RK-42TKPK	80	0,84	0,425	3,7	TOSI	TOSI
RKA-0.1	63	0,55	0,32	1,1	TOSI	TOSI
RKA-0.1 VV	125	1,45	0,715	1,2	EPÄTOSI	TOSI
RKA-1.1	100	1	0,58	1,3	TOSI	TOSI
RKA-1.1VV	20	0,145	0,085	0,4	TOSI	TOSI
RKA-1.2 VV	63	0,55	0,32	0,5	EPÄTOSI	TOSI
RKA-2.1	63	0,55	0,32	0,7	TOSI	TOSI
RKB-0.1	100	1	0,58	4	TOSI	TOSI
RKB-0.1 VV	C25	0,25	0,175	2,5	TOSI	TOSI
RKB-0.2	63	0,55	0,32	1,7	TOSI	TOSI
RKB-0.2 VV	C25	0,25	0,175	0,7	TOSI	TOSI
RKB-0.3	C25	0,25	0,175	0,9	TOSI	TOSI
RKB-0.4	C25	0,25	0,175	1,7	TOSI	TOSI
RKB-1.1	100	1	0,58	1,9	TOSI	TOSI
RKB-1.1VV	63	0,55	0,32	0,8	TOSI	TOSI
RKB-1.2	100	1	0,58	1,4	TOSI	TOSI
RKB-1.2VV	20	0,145	0,085	0,5	TOSI	TOSI
RKB-2.1	100	1	0,58	1,1	TOSI	TOSI
RKB-2.1VV	25	0,18	0,11	0,9	TOSI	TOSI
RKB-2.2	63	0,55	0,32	1,5	TOSI	TOSI
RKB-2.2VV	25	0,18	0,11	1,2	TOSI	TOSI
RKB-3.1	100	1	0,58	1,6	TOSI	TOSI
RKB-3.1VV	25	0,18	0,11	0,8	TOSI	TOSI
RKB-3.2	100	1	0,58	2	TOSI	TOSI
RKB-3.2VV	25	0,18	0,11	1,1	TOSI	TOSI
RKB-3.3	125	1,45	0,715	2,6	TOSI	TOSI
RKB-4.1	63	0,55	0,32	1,2	TOSI	TOSI
RKC-0.1	80	0,84	0,425	2,1	TOSI	TOSI
RKC-0.1 VV	C25	0,25	0,175	0,8	TOSI	TOSI
RKC-0.2	C25	0,25	0,175	0,7	TOSI	TOSI
RKC-1.1	100	1	0,58	1,9	TOSI	TOSI
RKC-1.1 VV	250	2,8	1,65	7,1	TOSI	TOSI
RKC-1.2 AMBUL.	63	0,55	0,32	1,1	TOSI	TOSI
RKC-2.10	25	0,18	0,11	0,7	TOSI	TOSI
RKC-2.3	63	0,55	0,32	1,8	TOSI	TOSI
RKD-01	63	0,55	0,32	7,8	TOSI	TOSI
RKD-02	315	3,7	2,2	11,6	TOSI	TOSI
RKD-2.202	63	0,55	0,32	11	TOSI	TOSI
RT-0.06	63	0,55	0,32	4,9	TOSI	TOSI
RT-0.149	63	0,55	0,32	3,7	TOSI	TOSI
RT-0.163	63	0,55	0,32	3,9	TOSI	TOSI
RT-0.35	C25	0,25	0,175	2,1	TOSI	TOSI
RT-0.41	80	0,84	0,425	1,3	TOSI	TOSI
RT-1.101	125	1,45	0,715	3,2	TOSI	TOSI
RT-1.167	80	0,84	0,425	3	TOSI	TOSI
RT-1.212	100	1	0,58	6	TOSI	TOSI
RT-1.215	80	0,84	0,425	0,6	EPÄTOSI	TOSI
RT-1.219	80	0,84	0,425	2,7	TOSI	TOSI
RT-1.225	63	0,55	0,32	1,2	TOSI	TOSI
RT-1.225VV	25	0,18	0,11	1,8	TOSI	TOSI
RT-1.226	63	0,55	0,32	1	TOSI	TOSI
RT-1.226VV	25	0,18	0,11	1,8	TOSI	TOSI
RT-2.101	25	0,18	0,11	2,5	TOSI	TOSI
RT-2.101 VV	6	0,0465	0,028	4,6	TOSI	TOSI
RT-2.201	125	1,45	0,715	2,7	TOSI	TOSI
RT-2.221.1	200	2,1	1,25	5,2	TOSI	TOSI
RT-2.74	63	0,55	0,32	2,2	TOSI	TOSI
RT-2.84VV	125	1,45	0,715	2,5	TOSI	TOSI
RT-2.88VV	125	1,45	0,715	2,6	TOSI	TOSI
RT-4.03VV HISSIT	100	1	0,58	2,7	TOSI	TOSI
RT-4.05VV	63	0,55	0,32	2,1	TOSI	TOSI
RTB-1.4	80	0,84	0,425	1,7	TOSI	TOSI
RTG (UÄ)	63	0,55	0,32	2,3	TOSI	TOSI
VARAVOIMAKESKUS	400	4,8	2,84	7,8	TOSI	TOSI
MITTAUS-/PÄÄKESKUS MKPK	315	3,7	2,2	12,4	TOSI	TOSI
PÄÄKESKUS	250	2,8	1,65	10,6	TOSI	TOSI

Varavoima Sulakkeiden toiminta-ajat

KESKUS	SULAKEKOKO	VAADITTU	VAADITTU	LASKETTU	TULOS TÄYTTÄÄ	TULOS TÄYTTÄÄ
		OIKOSULKUVIRT A 0,4s AJALLE	OIKOSULKUVIRT A 5,0s AJALLE	PIENIN OIKOSULKUVIRT	VAATIMUKSEN 0,4 s	VAATIMUKSEN 5,0 s
	IN	[kA]	[kA]	[kA]	[TOSI/EPÄTOSI]	[TOSI/EPÄTOSI]
GENERAATTORIKESKUS	250	2,8	1,65	0,6	EPÄTOSI	EPÄTOSI
HISSI K.	63	0,55	0,32	0,6	TOSI	TOSI
NK-01/VV	160	1,6	0,95	0,6	EPÄTOSI	EPÄTOSI
NK-2.1/VV	100	1	0,58	0,6	EPÄTOSI	TOSI
NK-4.1 VV	100	1	0,58	0,6	EPÄTOSI	TOSI
NK-O1 / VV 2	160	1,6	0,95	0,6	EPÄTOSI	EPÄTOSI
RKA-0.1 VV	125	1,45	0,715	0,6	EPÄTOSI	EPÄTOSI
RKA-1.1VV	20	0,145	0,085	0,5	TOSI	TOSI
RKA-1.2 VV	63	0,55	0,32	0,5	EPÄTOSI	TOSI
RKB-0.1 VV	C25	0,25	0,175	0,6	TOSI	TOSI
RKB-0.2 VV	C25	0,25	0,175	0,6	TOSI	TOSI
RKB-1.1VV	63	0,55	0,32	0,6	TOSI	TOSI
RKB-1.2VV	20	0,145	0,085	0,5	TOSI	TOSI
RKB-2.1VV	25	0,18	0,11	0,6	TOSI	TOSI
RKB-2.2VV	25	0,18	0,11	0,6	TOSI	TOSI
RKB-3.1VV	25	0,18	0,11	0,6	TOSI	TOSI
RKB-3.2VV	25	0,18	0,11	0,6	TOSI	TOSI
RKC-0.1 VV	C25	0,25	0,175	0,6	TOSI	TOSI
RKC-1.1 VV	250	2,8	1,65	0,6	EPÄTOSI	EPÄTOSI
RT-0.06	63	0,55	0,32	0,6	TOSI	TOSI
RT-0.163	63	0,55	0,32	0,6	TOSI	TOSI
RT-1.225VV	25	0,18	0,11	0,6	TOSI	TOSI
RT-1.226VV	25	0,18	0,11	0,6	TOSI	TOSI
RT-2.101 VV	6	0,0465	0,028	0,6	TOSI	TOSI
RT-2.84VV	125	1,45	0,715	0,6	EPÄTOSI	EPÄTOSI
RT-2.88VV	125	1,45	0,715	0,6	EPÄTOSI	EPÄTOSI
RT-4.03VV HISSIT	100	1	0,58	0,6	EPÄTOSI	TOSI
RT-4.05VV	63	0,55	0,32	0,6	TOSI	TOSI
VARAVOIMAKESKUS	400	4,8	2,84	0,6	EPÄTOSI	EPÄTOSI

Sulakkeen Oikosulkuvaimennus

LASKETUT OIKOSULKUVIRRAT				
Prospektiivinen oikosulkuvirta \hat{I}_k		7,2		kA
Vaimentumaton sysäysoikosulkuvirta \hat{I}_p		10,5		kA
Sysäyskerroin k			1,03	
SULAKEEN VAIMENTAMA OIKOSULKUVIRTA				
OFAF_H_... yleissulake				
Varoke	$k \times \hat{I}_k^{10}$		\hat{I}_p	
2 A	27,26		0,5 kA	5,0 %
4 A	40,66		0,8 kA	7,5 %
6 A	50,32		1,0 kA	9,3 %
10 A	72,97		1,4 kA	13,4 %
16 A	93,11		1,8 kA	17,1 %
20 A	117,2		2,3 kA	21,6 %
25 A	149,6		2,9 kA	27,5 %
32 A	174,8		3,4 kA	32,1 %
35 A	187,5		3,6 kA	34,5 %
40 A	205,6		4,0 kA	37,8 %
50 A	242,7		4,7 kA	44,6 %
63 A	265,5		5,1 kA	48,8 %
80 A	316,3		6,1 kA	58,2 %
100 A	389,5		7,5 kA	71,6 %
125 A	445,1		8,6 kA	81,9 %
160 A	548,6		10,5 kA	100,0 %
200 A	650,5		10,5 kA	100,0 %
250 A	772,5		10,5 kA	100,0 %
315 A	890,9		10,5 kA	100,0 %
355 A	926,0		10,5 kA	100,0 %
400 A	1000		10,5 kA	100,0 %
500 A	1201		10,5 kA	100,0 %
630 A	1433		10,5 kA	100,0 %
800 A	1601		10,5 kA	100,0 %
1000 A	1874		10,5 kA	100,0 %
1250 A	2293		10,5 kA	100,0 %