



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# VARMENNETUN VERKON SELVITYS TEOLLISUUS- LAITOKSESSA

TEKIJÄ: Juha Heiskanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Juha Heiskanen	
Työn nimi Varmennetun verkon selvitys teollisuuslaitoksessa	
Päiväys	21.5.2013
Sivumäärä/Liitteet	55/1
Ohjaaja(t) lehtori Heikki Laininen, yliopettaja Juhani Rouvali	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Yara Suomi Oy, Siilinjärvi	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää varmennetun verkon rakenne ja kunto Yara Suomi Oy:n Siilinjärven tehtaiden rikkihappo- ja energiatuotantoyksikössä. Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa varmennetun verkon rakenne ja tarkastaa verkon mitoitusarvot laskemalla. Lopuksi selvityksen ja laskennan perusteella pohdittiin verkon kehitysehdotuksia.</p> <p>Verkko koostui varmennetusta vaihtosähköverkosta ja akustovarmennetusta tasasähköverkosta. Aluksi selvitettiin varmennettuun vaihtosähköverkkoon liitetyt laitteet ja luotiin periaatekaavio sähkönjakelusta. Tämän jälkeen arvioitiin verkon kuormitusteho laskemalla ja mittaamalla. Kuormitustietojen pohjalta tarkastettiin verkossa käytettyjen kaapeleiden kuormitettavuus ja ylivirtasuojaus. Lisäksi tarkastettiin verkon suojalaitteiden katkaisukyky, selektiivisyys, jännitteenalenema ja syötön nopean poiskytkennän ehtojen toteutuminen. Lopuksi pohdittiin verkon parannusehdotuksia. Akustovarmennetusta tasasähköverkosta selvitettiin verkkoon liitetyt laitteet ja luotiin periaatekaavio jakelusta, minkä jälkeen verkon vikasuojaus ja jännitteenalenemat suoritettiin laskemalla. Lopuksi pohdittiin tasasähkönjakelun kehittämistä.</p> <p>Työn tuloksena toimeksiantajalla on tieto varmennetun verkon nykytilasta ja se pystyy tulevaisuudessa kehittämään tehdasalueen sähkönjakelun varmennusta poikkeustilanteissa.</p>	
Avainsanat varavoima, tasasähkö, pienjännite	
Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Juha Heiskanen			
Title of Thesis Reserved Electrical Network in Industrial Plant			
Date	May 21, 2013	Pages/Appendices	55/1
Supervisor(s) Mr. Heikki Laininen, Senior Lecturer, Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners Yara Suomi Oy, Siilinjärvi			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this final year project was to examine a reserved electrical network in the Yara Suomi Oy Siilinjärvi plant sulphuric acid and energy production unit. The first objective was to research the structure of a reserved electrical network and the apparatuses included in it. In addition, the aim was to check the condition of the network and make suggestions for improving the network.</p> <p>The reserved electrical network consisted of a generator reserved AC network and a battery reserved DC-system. First, a block diagram was created after researching the AC network distribution. Then, the network load power was estimated by measuring and calculating. Based on the estimated load power, the current-carrying capacity and overload protection of the cables were checked. In addition, the network short-circuit current, voltage drops, breaking capacity and selectivity of the protection were checked. The battery reserved DC-system was also examined by researching the network structure and the apparatuses. Then a structure diagram of DC-system was created. The condition of DC-network was checked by calculating voltage drops and overcurrent protection. After that it was discussed how to improve the DC-system.</p> <p>As a result of this thesis the client organization received updated information about their reserved network which can be used to improve the electricity distribution in the plant in case of emergency in the future.</p>			
Keywords reserve power, DC-system, low-voltage			
public			

## ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyö tehtiin Yara Suomi Oy:n Siilinjärven tehtailla rikkihappo- ja energiatuotantoyksikössä talvella 2012 – 2013.

Haluan kiittää Savonia-ammattikorkeakoulun lehtori Heikki Lainista ja Yara Siilinjärven sähköasiantuntija Antti Lappia työni ohjaamisesta. Lisäksi haluan kiittää rikkihappo- ja energiayksikön sähkö- ja automaatioryhmää avusta selvitystyön eri vaiheissa.

Kuopiossa 21.5.2013

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	YARA INTERNATIONAL ASA .....	8
2.1	Yara Suomi Oy.....	8
2.2	Yara Suomi Oy, Siilinjärvi.....	8
3	TEOLLISUUDEN VARMENNETTAVAT TOIMINNOT.....	10
4	VARMENNETUN SÄHKÖNSYÖTÖN JÄRJESTELMÄTYYPIT .....	11
4.1	Turvasyöttöjärjestelmä.....	11
4.2	Varavoimajärjestelmä.....	11
4.2.1	UPS (Uninterruptible Power System) .....	11
4.2.2	Varavoimajärjestelmä .....	12
4.3	Varmennettu tasasähköverkko .....	12
4.3.1	Sähkölaitosten ja teollisuuden tasasähköjärjestelmät.....	12
4.3.2	Tasasähköjärjestelmien tehonlähteet.....	13
5	VARAVOIMAJÄRJESTELMÄN MITOITUS JA SUOJAUS .....	14
5.1	Mitoitusarvot .....	14
5.2	Ylikuormitussuojaus .....	14
5.2.1	Ylikuormitussuojaus sulakkeilla .....	14
5.2.2	Ylikuormitussuojaus johdonsuojakatkaisijoilla.....	15
5.3	Johdon mitoitus .....	16
5.4	Oikosulkusuojaus .....	16
5.5	Syötön nopea poiskytkentä.....	17
5.6	Selektiivisyys .....	17
5.7	Jännitteenalenema .....	17
6	TASASÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUOJAUS.....	18
6.1	Vikasuojaus tasasähköverkossa.....	18
6.1.1	Eristystilan valvonta .....	18
6.1.2	Alijännitesuojaus.....	18
6.1.3	Akuston ja tasasuuntaajan suojaus.....	18
7	VARMENNETUN VAIHTOSÄHKÖVERKON SELVITYS.....	19
7.1	Varmennetun verkon rakenne.....	19

7.1.1	Varavoimageneraattori .....	19
7.1.2	Verkon normaali sähkönsyöttö .....	20
7.1.3	Varmennetun verkon keskus V01-17 .....	20
7.1.4	Varmennetun verkon ryhmäkeskukset .....	21
7.1.5	Verkkoon liitetyt laitteet.....	22
7.2	Verkon mitoituksen tarkistus.....	24
7.2.1	Verkon kuormituksen arviointi .....	24
7.2.2	Ylikuormitussuojaus .....	26
7.2.3	Kaapeleiden kuormitettavuus .....	27
7.2.4	Suojalaitteiden katkaisukyky .....	29
7.2.5	Syötön nopean poiskytkennän toteutuminen .....	32
7.2.6	Suojalaitteiden selektiivisyys .....	35
7.2.7	Jännitteenalenema .....	37
7.3	Varmennetun verkon kehitysehdotukset .....	39
7.4	Yhteenveto varmennetusta vaihtosähköverkosta .....	39
8	TASASÄHKÖVERKON SELVITYS .....	41
8.1	Verkon kartoitus .....	41
8.1.1	DCC-keskus .....	42
8.1.2	Vanha DC-keskus .....	42
8.2	Verkon mitoituksen tarkastus.....	45
8.2.1	Akuston ja varaajan tuottama oikosulkuvirta .....	45
8.2.2	DC-keskusten kiskoston oikosulkuvirta.....	46
8.2.3	DC-keskusten kaapelilähtöjen oikosulkuvirta .....	47
8.2.4	DC-keskusten kaapelilähtöjen jännitteenalenema .....	49
8.3	Tasasähköverkon kehitysehdotukset .....	51
8.4	Yhteenveto akustovarmennetusta tasasähköverkosta .....	51
9	YHTEENVETO.....	52

LÄHTEET

LIITTEET

LIITE 1. VARMENNETUN VERKON KUORMITUS

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan Yara Suomi Oy:n Siilinjärven-tehtaiden rikkihappo- ja energiatuotantoyksikön varmennettuun verkkoon. Varmennettu verkko koostuu varmennetusta vaihtosähköverkosta sekä akustovarmennetusta tasasähköverkosta. UPS-varmennettu sähkönsyöttö on myös osa varmennettua sähkönjakelua, mutta tässä työssä se on rajattu pois aiheen laajuuden takia.

Tarve selvitystyölle tuli, koska varmennetussa verkossa on vuosien aikana tapahtunut muutoksia ja työn toimeksiantaja haluaa päivitetyn tiedon verkon nykytilanteesta. Työssä kartoitetaan verkkoon liitetyt prosessipositiot ja laitteet sekä tarkistetaan verkon mitoitus laskemalla. Laskennalla tarkastetaan vaihtosähköverkossa verkon kuormitus, kaapeleiden kuormitettavuus, jännitteenalenema, ylivirta- ja oikosulkusuojauksen toiminta sekä suojalaitteiden selektiivisyys. Tasasähköverkossa tarkastetaan laskemalla verkon vikasuojaus ja jännitteenalenemat. Lopuksi pohditaan mahdollisia parannusehdotuksia.

Opinnäytetyön pohjalta luodaan periaatekaaviot sähkönjakelusta ja verkkoon liitetyistä laitteista sekä parannus- ja korjausehdotuksia verkon kehittämiseksi. Selvityksen pohjalta toimeksiantajalla on tieto varmennetun verkon nykytilasta ja se pystyy sen perusteella suunnittelemaan verkkoon tehtäviä mahdollisia investointeja tulevaisuudessa.

## 2 YARA INTERNATIONAL ASA

Yara International ASA on globaali kemianalan yritys, joka valmistaa ja markkinoi muun muassa ki-  
vennäislannoitteita, typpipohjaisia kemikaaleja teollisuuskäyttöön sekä ympäristönsuojeluun käytet-  
täviä tuotteita. Yara International ASA on perustettu vuonna 1905 nimellä Norsk Hydro. Yaralla on  
toimintaa yli 50 maassa ja työntekijöitä noin 7 600. (Yara 2013a.)

### 2.1 Yara Suomi Oy

Suomessa Yara Suomi Oy tunnettiin ennen nimellä Kemira GrowHow Oyj, kunnes Yara International  
ASA osti sen vuonna 2008. Yaralla on Suomessa neljä tuotantolaitosta, jotka sijaitsevat Uudessa-  
kaupungissa, Harjavallassa, Kokkolassa sekä Siilinjärvellä, jossa toimii myös Länsi-Euroopan ainoa  
fosfaattikaivos. Lisäksi Vihdissä sijaitsee Yara Suomen Kotkaniemen tutkimusasema. Yara työllistää  
Suomessa noin 900 henkilöä valmistuksen, tuotekehityksen, myynnin sekä markkinoinnin parissa.  
(Yara 2013b.)

### 2.2 Yara Suomi Oy, Siilinjärvi

Siilinjärven tehtailla valmistetaan lopputuotteina lannoitteita sekä fosforihappoa. Siilinjärven tehtai-  
den tuotanto on jaettu neljään tuotantoyksikköön, joita ovat:

- rikkihappo- ja energiantuotanto
- fosforihappotuotanto
- lannoitetuotanto
- apatiitintuotanto.

Lannoitetuotantoyksikössä valmistetaan NPK-lannoitteita lähinnä kotimaan viljelyksiin. Fosforihappo-  
tuotantoyksikössä valmistetaan lopputuotteena fosforihappoja eri teollisuuden aloille sekä lannoite-  
tuotannon raaka-aineeksi. Apatiittituotantoon kuuluvat kaivos ja rikastamo, jossa valmistetaan apa-  
tiittirikastetta fosforihapon valmistuksen pääraaka-aineeksi.

Rikkihappo- ja energiantuotannossa tuotetaan rikkihappoa, typpihappoa, prosessohöyryä sekä säh-  
köä lannoite- ja fosforihappotuotannon tarpeisiin. Rikkihappo- ja energiantuotantoon kuuluvat:

- voimalaitos
- vesilaitos
- pasutot 1, 2 ja 3
- rikkihappotehtaat 1 ja 2
- rikinpolttolaitos
- typpihappotehdas
- ammoniakkivarasto
- raakavesipumppaamo
- saniteettivedenpuhdistamo.

Pasutoilla tuotetaan rikkihapon valmistukseen tarvittava rikkidioksidi ( $\text{SO}_2$ ) sekä voimalaitoksen tar-  
vitsema höyry. Pasuttojen uuneissa poltetaan pyriittiä eli rikkikiisua ( $\text{FeS}_2$ ), josta vapautuu poltetta-  
essa rikkidioksidia ( $\text{SO}_2$ ) ja lämpöä. Poltossa syntyvällä lämmöllä lämmitetään kattilassa kiertävää  
vettä, josta valmistetaan höyryä voimalaitokselle. (Pihkala 2011, 198.)



Rikinpolttolaitoksella rikkidioksidista ( $\text{SO}_2$ ) valmistetaan polttamalla sulaa rikkiä (S) ilman ( $\text{O}_2$ ) kanssa. Sula rikki toimitetaan öljynjalostamoilta, joissa se syntyy bensiinin valmistuksen sivutuotteena. Poltossa syntyvä lämpö otetaan talteen ja hyödynnetään kaukolämpönä. (Pihkala 2011, 198.)

Rikkihappotehtailla pasutoilta tuleva rikkidioksidikaasu ( $\text{SO}_2$ ) aluksi pestään pesuosastolla kaasunpesutorneissa sekä märkäsähkösuotimissa. Pesu tehdään laimealla rikkihapolla, minkä jälkeen kaasu kuivataan vahvalla hapolla ja johdetaan rikinpolttolaitokselta tulevan kaasun ohella pääkaasupuhaltimille. Kaasu johdetaan kontaktiparaatille, jossa se hapetetaan rikkiatrioksidikaasuksi ( $\text{SO}_3$ ) ja imeytetään vahvaan rikkihappoon. Valmis rikkihappo ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) laimennetaan vedellä haluttuun väkevyyteen ja pumpataan varastosäiliöön. Rikkihaposta suurin osa menee fosforihapon ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) valmistukseen pääraaka-aineeksi. Rikkihapon valmistuksessa syntyy myös lämpöenergiaa, joka hyödynnetään kaukolämpönä. (Pihkala 2011, 199 - 203.)

Ammoniakkiasemalla junakuljetuksilla tehtaalle kuljetettu ammoniakki ( $\text{NH}_3$ ) puretaan junavaunuita, varastoidaan ja jaetaan typpihappotehtaan ja lannoitetehtaan tuotannon raaka-aineiksi.

Typpihappo valmistetaan polttamalla ammoniakkihöyryn ( $\text{NH}_3$ ) ja ilman ( $\text{O}_2$ ) seosta, jolloin syntyy typpioksidikaasua ( $\text{NO}_x$ ). Poltossa syntyvä lämpöenergia käytetään hyödyksi voimalaitoksella ja syntynyt typpioksidi hapetetaan typpidioksidiksi ( $\text{NO}_2$ ) ja imeytetään veteen typpihapoksi ( $\text{HNO}_3$ ). Typpihappoa käytetään lannoitetehtaalla lannoitteiden valmistukseen. (Pihkala 2011, 193.)

Voimalaitoksella tuotetaan sähköä, prosessihöyryä ja kaukolämpöä. Voimalaitoksen sähköntuotanto vastaa noin puolet tehtaiden sähkönkulutuksesta. Voimalaitoksen tarvitsema höyry tuotetaan pasutojen ja typpihappotehtaan polttoprosesseissa.

### 3 TEOLLISUUDEN VARMENNETTAVAT TOIMINNOT

Prosessiteollisuudessa ja erityisesti kemianteollisuudessa varmennetun verkon toiminnalla on todella tärkeä merkitys. Kemianteollisuuden tuotantoprosessien hallitsematon sähkönsyötön katkeaminen voi aiheuttaa ympäristövahinkoja, laitevaurioita ja henkilövahinkoja. Prosesseissa, joissa käsitellään syövyttäviä kaasuja, happoja ja korkeapaineisia höyryjä, täytyy tärkeimmät toimilaitteet kartoittaa tarkasti ja miettiä niiden varmennustapa poikkeustilanteissa. Koko prosessin varmentaminen ei ole välttämätöntä, mikäli prosessin alasajo ei aiheuta merkittävää taloudellista menetystä tai henkilöturvallisuuden ja ympäristövahinkojen riskiä.

Teollisuusprosessin varmennus vaatii asiantuntemusta prosessista sekä kokemusta ja näkemystä mahdollisista vaara- ja riskitekijöistä. Lisäksi huomioitavaa on myös, että prosessin varmennus ei keskity pelkästään sähkönsyötön turvaamiseen, vaan siihen liittyy myös automaatiojärjestelmien toimintaa valvovat turvallisuuteen liittyvät järjestelmät (TLJ) sekä prosessilaitteet, jotka ovat riippumattomia sähkönsyötöstä ja automaatiojärjestelmän ohjauksista, kuten esimerkiksi diesel- ja turbiinikäyttöiset pumput.

Kokonaisuutena teollisuuden varmennetun verkon toiminnan suunnittelu ja kehittäminen on monen alan asiantuntijan yhteistyön tulos. Varmennettu verkko vaatii määräajoin tarkastelua ja verkon tiedon ylläpitoa. Tieto täytyy myös jakaa prosessia ylläpitäville ja huoltaville henkilöille.

## 4 VARMENNETUN SÄHKÖNSYÖTÖN JÄRJESTELMÄTYYPIT

### 4.1 Turvasyöttöjärjestelmä

Turvasyöttöjärjestelmän tarkoituksena on varmistaa ihmisen turvallisuudelle tärkeiden laitteiden toiminta. Turvasyöttöjärjestelmä sisältää jännitelähteen ja johdon varmennettavalle kojeelle saakka sekä tietyissä tapauksissa myös varmennettavan kojeen. Turvasyöttöjärjestelmä on toiminnaltaan joko automaattinen tai erikseen käynnistettävä. Turvasyöttöjärjestelmien automaattiset kytkeytymisajat määritellään seuraavasti:

- katkeamaton
- hyvin lyhyt katko (alle 0,15 s)
- lyhyt katko (alle 0,5 s)
- keskipitkä katko (alle 15 s)
- pitkä katko (yli 15 s).

Turvasyöttöjärjestelmien tehonlähteet täytyy mitoittaa ylläpitämään syöttöä riittävän pitkäksi aikaa ja laitteisto on lisäksi suojattava palolta riittävän pitkäksi aikaa, mikäli laitteen on toimittava tulipalon aikana. Kytkeytymisaikaluokat ja kuormituskyky on määritelty standardeissa ja viranomais määräyksissä ja ne on tarkasteltava tapausittain. (Sähkötieto ry 2005, 53 - 54.)

Turvasyöttöjärjestelmää käytetään tyyppisesti normaalin jakeluverkon rinnalla. Tällaisia järjestelmiä ovat mm. turvalaistusrjestelmä sekä automaattiset paloilmoin- ja palovaroitinjärjestelmät. Tehonlähteinä käytetään mm. akustoja, paristoja, normaalista sähkönsyötöstä riippumattomia generaattoreita sekä normaalista syötöstä riippumatonta erillistä jakeluverkon syöttöä. (Sähkötieto ry 2005, 53 - 54.)

### 4.2 Varavoimajärjestelmä

Varavoimajärjestelmän tarkoituksena on varmistaa asennuksen tai sen osan toiminnan jatkuminen muista kuin henkiköturvallisuuden liittyvistä syistä normaalin sähkönsyötön keskeytyessä (Sähkötieto ry 2005, 57).

Varavoimajärjestelmätyypit jaetaan katkottomaan ja katkolliseen sähkönsyöttöön. Katkoton sähkönsyöttö toteutetaan UPS-järjestelmillä ja katkollinen sähkönsyöttö automaattisesti tai käsin käynnistettävällä varavoimajärjestelmällä. (Sähkötieto ry 2005, 57 - 58.)

#### 4.2.1 UPS (Uninterruptible Power System)

UPS on keskeytymättömän tehon järjestelmä, joka syöttää kriittisille kuormille häiriötöntä ja katkeamatonta vaihtosähköä. UPS-järjestelmä koostuu UPS-laitteesta tai rinnankytketyistä UPS-laitteista, keskuksista ja varmennetun sähkön keskuksista. UPS-laite käyttää normaalitilanteessa syöttävän sähköverkon energiaa ja syöttävän sähköverkon jakelukeskeytyksessä laitteiston akustoon varastoitunutta energiaa. Perustoimintoihin kuuluu vaihtosähkön muuttaminen tasasähköksi ja ta-

tasasähkön muuttaminen vaihtosähköksi puolijohdesiltasuuntauksella sekä automaattinen UPS-laitteen ohitustoiminto ylikuormitus- ja vikatilanteissa. (ST 52.35.01, 2010.)

#### 4.2.2 Varavoimajärjestelmä

Varvoimageraattoreita käytetään kiinteiden sähköasennusten syöttöön sekä tilapäisten sähköasennusten syöttöön, joilloin siirrettävästä varvoimageraattorista käytetään nimitystä aggregaattori. Varvoimajärjestelmien tehonlähteenä käytetään yleensä polttomoottoreita, turbiineja ja sähkömoottoreita, joista polttomoottorilla toteutetut dieselgeneraattorit ovat yleisimpiä varvoimakäytössä. Toiminnaltaan generaattorilaitteistot jaetaan saarekkeessa toimiviin generaattoreihin, katkotta verkkosyöttöön palautuviin generaattoreihin ja jakeluverkon rinnalla toimiviin generaattoreihin. Saarekkeessa toimivat varvoimajärjestelmät ovat yleisin toteutustapa, ja siinä varmennettava verkko irtaantuu normaalista jakeluverkosta omaksi saarekkeekseen, kun varvoimakone on käytössä. Katkotta verkkosyöttöön palautuvia järjestelmiä käytetään tilanteissa, joissa halutaan välttää sähkönjakelukatkos verkon palauduttua. Jakeluverkon rinnalla toimivia varvoimalaitoksia käytetään tilanteissa, joissa tarvitaan katkoton verkkosyötön paluu, varvoimakoneen koekäyttö verkon rinnalla sekä huipunajomahdollisuus. (Sähkötieto ry 2005, 57 - 58.)

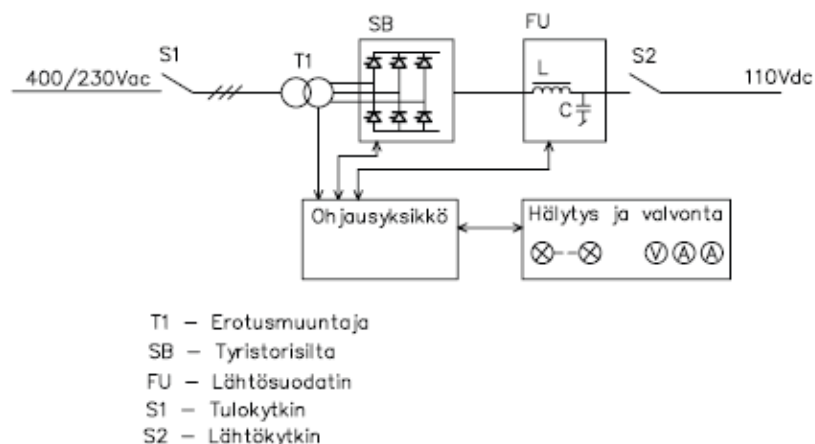
#### 4.3 Varmennettu tasasähköverkko

Varmennettu DC-verkko koostuu tasasuuntaajalaitteistosta ja sitä varmentavasta akustosta sekä varvoimajärjestelmästä, jolla turvataan sähkönsyöttö pitkien sähkönjakelukatkojen aikana (Sähkötieto ry 2005, 58 - 59).

Tasasähköjärjestelmiä käytetään viestintäverkon ja automaation tehonsyötössä sekä sähkölaitosten ja teollisuuden apujärjestelmien tehonsyötössä. Viestintäverkon järjestelmien jännitteinä käytetään 48 VDC tai 24 VDC, automaatiojärjestelmien jännitteinä 24 VDC tai 60 VDC ja sähkölaitosten ja teollisuuden apujärjestelmien jännitteinä 110 VDC tai 220 VDC. (Sähkötieto ry 2005, 80.)

##### 4.3.1 Sähkölaitosten ja teollisuuden tasasähköjärjestelmät

Sähkölaitosten ja teollisuuden tasasähköjärjestelmien tasasuuntaus on yleensä toteutettu tyristoritasasuuntaajilla. Tasasuuntaaja sisältää galvaanisesti erotetun tulomuuntajan, tasasuuntaussillan ja tasajännitteen LC-suotimen (kuva 1). Suuntaajien lähtöjännitteet ovat tyypillisesti 110 VDC tai 220 VDC. Tasasuuntaajat syöttävät kriittisiä tasavirtakuormia ja lataavat järjestelmän akkuja. (Sähkötieto ry 2005, 82.)



KUVIO 1. Periaatekaavio 110 VDC tystorisuuntaajasta (Sähkötieto ry 2005, 83.)

#### 4.3.2 Tasasähköjärjestelmien tehonlähteet

Tasasähköjärjestelmien tehonlähteinä käytetään yleensä suljettuja paikallisakkuja, sekä avoimia akustoja. Avoimet lyijyakustot ovat yleisempiä tehonlähteitä teollisuuden tasasähköjärjestelmissä ja ne vaativat niille varatun erillisen akkuhuoneen. Ne ovat luotettavia ja pitkäikäisiä, sekä niiden kunnonvalvonta on mahdollista mittaamalla elektrolyytin ominaispaino, akun jännite ja elektrolyytin pinnan korkeus. (Sähkötieto ry 2005, 86.)

Suljetut paikallisakut eivät tarvitse erillistä akkuhuonetta, ja niiden sijoitusmahdollisuudet ovat vapaammat kuin avoimien lyijyakujen. Suljetut lyijyakut voi asentaa esimerkiksi akkukaappeihin ja avotelineisiin lukittussa sähkötilassa. Suljetun akun tehotehous on hyvä ja lyhyillä purkausajoilla akun kapasiteetti on hyvin käytettävissä, joten niiden tyypillisiä käyttökohteita ovat esimerkiksi UPS-akustot. (Sähkötieto ry 2005, 84.)

## 5 VARAVOIMAJÄRJESTELMÄN MITOITUS JA SUOJAUS

Varmennetun jakeluverkko toiminta on joko yhtenäinen normaalin jakeluverkon kanssa tai osa normaalilla jakeluverkkoa. Varavoimalla toteutetun sähkönsyötön suojaukseen pätevät samat ehdot kuin normaalilla jakeluverkolla. Termisen ja mekaanisen lujuuden on vastattava suunnittelulta ja toteutukseltaan verkon kuormitusvirtoja ja verkossa esiintyviä maasulku- ja oikosulkuvirtoja. (Sähkötieto ry 2005, 151.)

Varmennetun verkon suojauksen on täytettävä turvallisuuden edellyttämät vaatimukset toiminnalta ja toiminta-ajoilta. Suojauksen toiminnassa tärkein tavoite käytön kannalta on saada kuormituksena olevat laitteet toimimaan mahdollisimman häiriöttömästi. (Sähkötieto ry 2005, 151.)

### 5.1 Mitoitusarvot

Mitoitusarvot eli verkon kuormitus on sähköjärjestelmän mitoituksen tärkein tieto ja sen pohjalta luodaan toimiva ja turvallinen kokonaisuus. Kuormituksen arvioinnissa täytyy arvioida laitteiden yhteisteho ja huomioida tasoituskertoimen eli kuormituksen eriaikaisuus. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2004a, 13.)

### 5.2 Ylikuormitussuojaus

Virtapiiri on varustettava ylikuormitussuojalla, jolla ehkäistään ylikuormituksen aiheuttamat lämpövauriot johtimien eristeissä, jatkoksissa ja asennusympäristössä. Johtojen ylikuormitussuojaukseen käytetään yleensä sulakkeita, johdonsuojakatkaisijoita tai katkaisijoita. Johdinta ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen ominaisuuksien on täytettävä seuraavat ehdot:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (1.)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_Z \quad (2.)$$

jossa  $I_B$  on virtapiirin mitoitusvirta  
 $I_Z$  on johtimen kuormitettavuus  
 $I_n$  on suojalaitteen nimellisvirta  
 $I_2$  on virta, jolla suojalaite toimii sille määrättyssä toiminta-ajassa.

(Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2004a, 31.)

#### 5.2.1 Ylikuormitussuojaus sulakkeilla

Sulakkeilla ylempi toimintarajavirta on suurempi kuin 1,45 kertaa sulakeen nimellisvirta, joten ylikuormitussuojausta ei suoraan voi valita johdon kuormitettavuuden mukaan. Mitoituksessa käytetään kaavaa

$$k * I_n \leq 1,45 * I_Z \quad (3.)$$

jossa  $I_n$  on suojalaitteen nimellisvirta  
 $I_z$  on johtimen kuormitettavuus  
 $k$  on sulakkeen ylempään toimintarajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde.  
 (Sähkötieto ry 2005, 153.)

Sulakesuojaukseen käytetään kahva- ja tulppasulakkeita, joiden käyttöluokat merkitään sulakkeen rungossa olevilla kirjainlyhenteillä, joita ovat:

1. kirjain

- g tarkoittaa kokoaluesuojauksia, eli ylivirta- ja oikosulkusuojausta
- a tarkoittaa osa-aluesuojauksia, eli yleensä oikosulkusuojausta

2. kirjain

- G tarkoittaa kaapeli- ja johdinsuojajaa
- M tarkoittaa moottoriin suojausta
- R tarkoittaa puolijohdesuojajaa
- Tr tarkoittaa muuntajapiireille tarkoitettua suojausta.

(Kallio ja Mäkinen 2004, 94.)

## 5.2.2 Ylikuormitussuojaus johdonsuojakatkaisijoilla

Käytettäessä B-, C- ja D-tyyppien johdonsuojakatkaisijoita joiden terminen rajavirta on 1,45 kertaa suojalaitteen nimellisvirta ylikuormitussuoja voidaan valita johdon kuormitettavuuden perusteella. Eli jos johdon kuormitettavuus on 10 A, valitaan ylikuormitussuojaksi 10 A johdonsuojakatkaisija. K-tyyppien johdonsuojalla terminen rajavirta on 1,20 kertaa suojalaitteen nimellisvirta, joten se antaa B-, C- ja D-tyyppien johdonsuojia paremman ylikuormitussuojauksen. (Sähkötieto ry 2005, 153.)

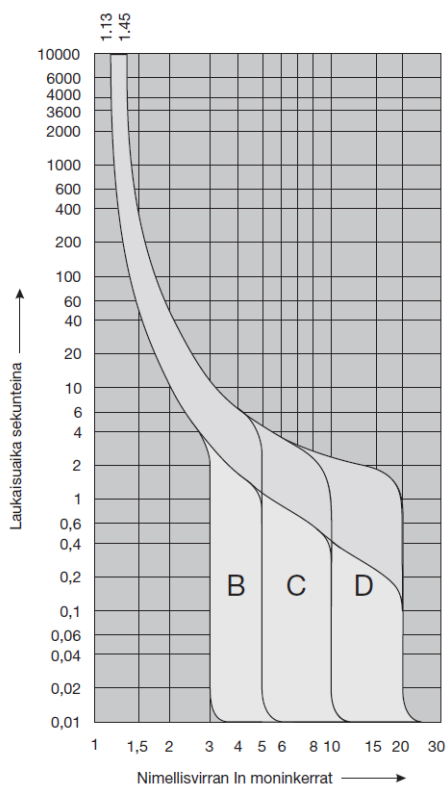
Johdonsuojakatkaisijan soveltuvat laukaisukäyrien perusteella seuraaviin sovellutuksiin:

- B-tyyppien johdonsuoja sopii resistiiviselle kuormalle kuten lämmitys ja valaistus
- C-tyyppien johdonsuoja lievästi induktiiviselle ja kapasitiiviselle kuormitukselle
- D-tyyppien johdonsuoja voimakkaasti induktiivisille tai kapasitiivisille kuormille
- K-tyyppien johdonsuoja mm. instrumentoinnille, moottoreille ja muuntajille
- Z- ja A-tyyppien johdonsuoja soveltuu puolijohteiden ja mittamuuntajien suojaukseen.

(Sähkötieto ry 2005, 153.)

TAULUKKO 1. Johdonsuojakatkaisijoiden rajavirrat ja toiminta-ajat (Sähkötieto ry 2005, 154.)

	Ylikuormitussuojaus		Oikosulkusuojaus	
	pito, >1 h, x $I_n$	laukaisu, <1 h, x $I_n$	pito, >100 ms, x $I_n$	laukaisu, <100 ms, x $I_n$
B	1,13	1,45	3	5
C	1,13	1,45	5	10
D	1,13	1,45	10	20
K	1,05	1,2	8	12
Z	1,05	1,2	2	3
A	1,13	1,45	2	3



KUVA 2. Johdonsuojakatkaisijoiden laukaisukäyrät (Hager.)

### 5.3 Johdon mitoitus

Kaapelin poikkipinta mitoitetaan piirin kuormitusvirran mukaan. Kaapelin kuormitettavuus täytyy olla suurempi kuin piirin mitoitusvirta, koska ylivirta aiheuttaa johdossa lämpenemää. Ylilämpö aiheuttaa johdon eristemateriaalin vanhenemista ja pahimmassa tapauksessa tulipalon. Kaapelin kuormitettavuuteen vaikuttaa kaapelin johdin- ja eristemateriaali, asennusympäristön lämpötila, asennustapa sekä muiden virtapiirien läheisyys. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2004b, 125.)

### 5.4 Oikosulkusuojaus

Virtapiiri täytyy varustaa oikosulkusuojalla, joka katkaisee oikosulkuvirran, ennen kuin se aiheuttaa johtimissa ja liitoksissa vaurioita ja vaaraa ympäristölle. Oikosulkusuojaukseen tarkoitetun suojalaitteen katkaisukyky ei saa olla pienempi kuin asennuspaikalla esiintyvä suurin oikosulkuvirta. Mikäli katkaisukyky ei ole riittävä, täytyy suojalaitteen syöttöpuolelle sijoittaa toinen suojalaite jonka katkaisukyky riittää. Tällöin on varmistettava, että suojalaitteiden läpi kulkeva energia ( $I^2t$ ) ei ylitä kuormituspuolen suojalaitteen ja suojattavien johtimien vahingoittumatta kestäväää arvoa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2004b, 134 - 135.)

Jos samaa suojalaitetta käytetään sekä ylikuormitussuojaukseen että oikosulkusuojaukseen, ei oikosulkusuojauksen toteutumista tarvitse yleensä erikseen muulla tavalla varmistaa mikäli suojalaite täyttää ylikuormitussuojauksen vaatimukset. Tällöin riittää, että suojalaitteen katkaisukyky on riittävä. Jos sen sijaan oikosulkusuojana käytetään erillistä suojalaitetta, jonka nimellisvirta on ylikuormi-



tussuojan nimellisvirtaa suurempi, täytyy oikosulkusuojan sopivuus erikseen varmistaa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2004b, 135.)

500 V Tulppasulakkeiden katkaisukyky on 20 kA ja kahvasulakkeiden katkaisukyky on 50 kA, mikäli katkaisukykyä ei ole erikseen ilmoitettu. Johdonsuojakatkaisijoiden katkaisukyky standardiarvoja ovat 1,5 kA, 3 kA, 6 kA ja 10 kA. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2004b, 135.)

## 5.5 Syötön nopea poiskytkentä

Syötön automaattisella poiskytkennällä pyritään poistamaan eristysvian aiheuttama vikavirta ja syntyvä kosketusjännite niin nopeasti, ettei siitä aiheutuisi vaaraa ihmisille. Sähkölaitteiston suurimmat vian poiskytkentäajat 400 V TN-järjestelmässä ovat

- alle 32 A ryhmäjohtoilla 0,4 s
- yli 32 A ryhmäjohtoilla ja pääjohtoilla 5,0 s.

(Sähkötieto ry 2005, 171 – 172.)

Suojauksen toimivuus tulee selvittää suunniteltaessa sähkölaitteistoa. Tämä edellyttää sähkölaitteistossa esiintyvän pienimmän oikosulkuvirran määrittämistä sekä normaalissa verkossa että varmennetussa verkossa. Vikavirran laskeminen edellyttää, että tunnetaan syöttävän verkon tai jännitelähteen impedanssi, kaapelien impedanssit ja pituudet sekä sulakkeiden ja johdonsuojakatkaisijoiden toimintarajavirrat, joiden avulla tarkistetaan poiskytkentäajat. (Sähkötieto ry 2005, 172.)

## 5.6 Selektiivisyys

Suojalaitteiden selektiivisyydellä varmistetaan, että suojalaite toimii ainoastaan sen varsinaisella suojausalueella sattuvissa ylikuormitus- tai oikosulkutilanteissa. Täydellisen selektiivisyyden saavuttaminen ei ole aina tarpeen, sillä se voi joskus aiheuttaa kohtuutonta ylimitoitusta. Selektiivisyyden toteaminen laskemalla vaatii tarkkoja tietoja suojalaitteiden toimintaominaisuuksista. Käytännössä laskelmia ei kannata tehdä käsin, vaan parhaiten selektiivisyyden voi tarkistaa valmistajien ohjeista ja taulukoista. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2004b, 146.)

## 5.7 Jännitteenalenema

SFS 6000:ssa on suositeltu, ettei jännitteenalenema saisi olla sähkölaitteiston liittymiskohdan ja sähkölaitteen välillä suurempi kuin 4 % sähkölaitteiston nimellisjännitteestä. Suurempi jännitteenalenema voidaan hyväksyä moottoreiden käynnistyksessä ja laitteilla, joiden kytkentävirta suuri. (SFS 6000-5-525, 2007.)

## 6 TASASÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUOJAUS

Tasasähköjärjestelmä on merkittävä osa voimalaitoksen ja teollisuuden suojausjärjestelmää. Tasasähköjärjestelmää on suojattava ja valvottava huolellisesti ja sille edellytetään tietyin osin varmennusta ja varajärjestelyjä. (Mörsky 1992, 339.)

### 6.1 Vikasuojaus tasasähköverkossa

Tasasähköjärjestelmien oikosulkuvirtalähteinä ovat akut ja varaajat. 110 VDC ja 220 VDC tasasähköjärjestelmät ovat tyypillisesti maasta erotettuja IT-järjestelmiä, joten oikosulkusuojien täytyy olla 2-napaisia. (Sähkötieto ry 2005, 165.)

#### 6.1.1 Eristystilan valvonta

Maasta erotetuissa tasasähköjärjestelmissä verkon ensimmäinen maasulku ei aiheuta jakelun keskeytystä. Järjestelmän eristystilan valvonnassa käytetään tavallisesti akuston keinotekoisien keskipisteen ja maan välille kytkettyä maasulkurelettä. Maasulkureleen on kyettävä toimimaan herkästi myös apureleen ja sitä ohjaavan koskettimen välisessä maasulussa koskettimen ollessa auki. (Mörsky 1992, 341.)

#### 6.1.2 Alijännitesuojaus

Tasasähköjärjestelmän jännitteen häviämisestä on saatava alijännitehälytys. Alijännitesuojaus toteutetaan alijännitereleellä, joka valvoo akuston jännitettä ja hälyttää jännitteen pudotessa alle raja-arvon. Alijännitesuojauksen tulee olla hidastettu niin, ettei se aiheuta toimintaa hetkellisissä kuormitustilanteissa joiden vaikutuksesta jännite pienentyy hetkeksi. Alijännitesuojauksen hälytysjännite on otettava eri lähteestä kuin suojaus. (Mörsky 1992, 341.)

#### 6.1.3 Akuston ja tasasuuntaajan suojaus

Akusto ja tasasuuntaajan suojaus toteutetaan kahvasulakkeilla, joiden toiminnasta tulee hälytys. Tasasuuntaajan lähdön sulakkeet mitoitetaan suojaamaan lähinnä suuntaajan takasyötöltä, joka syntyy suuntaajan sisäisestä viasta. Järjestelmän tärkeimmät suojat ovat akuston pääsulakkeet, joiden on oltava selektiivisiä pääjakelun kanssa ja mahdollisesti myös tasasuuntaajan lähdön sulakeiden kanssa. Akuston pääsulakkeet on sijoitettava mahdollisimman lähelle akuston napoja ja napojen sulakkeet sijoitetaan eri koteloihin. Akuston pääsulakkeiden täytyy toimia myös akuston vajaavaruudessa riittävän nopeasti. (Mörsky 1992, 340.)

## 7 VARMENNETUN VAIHTOSÄHKÖVERKON SELVITYS

### 7.1 Varmennetun verkon rakenne

Varmennetun vaihtosähköverkon selvitys aloitettiin kartoittamalla verkon laajuus ja siihen liittyvät laitteet. Selvitettävä verkko sijaitsee Yaran Siilinjärven tehtaiden rikkihappo- ja energiatuotannon eli RET:n alueella. Varmennettu verkko on otettu käyttöön vuonna 1969. Varmennettu vaihtosähköverkko varmistaa sähkönsyötön RET:n alueen laitteille, joita tarvitaan normaalin sähkönjakelun häiriötilanteessa. Häiriötilanteen voi aiheuttaa esimerkiksi 110 kV jakeluvika, koska alueen voimalaitos tuottaa vain noin puolet koko tehdasalueen sähkönkulutuksesta. Varmennetulla verkolla ei varsinaisesti yritetä ylläpitää tehtaiden tuotantoa vaan varmistaa lähinnä alueen voimalaitoksen tuotannon turvallinen alasajo.

#### 7.1.1 Varavoimageneraattori

Varmennetun verkon varavoimakoneena on voimalaitoksella sijaitseva Siemensin 14 kVA:n 400 V 3-vaiheinen tahtigeneraattori (kuva 3). Generaattori saa käyttövoimansa sen samalle akselille yhdistetystä 13,2 kW:n tasavirtamoottorista. Tasavirtamoottorin sähkönsyöttö tapahtuu voimalaitoksen DC-keskuksesta, joka on yhdistetty 220 V:n varmennettuun tasasähköverkkoon. Varavoimakone tunnistaa verkon tilaa ja käynnistyy automaattisesti noin 1,5 s kuluttua verkkojännitteen hävittyä. Varavoimakonetta pystyy koestamaan myös normaalin sähkönsyötön ollessa käytössä.



KUVA 3. Varmennetun sähkönsyötön varavoimakone (valokuva Juha Heiskanen.)

### 7.1.2 Verkon normaali sähkönsyöttö

Varmennetun verkon normaali 400 V 3-vaiheinen sähkönsyöttö tapahtuu voimalaitoksen jakokeskuksesta VLC2.26 lähdöstä F39 (kuva 4). Lähdössä F39 on varmennetun verkon syötön pääsulakkeina 35 A gG-kahvasulakkeet ja liityntäkaapelina MCMK 3x16+16 mm<sup>2</sup>. VLC2.26-keskuksen sähkönjakelu on toteutettu TN-C-jakelujärjestelmän mukaisesti. VLC2.26-keskusta syöttää voimalaitoksen T03-jakelumuuntajan pääkeskus V02. T03-jakelumuuntaja on tyypiltään 1 MVA:n 10/0,4 kV Dyn11-kytkentäinen muuntaja.



KUVA 4. Normaali sähkönsyöttö keskukselta VLC2.26 (valokuva Juha Heiskanen.)

### 7.1.3 Varmennetun verkon keskus V01-17

Varavoimageneraattori ja normaalin sähkönsyöttö keskukselta VLC2.26 on liitetty varmennetun verkon keskukseseen V01-17 (kuva 5). Keskus V01-17 sisältää varavoimakoneen ohjauskytkenät, verkon vaihtokytkennät ja ryhmäkeskusten lähtöjen johdonsuojakatkaisijat (kuva 6). Verkon vaihto keskuksessa tapahtuu ristiinlukituilla kontakteilla. Keskuksen kannessa olevalla vaihtokytkimellä pystyy koestamaan varavoimageneraattoria käsikäytöllä. Keskuksen kannessa on myös jännite- ja virtamittari, joilla näkee generaattorin jännitteen ja voimakoneena olevan tasasähkömoottorin virran varavoimalla ja koestuksessa. Sähkönjakelu keskukselta ryhmäkeskuksille on toteutettu TN-C-jakelujärjestelmän mukaisesti.



KUVA 5. Varmennetun verkon keskus V01-17 (valokuva Juha Heiskanen.)

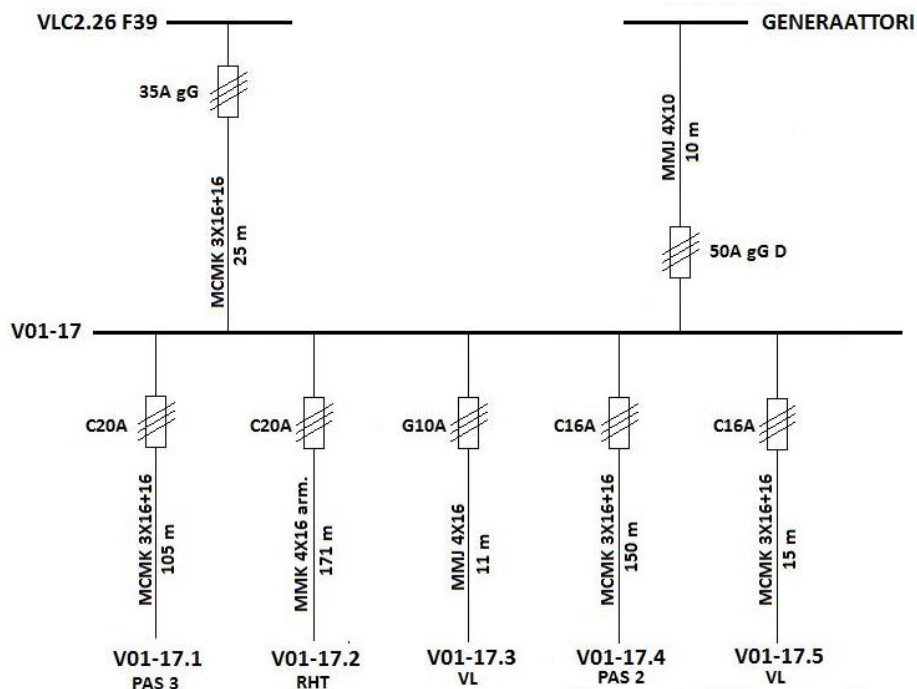


KUVA 6. Keskuksen V01-17 varavoimakoneen ohjauskytkennät (valokuva Juha Heiskanen.)

#### 7.1.4 Varmennetun verkon ryhmäkeskukset

Varmennetun verkon keskukselta V01-17 sähkönjakelu on toteutettu kuvion 7 mukaisesti viiteen ryhmäkukseen, jotka sijaitsivat:

- V01-17.1 pasutto 3:n sähkötilassa
- V01-17.2 rikkihappotehtaiden apuohjaamossa
- V01-17.3 voimalaitoksen toisen kerroksen sähkötilan relehuoneessa
- V01-17.4 pasutto 2:n toisen kerroksen sähkötilassa
- V01-17.5 voimalaitoksen toisen kerroksen sähkötilan relehuoneessa.

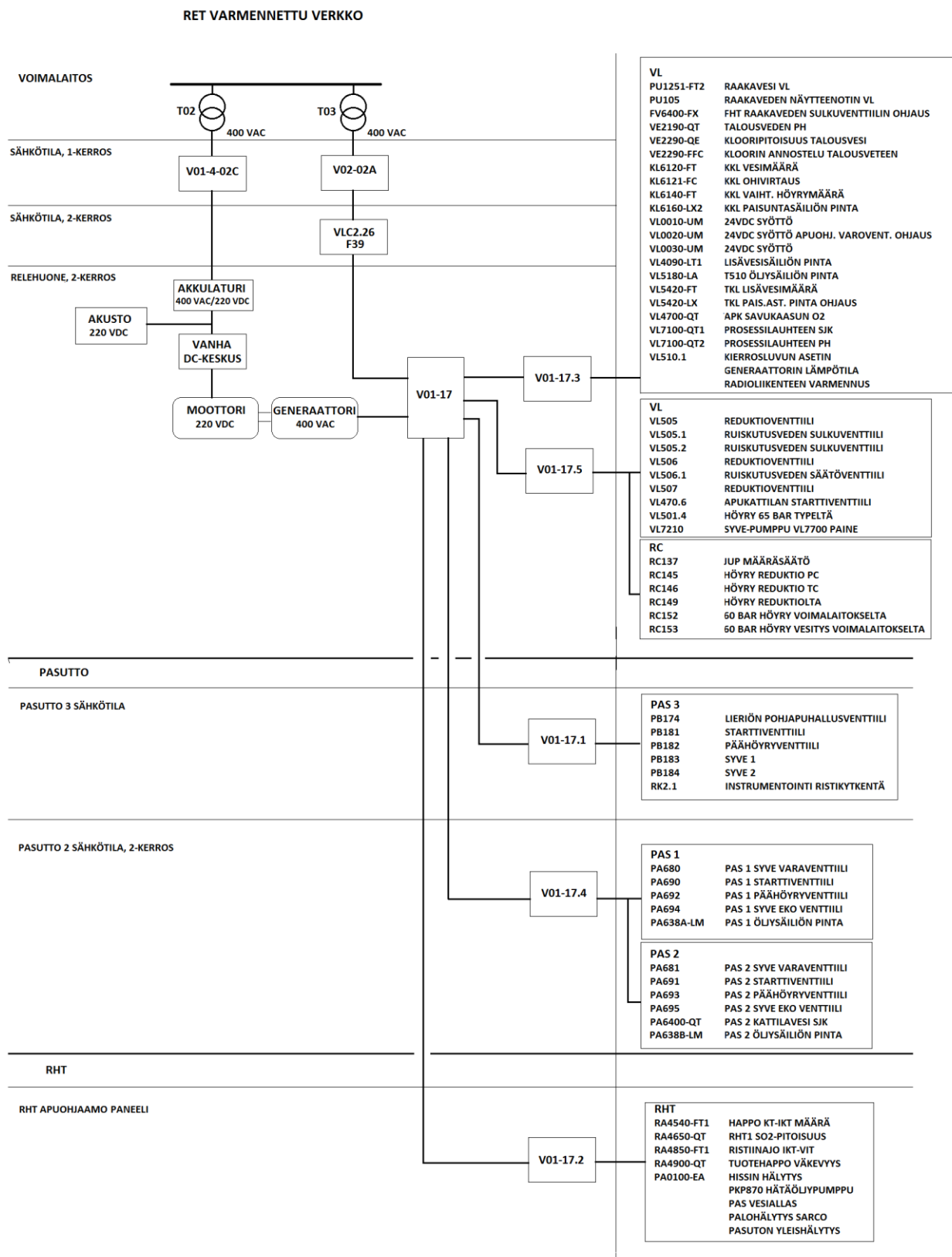


KUVIO 7. Varmennetun verkon sähköjakelukaavio

Ryhmäkeskuksilla sähköjakelu on toteutettu pääosin TN-S-järjestelmän mukaisesti lukuun ottamatta pasutto 3:n keskusta V01-17.1 ja voimalaitoksen instrumentointikeskusta V01-17.3, joissa sähköjakelu on toteutettu TN-C-jakelujärjestelmällä.

### 7.1.5 Verkkoon liitetyt laitteet

Kun sähköjakelu ryhmäkeskustasolle asti oli selvitetty, alkoi ryhmäkeskuksiin liitettyjen laitteiden selvitys. Kenttäselvitys oli työlästä dokumentoinnin puutteellisuuden vuoksi. Vanhimmissa ryhmäkeskuksissa sulakelähdöt oli positioitu vain osittain ja joillakin sulakelähdöillä oli tiedossa vain kaapelinumero. Kaapelinumeroiden ja laitepositioiden perusteella etsittiin vastaavat sähköpiirustukset Yaran tietokannasta. Kun kaikki positiot olivat selvillä, sai verkon rakenteesta piirrettyä lohkokaavioesityksen, joka on kuvan 8 mukainen.



KUVIO 8. Varmennetun 400 VAC verkon rakenne

Varmennettu verkko sisältää voimalaitosprosessin tärkeimpiä moottoritoimilaitteventtiileitä, rikkihappotehdas 2:n pääkaasupuhaltimen hätäöljypumpun, prosessi-instrumentointia sekä henkilöturvallisuuden liittyviä hälytysjärjestelmiä. Varmennetuilla moottoritoimilaitteilla (kuva 9) varmistetaan voimalaitoksen höyryntuotannon turvallinen alasajo ja PKP870-hätäöljypumpulla estetään RHT2:n

pääkaasupuhaltimen laitevahingot. Voimalaitoksen, pasuttojen ja RHT1:n prosessi-instrumentoinnilla valvotaan rikkihappotehtaan prosessin tilaa alasajossa ja alasajon jälkeisessä ylläpidossa.



KUVA 9. Bernard-moottoritoimilaite (Tallberg Tech Oy Ab.)

## 7.2 Verkon mitoituksen tarkistus

Verkon rakenteen ja laajuuden oltua tiedossa tarkistettiin verkon mitoitus. Mitoituksen tarkistuksella varmistettiin verkon kuormitettavuus ja suojauksen toiminta nykystandardien mukaisesti. Mitoitus tarkistettiin laskemalla ja siinä huomioitiin seuraavat vaiheet:

1. verkon kuormituksen arviointi
2. ylikuormitussuojaus
3. kaapeleiden kuormitettavuus
4. suojalaitteiden katkaisukyky
5. syötön automaattisen poiskytkennän toteutuminen
6. suojalaitteiden selektiivisyys
7. jännitteenalenema.

### 7.2.1 Verkon kuormituksen arviointi

Varmennettu verkko sisältää pääosin prosessi-instrumentoinnin virtalähteitä ja moottoritoimilaitteita, joiden moottorit ovat pienitehoisia alle 3 kW:n 3-vaiheisia oikosulkumoottoreita. Prosessin instrumentointi on jatkuvaa kuormitusta ja moottorikuorma jaksottaista kuormitusta. Kuormituksen huipputeho on varavoimageneraattorin käynnistyessä, jolloin prosessia valvovan operaattorin täytyy tehdä suurimmat prosessin hallintaan liittyvät toimenpiteet, minkä jälkeen kuormitus pienenee merkittävästi.

Jokaiselle varmennetun verkon keskukselle laskettiin kuormitusteho ja virta. Keskuksien moottorikuormitukset laskettiin niiden nimellistehon ja virran perusteella ja arvioitiin nimelliskuormituksen perusteella niiden todellinen huippukuormitus. Todellisen kuormituksen arvioinnissa selvitettiin prosessin alasajossa tarvittavat laitteet rikkihappo- ja energiatuotannon prosessiasiantuntijalta ja arvioitiin kuormitukselle tasauskerroin. Muu verkon jatkuva kuormitus mitattiin tehomittarilla keskuksen



VLC2.26 normaalin verkkosyötön lähdöstä ja lisättiin mittaustulokseen arvioitu kuormitus, joka kytkeytyy varavoimalla poikkeustilanteessa.

Pasutto 3:n keskukseseen V01-17.1 liitetty kuormitus oli lähes kokonaan moottoritoimilaitteita. Nimelisarvojen perusteella keskuksen yhteisteho oli 2,4 kW ja virta 6,2 A. Prosessin alajossa tarvittava todellinen maksimikuormitus oli 1,8 kW ja virta 4,1 A. Kaikki toimilaitteet eivät kuitenkaan toimi välttämättä aina yhtä aikaa, joten tasauskertoimella 0,8 kuormitukseksi keskukselle tuli 1,4 kW ja virraksi 3,3 A.

RHT:n apuohjaamon keskus V01-17.2 sisältää pääosin prosessi-instrumentointia yhden 0,55 kW:n hätäöljypumpun. Mittauksen sekä arvioidun kuormituksen perusteella instrumentoinnin ja muiden keskukseseen liitettyjen laitteiden kuormitus on 0,5 kW. Keskuksen kuormitus on jatkuvaa, joten arvioitu kuormitusteho keskuksella on 1,1 kW ja virta 1,9 A.

Voimalaitoksen keskuksella V01-17.3 on yksi 0,12 kW:n moottorilähtö ja muu kuormitus on lähes kokonaan instrumentoinnin virtalähteitä. Mitattu kuormitus ja siihen lisätty arvioitu teho on instrumentoinnilla noin 0,5 kW. Keskuksen kuormitus on jatkuvaa, joten keskuksen kuormitustehoksi tuli 0,6 kW ja virraksi 1,47 A.

V01-17.4-keskuksella pasutto 2:lla on lähes kokonaan moottorikuormitusta, jonka yhteisteho on 1,9 kW ja virta 8,2 A. Varavoimalla prosessin alajoon tarvittavien toimilaitteiden yhteisteho on 1,7 kW ja virta 7,0 A. Tasauskertoimella 0,8 keskuksen kuormitustehoksi tuli 1,4 kW ja virraksi 5,6 A.

Voimalaitoksen keskuksen V01-17.5 kuormitus on lähes kokonaan moottoritoimilaitteita, joiden yhteisteho on 7,7 kW ja virta 22 A. Prosessin alajossa tarvittavien toimilaitteiden yhteisteho on 5,3 kW ja virta 15,2 A. Tasauskertoimella 0,8 keskuksen kuormitusteho on 4,3 kW ja virta 12,1 A.

Varmennetun verkon kuormitusteho keskuksella V01-17 on ryhmäkeskusten kuormitukset yhteenlaskettuna 8,8 kW ja virta 24,3 A.

Näennäisteho  $S$  lasketaan 3-vaiheisessa vaihtosähköverkossa kaavalla

$$S = \sqrt{3} * U * I \quad (4.)$$

jossa  $\cos\varphi$  on tehokerroin  
 $U$  on pääjännite.

Näennäisteho verkossa on kaavalla 3 laskettuna

$$S = \sqrt{3} * 400 \text{ V} * 24,4 \text{ A} = 16904 \text{ VA} \approx 16,9 \text{ kVA} \quad (5.)$$

Verkon tehokerroin  $\cos\varphi$  voidaan laskea pätötehon  $P$  ja näennäistehon  $S$  avulla kaavalla

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (6.)$$

ja kaavaan 6 lukuarvot sijoitettuna verkon tehokertoimeksi  $\cos\phi$  tuli

$$\cos\phi = \frac{8,9 \text{ kW}}{16,8 \text{ kVA}} = 0,527 \approx 0,5 \quad (7.)$$

TAULUKKO 2. Verkon kuormitustehot ja virrat

	Keskus	Nimellinen huippukuormitus		Todellinen huippukuormitus		Tasattu kuormitus (tasauskerroin 0,8)	
		P (kW)	I (A)	P (kW)	I (A)	P (kW)	I (A)
voimalaitos	V01-17	13,8	39,8	10,6	29,7	8,9	24,4
pasutto 3	V01-17.1	2,4	6,2	1,8	4,1	1,4	3,3
RHT	V01-17.2	1,1	1,9	1,1	1,9	1,1	1,9
voimalaitos	V01-17.3	0,6	1,5	0,6	1,5	0,6	1,5
pasutto 2	V01-17.4	1,9	8,2	1,7	7,0	1,4	5,6
voimalaitos	V01-17.5	7,7	22,0	5,3	15,2	4,3	12,1

TAULUKKO 3. Varavoimageneraattorin nimellisarvot

S (kVA)	I <sub>N</sub> (A)	cosφ	P (kW)
14	20	0,8	11,1

Taulukossa 2 ilmoitetut tehot ovat suuntaa antavia, koska kuormitus on riippuvainen prosessin tilasta ja tarkan kuormituksen määrittäminen vaatisi pitkän aikavälin mittauksia ja mittaustietoa erityisesti verkon toiminnasta varavoimalla. Verrattaessa V01-17 keskuksen arvioitua kuormitusvirtaa generaattorin tuottamaan virtaan on kuormitusvirta yli generaattorin nimellisvirran (taulukko 3). Generaattorin tulisi olla mitoitettu hieman suuremmaksi kuin kuormitus, joten generaattorin vaihtamista tehokkaampaan tulisi harkita. Tilannetta voi korjata myös kompensoinnilla, jolla saa verkon tehokerrointa parannettua ja pienennettyä kuormitusvirtaa.

### 7.2.2 Ylikuormitussuojaus

Varmennetussa verkossa syöttävien kaapeleiden ylikuormitussuojaus oli toteutettu normaalin sähkönsyötön keskuksen VLC2.26 lähdössä kahvasulakkeilla ja varavoimasyötön kaapelilla generaattorin lämpöreleellä. Ryhmäkeskuksien syöttökaapelit keskuksella V01-17 oli suojattu johdonsuojakatkaisijoilla. Ryhmäkeskuksien ryhmäjohdoista moottoritoimilaitteet oli suojattu moottorisuojakytkimillä sekä lämpöreleillä ja instrumentointilaitteet instrumentointisulakkeilla ja johdonsuojakatkaisijoilla.

Arvioidun verkon kuormituksen perusteella pystyi tarkastamaan ylikuormitussuojauksen toteutuksen. Keskuksen V01-17 ja ryhmäkeskusten arvioidut kuormitusvirrat ja ylivirtasuojat on listattu taulukon 4.

TAULUKKO 4. Keskuksien lasketut kuormitusvirrat varavoimalla

		<b>Maksimi- virta</b>	<b>Kuormitusvirta</b>
<b>Keskus</b>	<b>Ylikuorm. suoja</b>	<b>I (A)</b>	<b>I (A)</b>
V01-17	20 A	29,7	24,4
V01-17.1	C20 A	4,1	3,3
V01-17.2	C20 A	1,9	1,9
V01-17.3	K10 A	1,5	1,5
V01-17.4	C16 A	7,0	5,6
V01-17.5	C16 A	15,2	12,1

Taulukosta 4 näkee että ylikuormitussuojien nimellisvirrat eivät ylitä kuormitusvirran arvoa missään ryhmäkeskuksessa. Keskuksen V01-17 kuormitusvirta on laskennan mukaan hieman suurempi kuin generaattorin lämpöreleen asettelu, mutta laskettu kuormitus kestää korkeintaan 15 minuuttia joten lämpörele ei välttämättä reagoisi virtarajan ylitykseen.

### 7.2.3 Kaapeleiden kuormitettavuus

Kaapeleiden mitoitus tarkistettiin määrittämällä asennetun kaapelin perusteella kaapelin kuormitettavuus ja sen suurin sallittu ylivirtasuoja. Kaapeleiden kuormitettavuudet on laskettu D1-käsikirjan ohjeiden ja taulukoiden mukaisesti. Kaapeleiden asennusympäristön suurin lämpötila on sähkötiloissa 25 °C ja prosessi- sekä ulkotiloissa 30 °C. Kaikki tarkasteltavat kaapelit oli asennettu kaapelihyllyille, jolle oli asennettu myös muita kaapeleita.

Esimerkiksi normaalin kaapeli keskusten V01-17 ja V01-17.1 välillä on MCMK 3x16+16mm<sup>2</sup> kaapeli ja se on asennettu kaapelihyllylle. D1-käsikirjan taulukon 52.1 mukaan 16 mm<sup>2</sup> kuparikaapelin kuormitettavuus ilman korjauskertoimia asennustavalla E on 85 A. Lämpötila kaapelin asennusmatkalla on korkeimmillaan 30 °C, joten D1-käsikirjan taulukosta 52.7 saadaan PVC-kaapelin korjauskertoimeksi 0,94. Lisäksi kuormitettavuuteen vaikuttavat muut samalle kaapelihyllylle asennetut kaapelit joita tässä tapauksessa on yli 9 kappaletta. D1-käsikirjan taulukon 52.11 mukaan ympäröivien kaapeleiden korjauskeroimeksi tulee 0,72. Kokonaiskorjauskertoimeksi saadaan

$$0,97 * 0,72 = 0,68 \quad (8.)$$

Kaapelin korjatuksi kuormitettavuudeksi saadaan

$$85 A * 0,68 = 58 A \quad (9.)$$

Suurin sallittu nimellisvirta kaapelin ylikuormitussuojalla voi olla 50 A käytettäessä C-tyypin johdosuojakatkaisijaa. Nykyinen asennus on toteutettu C20A johdosuojakatkaisijalla, joten ylikuormitussuojaus on riittävä kyseiselle kaapelille. Myös kaapelin kuormitettavuus riittää varavoimalla verkossa esiintyvälle kuormitusvirralle, joka taulukon 4 mukaan olisi maksimissaan noin 4 A.

Mikäli ylivirtasuojana käytetään kahvasulaketta, kuten V01-17-keskuksen normaalin sähkönsyötön kaapelilla keskuksella VLC2.26 suurimman kahvasulakkeen nimellisvirran määrittäminen tapahtuu D1-käsikirjan taulukon 43.1 mukaan. Korjattu kuormitettavuus kaapelilla on 61 A, joten D1-käsikirjan taulukon 43.1 mukaan johdon kuormitettavuuden ollessa vähintään 55 A suurin sallittu gG-tyyppisen sulakkeen nimellisvirta on 50 A.

Verkon kaapeleiden kuormitettavuudet ovat koottu taulukoihin 5 ja 6. Kaapelien ja ylivirtasuojien mitoitus on toteutettu hyvin vaikkakin varavoimageneraattorin ja V01-17-keskuksen välinen kaapelin poikkipinta-alaa kannattaisi kasvattaa, esimerkiksi kaapelina voisi olla MCMK 3x16+16mm<sup>2</sup>.

TAULUKKO 5. Johdon kuormitettavuus ja suurin sallittu ylikuormitussuoja V01-17 keskukselta syöttäville johdoille

<b>Keskus</b>	<b>VLC2.26</b>	<b>V01-17 (varavoima)</b>	<b>V01-17 (normaali)</b>
kaapeli	AMCMK 3x185+57Cu	MMJ 4x10S	MCMK 3x16+16
asennustapa	E (kaapelihylly)	E (kaapelihylly)	E (kaapelihylly)
johdon kuormitettavuus	297	63	85
lämpötilan korjauskerroin (25 °C)	1	1	1
ymp. Kaapeleiden korj.kerroin (yli 9 kaapelia)	0,72	0,72	0,72
kok. korjauskerroin	0,72	0,72	0,72
korjattu kuormitettavuus	214	45	61
suurin sallittu ylivirtasuojaja	160A gG	40A gG	50A gG

TAULUKKO 6. Johdon kuormitettavuus ja suurin sallittu ylikuormitussuoja ryhmäkeskusten syöttökaapeleille

Keskus	V01-17.1	V01-17.2	V01-17.3	V01-17.4	V01-17.5
kaapeli	MCMK 3x16+16	MMK 4x16 arm.	MMJ 4x16	MCMK 3x16+16	MCMK 3x16+16
asennustapa	E (kaapeli- hylly)	E (kaapeli- hylly)	E (kaapeli- hylly)	E (kaapeli- hylly)	E (kaapeli- hylly)
johdon kuormitet- tavuus	85 A	85 A	85 A	85 A	85 A
lämpötilan korja- uskerroin	0,94 (30 °C)	0,94 (30 °C)	1 (25 °C)	0,94 (30 °C)	1 (25 °C)
ymp. Kaapeleiden korj.kerroin (yli 9 kaapelia)	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
kok. korjausker- roin	0,68	0,68	0,72	0,68	0,72
korjattu kuormitet- tavuus	58 A	58 A	61 A	58 A	61 A
suurin sallittu yli- virtasuoja	C 50A	C 50A	K 60A	C 50A	C 60A

#### 7.2.4 Suojalaitteiden katkaisukyky

Suojalaitteiden katkaisukyvyyn selvittämiseen täytyy laskea verkon 3-vaiheiset oikosulkuvirrat. Verkon 3- vaiheisten oikosulkuvirtojen laskennassa on käytetty apuna Pöyry Oy:n Neplan-ohjelmalla laske-  
maa oikosulkuvirtaa kojeistolle V02. Kojesto V02 syöttää VLC2.26-keskusta, jossa on varmennetun  
verkon normaalin sähkönsyötön liityntä. Laskentaohjelman laskema oikosulkuvirta  $I_{k3}$  keskukselle  
V02 on 29,4 kA. Laskettu arvo on vuodelta 2007, mutta verkkoa ei ole muutettu laskennan jälkeen  
merkittävästi.

Pienjänniteverkossa 3-vaiheinen maksimi- ja minimioikosulkuvirta lasketaan kaavalla

$$I_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (10.)$$

jossa  $c$  on IEC 60909 -standardin mukainen 400 V jännitekerroin ( $c_{\max}$  on 1,0 ja  $c_{\min}$  0,95)  
 $U_n$  on verkon nimellisjännite  
 $Z$  on oikosulkuimpedanssi, joka koostuu syöttävän verkon ja kaapeleiden impedans-  
seista.

(Rouvali 2012.)

Syöttävän verkon oikosulkuvirran avulla pystyy määrittämään syöttävän verkon impedanssin  $Z_k$ , joka lasketaan kaavalla

$$Z_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k3}} \quad (11.)$$

jossa  $U_n$  on pääjännite  
 $I_{k3}$  on oikosulkuvirta  
 $Z_k$  on oikosulkuimpedanssi.

Lukuarvot sijoitettuna kaavaan 11 syöttävän verkon impedanssiksi saadaan

$$Z_k = \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 29400 \text{ A}} = 0,00786 \ \Omega \quad (12.)$$

Lasketaan esimerkiksi 3-vaiheinen oikosulkuvirta varmennetun verkon normaalin sähkönsyötön keskuksella VLC2.26. Kaapeli keskuksen V02 lähdön 02A ja VLC2.26 välillä on AMCMK 3x185+57 mm<sup>2</sup> Cu ja kaapelin pituus on 40 m.

Kaapelin impedanssi lasketaan kaavalla

$$Z_j = z \cdot l \quad (13.)$$

jossa  $z$  on kaapelin ominaisimpedanssi ( $\Omega/\text{km}$ )  
 $l$  on kaapelin pituus (km).

D1-käsikirjan taulukon 41.6 mukaan 185 mm<sup>2</sup> alumiinijohtimen ominaisimpedanssi on 0,222  $\Omega/\text{km}$ . 40 m kaapelipituudella johdon impedanssi  $Z_j$  on

$$Z_j = 0,222 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 0,04 \text{ km} = 0,0089 \ \Omega \quad (14.)$$

Tällöin kokonaisimpedanssi  $Z$  keskukselle VLC2.26 asti on

$$Z = 0,00786 \ \Omega + 0,0089 \ \Omega = 0,0167 \ \Omega \quad (15.)$$

Pienin 3-vaiheinen oikosulkuvirta VLC2.26 keskuksella on

$$I_{k3min} = \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 0,0167 \ \Omega} = 13137 \text{ A} \approx 13,1 \text{ kA} \quad (16.)$$

Suurin keskuksella VLC2.26 vaikuttava oikosulkuvirta on

$$I_{k3max} = \frac{1,0 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 0,0167 \ \Omega} = 13829 \text{ A} \approx 13,8 \text{ kA} \quad (17.)$$

Kaikki verkon lasketut 3-vaiheiset maksimi- ja minimioikosulkuvirrat on listattu taulukkoon 7.

TAULUKKO 7. Verkon 3-vaiheinen oikosulkuvirta

Keskus	Kaapeli	Pituus (km)	$Z_j$ ( $\Omega$ )	$Z$ ( $\Omega$ )	$I_{k3max}$ (kA)	$I_{k3min}$ (kA)
VLC2.26	AMCMK 3x185+57Cu	0,04	0,0089	0,0167	13,8	13,1
V01-17	MCMK 3x16+16	0,025	0,0355	0,0522	4,4	4,2
V01-17.1	MCMK 3x16+16	0,13	0,0636	0,1158	2,0	1,9
V01-17.2	MMK 4x16 arm.	0,2	0,0978	0,1500	1,5	1,5
V01-17.3	MMJ 4x16	0,011	0,0054	0,0576	4,0	3,8
V01-17.4	MCMK 3x16+16	0,175	0,0856	0,1378	1,7	1,6
V01-17.5	MCMK 3x16+16	0,015	0,0073	0,0595	3,9	3,7

Laskettujen 3-vaiheisten oikosulkuvirtojen avulla selviää, onko verkon suojalaitteiden katkaisukyky riittävä. Käytettäessä suojalaitteena kahvasulakkeita katkaisukyky on vähintään 50 kA ja enintään 100 kA. Johdonsuojakatkaisijoita valmistetaan useilla katkaisukyvyyn arvoilla, mutta tarkasteltavassa verkossa katkaisukyky johdonsuojakatkaisijoilla oli 6 kA.

Tarkastetaan esimerkiksi varmennetun verkon normaalin verkon pääsulakkeiden katkaisukyky keskuksella VLC2.26. Sulakkeina keskuksen lähdössä on kahvasulakkeet, joiden katkaisukyky on vähintään 50 kA. Laskettu suurin 3-vaiheinen oikosulkuvirta keskuksella VLC2.26 on 13,8 kA, joten sulakkeen katkaisukyky on riittävä.

Verkon suojalaitteiden katkaisukyvyt ja suojalaitteilla esiintyvät suurimmat 3-vaiheiset oikosulkuvirrat on listattu taulukkoon 8. Taulukon 8 mukaan verkon oikosulkusuojauksen katkaisukyky riittää katkaisemaan jokaisen suojalaitteen suojauspiirissä esiintyvät suurimmat oikosulkuvirrat.

TAULUKKO 8. Oikosulkusuojauksen katkaisukyky

Keskus	Suojalaite	Tyyppi	Katkaisukyky (kA)	$I_{k3max}$ (kA)	
V02-02A	3x160A gG	kahvasulake	50 - 100	29,4	ok
VLC2.26	3x35A gG	kahvasulake	50 - 100	13,8	ok
V01-17.1	3xC20 A	johdonsuojakatkaisija	6	4,4	ok
V01-17.2	3xC20A	johdonsuojakatkaisija	6	4,4	ok
V01-17.3	3xG10A	johdonsuojakatkaisija	6	4,4	ok
V01-17.4	3xC16A	johdonsuojakatkaisija	6	4,4	ok
V01-17.5	3xC16A	johdonsuojakatkaisija	6	4,4	ok

### 7.2.5 Syötön nopean poiskytkennän toteutuminen

Syötön nopean poiskytkennän toteutumisen tarkastamiseen täytyy laskea verkon impedanssit sekä 1-vaiheiset oikosulkuvirrat ja verrata niitä suojalaitteiden toimintarajavirtoihin. Lähtötietoina tarvitaan verkon kaapeleiden pituudet, ominaisimpedanssiarvot, verkkoa syöttävän muuntajan nimellisarvot tai syöttävän verkon oikosulkuvirta.

1-vaiheinen oikosulkuvirta lasketaan kaavalla

$$I_{k1} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (18.)$$

jossa  $c$  on jännitekerroin 0,95 joka ottaa huomioon jännitteenaleneman  
 $U_n$  on pääjännite  
 $Z$  on oikosulkuimpedanssi, joka koostuu syöttävän verkon ja kaapeleiden impedansseista.

Laskentamenetelmällä virhe voi yleensä olla korkeintaan n. 10 %, jolloin virhe tapahtuu aina turvallisempaan suuntaan ja laskettu oikosulkuvirta on pienempi kuin todellinen arvo. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2004a, 94.)

Syöttävän verkon impedanssi  $Z_V$  lasketaan muuntajan nimellisarvojen perusteella kaavalla

$$Z_V = \frac{z_k}{100\%} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \quad (19.)$$

jossa  $z_k$  on muuntajan suhteellinen oikosulkuimpedanssi (%)  
 $U_n$  on muuntajan alajännitepuolen nimellisarvo (kV)  
 $S_n$  on muuntajan näennäisteho (MVA).

(Hietalahti 2011, 29.)

Mikäli johtimien poikkipinta-ala ja johdinmateriaali on sama johtimissa, kaapelin impedanssi  $Z_j$  lasketaan kaavalla

$$Z_j = 2 \cdot z \cdot l \quad (20.)$$

jossa  $z$  on kaapelin ominaisimpedanssi ( $\Omega/\text{km}$ )  
 $l$  on kaapelin pituus (km).

Tarkistetaan syötön nopean poiskytkennän toteutuminen normaalilla verkkosyötöllä esimerkiksi keskukselle V01-17. Keskuksen V01-17 suojalaite sijaitsee keskuksella VLC2.26. Tätä syöttää keskus V02, jonka muuntajana on voimalaitoksen jakelumuuntaja T03. Muuntajan yläjännitepuolen nimellinen jännite on 10 kV ja alajännitepuolen jännite 0,4 kV. Nimellinen näennäisteho  $S_n$  muuntajalla on 1 MVA ja suhteellinen oikosulkuimpedanssi  $z_k$  prosentteina on 5,9 %. Laskemalla sivun 32 kaavan 19 mukaisesti saadaan muuntajan T03 nimellisarvojen avulla syöttävän verkon oikosulkuimpedanssin arvoksi alajännitepuolella



$$Z_k = \frac{5,9}{100\%} * \frac{0,4 \text{ kV}^2}{1 \text{ MVA}} = 0,0094 \Omega \quad (21.)$$

Keskusten V02 ja VLC2.26 välinen kaapeli on AMCMK 3x185+57Cu mm<sup>2</sup>. Johdinmateriaali AMCMK-kaapelin äärijohtimessa on alumiini ja suojajohtimessa kupari. D1-käsikirjan taulukon 41.6 mukaan 185 mm<sup>2</sup> alumiinijohtimen ominaisimpedanssi on 0,222 Ω/km ja 57 mm<sup>2</sup> kuparijohtimen noin 0,489 Ω/km. Kaapelin pituus on noin 40 m, joten kaapelin impedanssiksi Z<sub>j</sub> keskuksien V02 ja VLC2.26 välillä tulee

$$Z_j = 0,04 \text{ km} * \left( 0,222 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,489 \frac{\Omega}{\text{km}} \right) = 0,028 \Omega \quad (22.)$$

Seuraavaksi täytyy laskea keskusten VLC2.26 ja V01-17 välisen MCMK 3x16+16 mm<sup>2</sup> kaapelin impedanssi. Kaapelin pituus on 25 m ja kaapelin äärijohtimen ja suojajohtimen poikkipinta-alat sekä johdinmateriaalit ovat samat. 16 mm<sup>2</sup> kuparijohtimen ominaisimpedanssi D1-käsikirjan taulukon 41.6 mukaan on 1,418 Ω/km. Kaapelin impedanssiksi tulee

$$Z_j = 2 * 1,418 \frac{\Omega}{\text{km}} * 0,025 \text{ km} = 0,071 \Omega \quad (23.)$$

Laskemalla syöttävän verkon ja kaapeleiden impedanssit yhteen kokonaisimpedanssi Z keskuksella V01-17 normaalilla sähkönsyötöllä on silloin

$$Z = 0,0094 \Omega + 0,028 \Omega + 0,071 \Omega = 0,108 \Omega \quad (24.)$$

Keskuksen VLC2.26 pienin 1-vaiheinen oikosulkuvirta I<sub>k1</sub> on kaavan 18 mukaan

$$I_{k1} = \frac{0,95 * 400 \text{ V}}{\sqrt{3} * 0,108 \Omega} = 2031 \text{ A} \quad (25.)$$

Suojalaitteena keskuksen VLC2.26 lähdössä F39 on 35 A gG-kahvasulakkeet, joiden 5 s toimintarajavirta-arvo on 165 A, joten syötön nopea poiskytkentä toimii keskukselle V01-17 asti.

Lasketut pienimmät 1-vaiheiset oikosulkuvirrat ja suojalaitteiden vaatimat toimintarajavirrat on listattu taulukkoon 9.

TAULUKKO 9. Varmennetun verkon 1-vaiheiset oikosulkuvirrat normaalilla sähkönsyötöllä

Keskus	Sulake	Kaapeli	Pituus (km)	Z <sub>j</sub> (Ω)	Z <sub>v</sub> (Ω)	I <sub>k1</sub> (A)	I <sub>k</sub> vaad. (A)
VLC2.26	160 A gG	AMCMK 3x185+57Cu	0,04	0,028	0,038	<b>5792</b>	950
V01-17	35 A gG	MCMK 3x16+16	0,025	0,071	0,109	<b>2031</b>	165
V01-17.1	C 20 A	MCMK 3x16+16	0,13	0,369	0,477	<b>460</b>	200
V01-17.2	C 20 A	MMK 4x16 arm.	0,2	0,567	0,676	<b>325</b>	200
V01-17.3	G 10 A	MMJ 4x16	0,011	0,031	0,140	<b>1567</b>	140
V01-17.4	C 16 A	MCMK 3x16+16	0,175	0,496	0,605	<b>363</b>	160
V01-17.5	C 16 A	MCMK 3x16+16	0,015	0,043	0,151	<b>1450</b>	160

Taulukon 9 tuloksista voi todeta syötön automaattisen poiskytkennän toimivan normaalilla sähkönsyötöllä ryhmäkeskustasolle asti. Verkon pienin laskettu 1-vaiheinen oikosulkuvirta 325 A esiintyy pasutto 2:n ryhmäkeskuksella V01-17.4.

Syötön nopean poiskytkennän ehtojen toteutuminen normaalilla sähkönsyötöllä varmistettiin myös mittaamalla. Mittarina käytettiin Fluken 1650 -sarjan asennustesteriä. Mitattaessa vikasuojauksen toimintaa pienin oikosulkuvirta  $I_{k1}$  oli pasutto 2:n ryhmäkeskuksella V01-17.4 eikä RHT:n keskuksella V01-17.2 kuten laskelmissa. Tämä voi johtua keskusta syöttävän kaapelin pituuden arviointivirheestä. Laskettu arvo pasutto 2:n keskukselle V01-17.4 oli 363 A ja mitattu arvo 411 A, kun taas RHT:n keskuksella V01-17.2 laskettu arvo oli 325 A ja mitattu arvo 459 A.

Mitatun arvon täytyy olla 25 % suurempi kuin suojalaitteen toimintarajavirta. Mitatun arvon vaatimus vikasuojauksen toimintaan keskuksen V01-17.4 C-tyypin 16 A johdonsuojakatkaisijalla on D1-käsikirjan taulukon 41.4 mukaan 200 A, joten vikasuojauksen toiminta on myös varmistettu mittamalla.

Laskettaessa verkon 1-vaiheisia oikosulkuvirtoja varavoimalla täytyy aluksi selvittää verkkoa syöttävän generaattorin oikosulkuvirta. Oikosulkuvirran syöttökyky täytyy varavoimageneraattoreilla, jotka syöttävät oikosulkuvirtaa olla luokkaa 2,5 - 3 kertaa generaattorin nimellisvirta (Sähkötieto ry 2005, 168.). Joten taulukon 10 generaattorin nimellisarvojen mukaan oikosulkuvirran  $I_k$  arvo on 60 A. Tämä tarkoittaa sitä, että generaattorin oikosulkusuojana olevat 50 A gG-tulppasulakkeet eivät riitä syötön nopean poiskytkennän toteutumiseen 5 s poiskytkentäajalla. Taulukkoon 11 on laskettu koko verkon oikosulkuvirrat ryhmäkeskustasolle asti varavoimalla. Laskentamenetelmät näissä ovat samat kuin normaalin verkkosyötön laskennassa. Laskentatuloksista näkee, että syötön nopea poiskytkentä ei toteudu millään ryhmäkeskuksella.

TAULUKKO 10. Generaattorin nimellisarvot ja sen tuottama oikosulkuvirta

<b>Generaattori</b>						
<b><math>S_n</math> (kVA)</b>	<b><math>U_n</math> (V)</b>	<b><math>I_n</math> (A)</b>	<b><math>\cos\phi</math></b>	<b><math>n</math> (rpm)</b>	<b><math>Z_k</math> (<math>\Omega</math>)</b>	<b><math>I_k</math> (A)</b>
14	400	20	0,8	1500	3,66	60

TAULUKKO 11. Varmennetun verkon 1-vaiheiset oikosulkuvirrat varavoimalla

<b>Keskus</b>	<b>Sulake</b>	<b>Kaapeli</b>	<b>Pituus (km)</b>	<b><math>Z_j</math> (<math>\Omega</math>)</b>	<b><math>Z_v</math> (<math>\Omega</math>)</b>	<b><math>I_k</math> (A)</b>	<b><math>I_k</math> vaad. (A)</b>
V01-17	50 A gG	MMJ 4x10	0,01	0,045	3,701	59	250
V01-17.1	C 20 A	MCMK 3x16+16	0,13	0,369	4,070	54	200
V01-17.2	C 20 A	MMK 4x16 arm.	0,2	0,567	4,269	51	200
V01-17.3	G 10 A	MMJ 4x16	0,011	0,031	3,733	59	140
V01-17.4	C 16 A	MCMK 3x16+16	0,175	0,496	4,198	52	160
V01-17.5	C 16 A	MCMK 3x16+16	0,015	0,043	3,744	59	160

Varavoimakoneen oikosulkuvirran syöttökyky varmistettiin myös mittaamalla Fluken asennustesterillä keskuksesta V01-17, ja mittaustulos antoi oikosulkuvirran arvoksi 79 A, joka tukee saatuja laskentatuloksia. Syötön nopean poiskytkennän ehdot saadaan toteutumaan lisäsuojauksella, joita ovat vikavirtasuojaus ja alijännitelaukaisu. Vikavirtasuojauksella toteutettu lisäsuojaus sopii TN-S-jakelujärjestelmällä toteutettuihin ja alijännitelaukaisu TN-C-jakelujärjestelmällä toteutettuihin verkoihin.

Tarkasteltavan verkon ryhmäkeskusten syöttökaapelointi on toteutettu TN-C-jakelujärjestelmän mukaisesti, joten vikavirtasuojaus ei sovellu ryhmäkeskusten syöttöjohtojen lisäsuojaukseen. Lisäsuojaus ryhmäkeskusten syöttökaapeleilla täytyisi toteuttaa alijännitelaukaisulla.

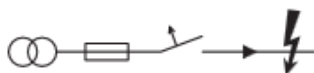
Ryhmäkeskuksista pasutto 3:n keskus V01-17.1 ja voimalaitoksen instrumentointikeskus V01-17.3 on toteutettu TN-C-jakelujärjestelmän mukaisesti ja muut keskuksat TN-S-jakelujärjestelmän mukaisesti. TN-S-jakelujärjestelmän mukaisesti toteutetuilla ryhmäkeskuksilla V01-17.2, V01-17.4 ja V01-17.5-ryhmäkeskuksiin liitetyt kuormat ovat suurimmaksi osaksi oikosulkumootoreita, joten vikavirtasuojaus ei sovellu näille kuormille. Ryhmäkeskusten lisäsuojaus kannattaisi toteuttaa myös alijännitelaukaisulla. Alijännitesuojauksen ongelmana on kuitenkin se, että suuret kytkentävirrät saattavat aiheuttaa verkossa turhia poiskytkentöjä, joten suojauksen suunnittelussa täytyy käyttää harkintaa.

#### 7.2.6 Suojalaitteiden selektiivisyys

Verkon normaalin sähkönsyötön pääsulakkeina on 35 A gG-kahvasulakkeet ja varavoimalla generaattorin 50 A gG-tulppasulakkeet. Näiden sulakkeiden jälkeen on jokaisella alakeskuslähdöllä johdonsuojakatkaisijat. Johdonsuojakatkaisijoiden oikosulkuselektiivisyys etusulakkeisiin nähden tarkistetaan valmistajan selektiivisyystaulukosta. Vaikka tarkasteltavat johdonsuojakatkaisijat ovat eri valmistajan tuotteita, käytetään tässä Hagerin selektiivisyystaulukkoa (kuva 10).

**Selektiivisyys**

Johdonsuojakatkaisijan ja sen etusulakkeen selektiivisyys oikosulkutapauksessa



Ylivirtasuojauksessa selektiivisyys saavutetaan, kun vikakohtaa lähinnä oleva suojalaite laukaisee ensin ilman, että edellä olevat suojalaitteet toimivat.

Ylivirtasuojauksen selektiivisyys määräytyy peräkkäin asennettujen johdonsuojakatkaisijoiden läpisyarvojen  $I^2t$  mukaan (katso kaavio s. 703)

**Oikosulkuselektiivisyys etusulakkeeseen nähden**

(Selektiivisyys on voimassa annettuihin oikosulkuvirtoihin kA asti)

Sarja	Nime I <sub>n</sub> I <sub>is- katk. kyky</sub>	I <sub>n</sub>	Sulake gL / gl NH00									Sulake gL / gl Diazed						
			25 A	32 A	35 A	40 A	50 A	63 A	80 A	100 A	125A	160A	25 A	35 A	50 A	63 A	80 A	100 A
MBS MBN	6 kA	6 A	0,58	0,94	1,2	1,5	2,1	2,7	4	T	T	T	1,1	2,4	4,7	6	6	6
		10 A	0,5	0,8	1	1,2	1,7	2,2	3,1	T	T	T	0,9	1,7	3	6	6	6
		13 A	0,42	0,67	0,85	1,05	1,4	1,9	2,6	5,3	T	T	-	1,5	2,8	5,1	6	6
		16 A	0,42	0,67	0,85	1,05	1,4	1,9	2,6	5,3	T	T	-	1,4	2,6	4,9	5,8	6
		20 A	0,35	0,54	0,7	0,9	1,2	1,6	2,2	4,4	T	T	-	-	2,3	4,1	5	6
		25 A	-	0,54	0,7	0,9	1,2	1,6	2,2	4,4	T	T	-	-	2,1	3,8	4,1	6
		32 A	-	-	-	0,8	1,1	1,5	2	4	T	T	-	-	1,9	3,2	3,8	6
		40 A	-	-	-	-	1,1	1,5	2	4	T	T	-	-	-	2,8	3,1	5,8
		50 A	-	-	-	-	-	1,3	1,9	3,7	T	T	-	-	-	-	2,3	5,2
		63 A	-	-	-	-	-	1,9	3,7	T	T	-	-	-	-	-	4,3	
MCS MCN	6 kA	0,5 A	1,1	1,9	2,7	3,8	T	T	T	T	T	T	-	-	-	-	-	-
		1 A	0,85	1,4	1,8	2,5	4	5,5	T	T	T	T	-	-	-	-	-	-
		2 A	0,85	1,4	1,8	2,5	4	5,5	T	T	T	T	-	-	-	-	-	-
		3 A	0,68	1,1	1,4	1,8	2,7	3,8	5,6	T	T	T	-	-	-	-	-	-
		4 A	0,68	1,1	1,4	1,8	2,7	3,8	5,6	T	T	T	-	-	-	-	-	-
		6 A	0,58	0,94	1,2	1,5	2,1	2,7	4	T	T	T	1	2	4,5	6	6	6
		10 A	0,5	0,8	1	1,2	1,7	2,2	3,1	T	T	T	0,7	1,4	3,2	6	6	6
		13 A	0,42	0,67	0,85	1,05	1,4	1,9	2,6	5,3	T	T	-	1,1	2,6	4,8	5,7	6
		16 A	-	0,67	0,85	1,05	1,4	1,9	2,6	5,3	T	T	-	1	2,4	4,6	5,2	5,5
		20 A	-	-	0,7	0,9	1,2	1,6	2,2	4,4	T	T	-	-	2,1	4,4	4,8	5,5
		25 A	-	-	-	0,9	1,2	1,6	2,2	4,4	T	T	-	-	1,8	3,4	3,8	4,7
		32 A	-	-	-	-	-	1,5	6	4	T	T	-	-	-	2,8	3,5	4
		40 A	-	-	-	-	-	1,5	6	4	T	T	-	-	-	1,9	2,8	3,8
		50 A	-	-	-	-	-	-	6	3,7	T	T	-	-	-	-	-	3,5
		63 A	-	-	-	-	-	6	3,7	T	T	-	-	-	-	-	-	

KUVA 10. Johdonsuojakatkaisijoiden selektiivisyystaulukko (Hager.)

Tarkasteltaessa esimerkiksi keskuksen VLC2.26 lähdön 35 A gG-kahvasulakkeiden ja pasutto 3:n V01-17.1-ryhmäkeskuksen 20 A C-tyyppin johdonsuojakatkaisijan välistä selektiivisyyttä kuvan 10 taulukon mukaan selektiivisyys on voimassa 0,7 kA oikosulkuvirtaan asti. Pienin 1-vaiheinen oikosulkuvirta Pasutto 3:n keskuksella V01-17.1 on aikaisemmin laskettu 0,46 kA joten nämä suojalaitteet toimivat selektiivisesti.

Hagerin selektiivisyystaulukossa ei ole G-tyyppin (nykyisin K- tai D-tyyppi) johdonsuojakatkaisijoiden selektiivisyyttä mainittu, joten se täytyi etsiä ABB:n vastaavasta selektiivisyystaulukosta. ABB:n selektiivisyystaulukon mukaan K-tyyppin 10 A johdonsuojakatkaisija ei ole selektiivinen millään oikosulkuvirran arvolla 35 A gG-etusulakkeeseen nähden. Kaikkien ryhmäkeskusten johdonsuojakatkaisijoiden selektiivisyydet on koottu taulukoon 12.

TAULUKKO 12. Ryhmäkeskusten johdonsuojakatkaisijoiden selektiivisyys 35 A gG-kahvasulakkeeseen nähden normaalilla sähkönsyötöllä

Keskus	Suojalaite	$I_k$ (kA)	$I_k$ vaad. (kA)	
V01-17.1	C20 A	0,46	0,7	ok
V01-17.2	C20 A	0,33	0,7	ok
V01-17.3	G10 A	1,57	-	
V01-17.4	C16 A	0,36	0,85	ok
V01-17.5	C16 A	1,45	0,85	

Taulukon 12 mukaan voimalaitoksen keskuksien V01-17.3 ja V01-17.5 suojaus ei ole selektiivinen VLC2.26-keskuksella olevien kahvasulakkeiden kanssa. Selektiivisyys korjaantuisi suurentamalla 35 A gG-etusulakkeet 50 A gG-kahvasulakkeisiin keskuksella VLC2.26. Tällöin voimalaitoksen keskuksen V01-17.5 16 A C-tyyppin sulakkeet olisivat selektiiviset 1,4 kA oikosulkuvirtaan asti. Laskettu oikosulkuvirta keskuksella on 1,45 kA joten se olisi melko lähellä vaadittua selektiivisyysvirtaa.

Selektiivisyyden tarkastelu varavoimalla ei ole tarpeen, koska varavoimalla verkon oikosulkuvirta ei ole riittävä edes vikasuojauksen toimintaan.

### 7.2.7 Jännitteenalenema

Kolmivaiheisella vaihtojännitteellä jännitteenalenema lasketaan kaavalla

$$\Delta U = I * l * \sqrt{3} * (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi) \quad (26.)$$

jossa  $I$  on kuormitusvirta (A)  
 $l$  on kaapelin pituus (km)  
 $r$  on kaapelin ominaisresistanssi ( $\Omega$ /km)  
 $x$  on kaapelin ominaisreaktanssi ( $\Omega$ /km)  
 $\cos \varphi$  on tehokerroin.

Kaavassa plus-merkkiä käytetään induktiivisella kuormalla ja miinus-merkkiä kapasitiivisella kuormalla.

Vastaavasti suhteellinen jännitteenalenema lasketaan kaavalla

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} * 100\% \quad (27.)$$

(Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2004a, 115.)

Lasketaan esimerkiksi normaalin sähkönsyötön jännitteenalenema keskukselle V01-17. Keskuksen V01-17 syöttökaapelina on MCMK 3x16+16 mm<sup>2</sup> kaapeli jonka pituus on 25 m ja sen ylivirtasuojana on 35 A gG-sulakkeet, eli suurin kuormitusvirta kaapelissa on 35 A. Kaapelin ominaisresistanssi  $r$  ja ominaisreaktanssi  $x$  on D1-käsikirjan taulukon 41.6 mukaan 16 mm<sup>2</sup> kuparijohtimella  $r=1,415 \Omega$ /km

ja  $x=0,09 \Omega/\text{km}$ . Tehokertoimen  $\cos\varphi$  arvona on kuormituksen mukaan laskettu arvo  $0,5_{\text{ind}}$  joka kulmamuodossa asteina on  $60^\circ$ , jolloin  $\sin\varphi$  arvo on  $0,87$ . Jännitteenalenema  $\Delta U$  keskuksella V01-17 on kaavalla 26 laskettuna

$$\Delta U = 35 \text{ A} * 0,025 \text{ km} * \sqrt{3} * \left( \left( 1,415 \frac{\Omega}{\text{km}} * 0,5 \right) + \left( 0,09 \frac{\Omega}{\text{km}} * 0,87 \right) \right) = 1,2 \text{ V} \quad (28.)$$

Kaavalla 27 laskettuna suhteellinen jännitteenalenema normaalilla sähkönsyötöllä keskuksella V01-17 on silloin

$$\Delta u = \frac{1,2 \text{ V}}{400 \text{ V}} * 100\% = 0,3 \text{ \%} \quad (29.)$$

Ryhmäkeskuksille asti lasketut jännitteenalenemat normaalilla sähkönsyötöllä on listattu taulukkoon 13 ja varavoimalla taulukkoon 14.

TAULUKKO 13. Jännitteenalenema normaalilla sähkönsyötöllä

Keskus	Sulake	Kaapeli	Pituus (km)	$I_n$ (A)	$\Delta U$ (V)	$\Delta u$ (%)
V01-17	35 A gG	MCMK 3x16+16	0,025	35	1,2	0,3
V01-17.1	C 20 A	MCMK 3x16+16	0,13	20	4,7	1,2
V01-17.2	C 20 A	MMK 4x16 arm.	0,2	20	6,6	1,7
V01-17.3	G 10 A	MMJ 4x16	0,011	10	1,3	0,3
V01-17.4	C 16 A	MCMK 3x16+16	0,175	16	5,0	1,3
V01-17.5	C 16 A	MCMK 3x16+16	0,015	16	1,5	0,4

TAULUKKO 14. Jännitteenalenema varavoimalla

Keskus	Sulake	Kaapeli	Pituus (km)	$I_n$ (A)	$\Delta U$ (V)	$\Delta u$ (%)
V01-17	20 A	MMJ 4x10	0,01	20	0,4	0,1
V01-17.1	C 20 A	MCMK 3x16+16	0,13	20	4,0	1,0
V01-17.2	C 20 A	MMK 4x16 arm.	0,2	20	5,9	1,5
V01-17.3	G 10 A	MMJ 4x16	0,011	10	0,6	0,2
V01-17.4	C 16 A	MCMK 3x16+16	0,175	16	4,2	1,1
V01-17.5	C 16 A	MCMK 3x16+16	0,015	16	0,7	0,2

Taulukon 13 perusteella verkon suurin jännitteenalenema  $1,5 \text{ \%}$  normaalilla sähkönsyötöllä on RHT:n apuohjaamon ryhmäkeskuksella V01-17.2. Jännitteenalenema jää alle standardin suositteleman  $4 \text{ \%}$  joten verkon kunto jännitteenalenemien osalta normaalilla sähkönsyötöllä on hyvä. Varavoimalla jännitteenalenema on hieman pienempi johtuen pienemmästä kuormitusvirran arvosta generaattorin syöttökaapelissa. Suurin jännitteenalenema keskuksella V01-17.2 on varavoimalla  $1,5 \text{ \%}$  (taulukko 14).

### 7.3 Varmennetun verkon kehitysehdotukset

Pohdittaessa varmennetun verkon kehitysehdotuksia päällimmäisenä asiana tulee mieleen varavoimakoneen uusiminen. Nykyinen generaattori on 44 vuotta vanha ja laitteen elinkaari alkaa olla loppuillaan vaikka koneella ei olekaan paljon käyttötunteja. Varavoimakoneen uudistamisessa kannattaisi miettiä myös koneen tyyppiä ja sen liitäntää verkkoon. Yksi vaihtoehto olisi vaihtaa sähkökäyttöisen varavoimakoneen tilalle dieselkäyttöinen varavoimakone, jolloin paikallisakuston varmennusaika paranisi, mutta huonoina puolena koneen huoltomäärä kuitenkin lisääntyisi ja kone vaatisi omat laitetilat. Dieselkoneella saisi myös esimerkiksi voimalaitoksen paikallisakuston tasasuuntaajan varaan akustoa pitkäaikaisessa 110 kV jakeluvikatilanteessa sekä UPS-syöttöjen varmennuksen. Varmennettavien kohteiden lisääminen vaatisi kuitenkin koneen tehon kasvattamisen, mikä toisaalta saattaisi parantaa oikosulkuvirran syöttökykyä varavoimalla.

Toinen asia joka kannattaisi uusia on pasutto 3:n ryhmäkeskus V01-17.1 ja voimalaitoksen ryhmäkeskus V01-17.3. Keskukset alkavat olla rakenteeltaan vanhoja ja uusimalla keskukset saisi TN-S-jakelujärjestelmän mukaiseksi.

Keskusteltaessa Yaran rikkihappo- ja energiatuotannon prosessiasiantuntijan kanssa varmennetuista prosessilaitteista tuli keskustelussa esille neljä moottoritoimilaitetta, jotka vaativat varmennetun sähkönsyötön. Toimilaitteita olivat:

- VL7002 Paineenalennusventtiili
- VL7004 Jäähdytysveden säätöventtiili
- VL7010 Apuohjatun varon venttiili
- VL7040 Apulauhduttimen tulohöyryventtiili.

Nämä neljä moottoritoimilaitteventtiiliä sijaitsevat voimalaitoksella ja niiden nykyinen sähkönsyöttö on toteutettu voimalaitoksen 400 V VLC2.26-keskuksesta. Näiden toimilaitteiden sähkönsyöttö olisi mahdollista siirtää varmennetun verkon moottoritoimilaittekeskukseen V01-17.5, koska keskuksessa on vielä vapaita lähtöjä. Toimilaitteiden kaapelointi täytyisi kuitenkin uusia, koska lisämatkaa V01-17.5-keskukselle tulee noin 25 m. Lisättävien moottoreiden nimellistehojen ja virtojen perusteella V01-17.5-keskukseen kokonaiskuormitus lisääntyisi noin 2 kW ja virta 5 A. Tasauserroin huomioiden olisi V01-17.5 keskuksen arvioitu kuormitusteho silloin 5,9 kW ja kuormitusvirta 16 A. Koko verkon arvioitu kuormitusteho olisi silloin 10,4 kW ja virta noin 28 A.

### 7.4 Yhteenveto varmennetusta vaihtosähköverkosta

Mitoitusarvoja ja suojausta tarkastellessa normaalilla sähkönsyötöllä oli kaapelit mitoitettu kuormitettavuuden ja jännitteenalenneman kannalta hyvin sekä suojalaitteiden katkaisukyky ja vikasuojaus oli kunnossa. Huomautettavia asioita oli suojalaitteiden selektiivisyys, joka ei toteutunut voimalaitoksen ryhmäkeskuksilla V01-17.3 ja V01-17.5. Selektiivisyyttä voi parantaa suurentamalla VLC2.26-keskuksen varmennetun verkon lähdön F39 kahvasulakkeet 50 A nimellisvirralle, jonka suojattavan johdon kuormitettavuus vielä sallii.

Verkon mitoitusarvot varavoimalla oli kaapeleiden kuormitettavuuden ja jännitteenaleneman osalta kunnossa, mutta generaattorin kuormitus on hieman liian suuri ja syötön nopea poiskytkentä ei toteudu varavoimalla johtuen varavoimakoneen alhaisesta oikosulkuvirran syöttökäyvystä. Puutteen voi korjata lisäsuojauksella, joka täytyy toteuttaa alijännitelaukaisulla. Lisäsuojauksen toteutuksessa täytyy huomioida kuitenkin se, että varavoimalla verkon sähkönjakelu ei saa keskeytyä liian herkästi toimivaan suojauksen takia, koska verkko sisältää henkilöturvallisuudelle tärkeitä laitteita.



## 8 TASASÄHKÖVERKON SELVITYS

### 8.1 Verkon kartoitus

Tasasähköverkon selvitys alkoi kartoittamalla verkon rakenne ja laajuus. Akustovarmennettu tasasähköverkko koostuu paikallisakustosta (kuva 11), tasasuuntaajasta (kuva 12) ja kahdesta DC-keskuksesta (kuvat 13 ja 14). Normaalitylanteessa tasasuuntaaja syöttää tasasähköverkkoa ja pitää akustoa varauksessa vaihtosähkön ollessa käytössä. Tasasuuntaaja saa 400 V vaihtosähkön voimalaitoksen kojeistolta V01, jota syöttää omakäyttömuuntaja T02. Vaihtosähkön jakeluhäiriössä verkon energiaa syöttää akusto. Akuston jännite on 220 V ja varaus 680 Ah 10 tunnin purkausajalla. Tasasähkönjakelu on toteutettu maasta erotettuna IT-järjestelmänä. Akuston pääsulakkeina on kaksi 200 A gG-kahvasulaketta kummallekin navalle ja jakelu niistä tapahtuu kahdelle DC-keskukselle. Pääsulakkeen toiminnasta on sulakkeiden apukoskettimilla yhdistetty hälytys automaatiojärjestelmään.



KUVA 11. Voimalaitoksen paikallisakusto (valokuva Juha Heiskanen.)



KUVA 12. Akustovaraaja (valokuva Juha Heiskanen.)

Sähkönjakelu on toteutettu kahdella DC-keskuksella, joista vanha DC-keskus on alkuperäisasennus vuodelta 1969 ja uusi DCC-keskus on lisätty vuonna 2009. Lisäyksen yhteydessä DCC-keskuksen lähdöt on siirretty vanhasta DC-keskuksesta. Työn toimeksiantajan suunnitelmana on poistaa vanha DC-keskus käytöstä ja siirtää siinä olevat loputkin kaapelilähdöt uuteen DCC-keskukseen.

### 8.1.1 DCC-keskus

DCC-keskuksessa on 13 kaapelilähtöä, joista yksi on varasyöttö lannoitetehtaan tasasähkökeskukselle, josta on varasyöttöyhteys myös fosforihappotehtaan tasasähkönjakeluun. Keskukseen on liitetty mm. voimalaitoksen generaattorin kenttäkatkaisija, 10 kV kojeistojen apusähkö rikkihappotehtaille ja voimalaitoksen VLB1-kojeistolle sekä PAC3 400 V kojeiston apusähkö pasutto 3:n sähkötilaan.

Kaksi kaapelilähdöstä syöttää typpihappotehtaan ja ammoniakkin ryhmäkeskuksia. Typpihappotehtaan ryhmäkeskukseen on liitetty TH317-hätäöljypumppu, ammoniakkin pikasulkuventtiili ja typpihappotehtaan THB1 10 kV kojeisto. Ammoniakkiaseman ryhmäkeskukseen on liitetty AM01 400 V kojeiston ohjausjännite ja apatiitinkuivauslaitoksen tasasähkönsyöttö.



KUVA 13. DCC-keskus (valokuva Juha Heiskanen.)

### 8.1.2 Vanha DC-keskus

Vanha DC-keskus on alkuperäisasennus, jolla koko tasasähkönjakelu on toteutettu ennen DCC-keskuksen lisäystä. Tasasähkönjakelu keskuksesta on toteutettu lähinnä voimalaitoksen apusähkönjakelu. Keskuksessa on käytössä 7 sulakelähtöä, joihin on liitetty mm. voimalaitoksen varavalaistuskeskus V04-9-V, voimalaitoksen turbiinien hätäöljypumput VL514 ja VL7790 ja DC-hälytysjännitesyöttö. Keskus sisälsi myös varavalaistuksen ja VL514-hätäöljypumpun ohjauskytkennät sekä akuston maasulku- ja alijännitereleistyksen ja hälytyskytkennät.

Keskukseen oli liitetty kaksi VL514-hätäöljypumpun ohjaukseen liittyvää kaapelia, joista toinen oli pumpun paikallisohjauksien kaapeli, joka päättyi turbiinin ohjauspulpetille TVP96. Toinen kaapeli oli automaatiojärjestelmän ohjaus- ja hälytysliityntäkaapeli. Kaapeli päättyi kenttäkotelon ERK71 220 V DC-apureille, joilla toteutetaan automaatiojärjestelmästä tulevat pumpun ohjauskäskyt ja järjestelmään menevät hälytykset.

Varavalaistuksen ohjaukseen oli liitetty yksi kaapeli, jolla oli toteutettu varavalaistuksen ohjauksen 230 V apusähkö voimalaitoksen valaistuksen nousukeskukselta V04-11. Kaapelin ollessa jännitteetön kytketty voimalaitoksen varavalaistus päälle.

Akuston hälytyskytkentoihin liittyi kaksi keskukseen liitettyä ohjauskaapelia, joista yksi oli akuston maasulku- ja alijännitereleistyksen (kuva 15) 230 VAC apusähkö voimalaitoksen keskukselta V01. Toinen kaapeli oli liitetty voimalaitoksen relepaneelin apureille, joiden ohjauksella akuston maasulku- ja alijännitehälytykset menevät JAMAK-kaapelilla automaatiojärjestelmään.



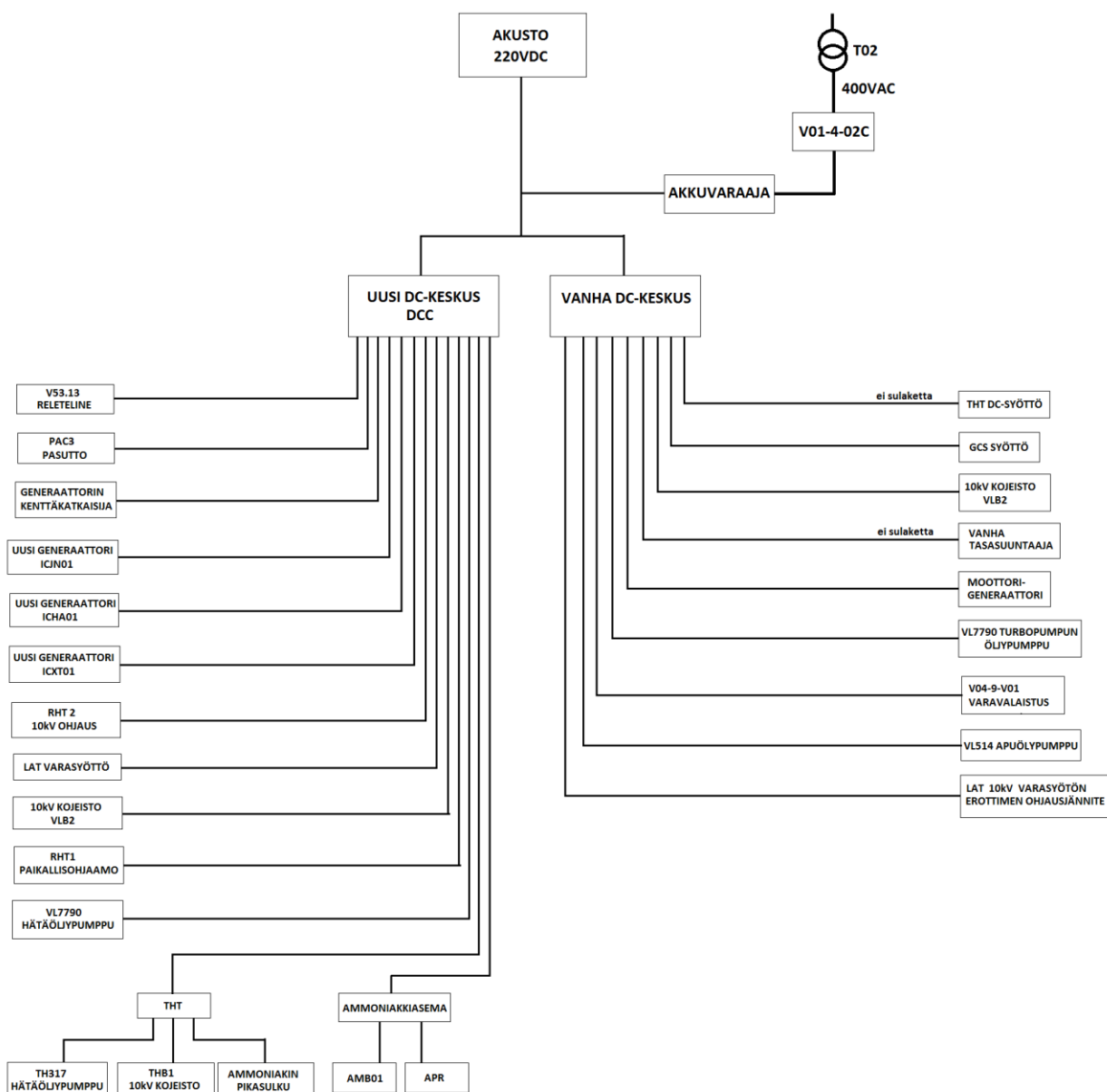
KUVA 14. Vanha DC-keskus (valokuva Juha Heiskanen.)



KUVA 15. Vanhan DC-keskuksen akuston maasulku- ja alijännitereleistys (valokuva Juha Heiskanen.)

Selvitettäessä DC-hälytysjännitteeseen yhdistettyjä toimintoja havaittiin, että hälytykset oli siirretty automaatiojärjestelmään. Nykyinen toimintajännite hälytyspiirillä on automaatiojärjestelmän syöttämä 24 V, mutta vanha 220 V hälytysjännitteen syöttö oli jäänyt irtikytkemättä. Riskinä nykyisessä asennuksessa oli hälytysten toimiessa 220 V tasajännitteen kulkeutuminen automaatiojärjestelmän binääritulokorteille ja niiden vaurioituminen. Laitevaurioita aiheuttaneita hälytystietoja olisi voinut aiheuttaa esimerkiksi voimalaitoksen 10 kV kojeiston kennojen ohjaussulakehälytykset. Vaaratilanteen selvittyä työn toimeksiantaja ryhtyi toimenpiteisiin riskin poistamiseksi.

Kun molempien DC-keskusten liitännät olivat tiedossa, pystyi näiden selvitystietojen perusteella piirtämään periaatteellisen lohkoakaavion jakelusta (kuvio 16) ja tarkastamaan verkon mitoitusarvot laskeamalla.



KUVIO 16. Lohkokaavio rikkihappo- ja energiatuotantoalueen DC-jakelusta

## 8.2 Verkon mitoituksen tarkastus

Tasasähköverkon mitoitus tarkastettiin laskemalla oikosulkusuojauksen toiminta ja jännitteenalenuma keskuksien kaapelilähdoille. Ylivirta- ja oikosulkusuojaus oli verkossa toteutettu 2-napaisilla johdonsuojakatkaisijoilla ja sulakkeilla. Akustolta DC-keskuksille tulevien syöttökaapeleiden oikosulkusuojana oli 200 A gG-sulakkeet.

### 8.2.1 Akuston ja varaajan tuottama oikosulkuvirta

Akuston oikosulkuvirran syöttökyky on noin 150 - 200 kertaa 10 tunnin purkausvirta täydessä varaustilassa. Varaustilan pudotessa puoleen on oikosulkuvirran arvo noin 70 - 80 % maksimistaan. Tasasähköjärjestelmien oikosulkuvirran suuruuteen vaikuttavat akun ominaisuudet ja tila, varaaja ja piirien resistanssit. Oikosulkusuojauksen täytyy myös toimia vajaavaraustilassa.

Akuston oikosulkuvirran syöttökyky  $I_{k, akusto}$  lasketaan kaavalla

$$I_{k, akusto} = 200 * \frac{Q}{t} * 0,7 \quad (30.)$$

jossa  $Q$  on akuston nimellinen varaus (Ah)  
 $t$  on akuston purkausaika (h).

Varaajan oikosulkuvirran syöttökyky  $I_{k, varaaja}$  lasketaan kaavalla

$$I_{k, varaaja} = 2 * I_n * 0,7 \quad (31.)$$

jossa  $I_n$  on varaajan nimellisvirta. (Sähkötieto ry 2005, 165 - 166.)

Tasasähköverkon oikosulkusuojauksen tarkastamista varten täytyi selvittää verkkoa syöttävien lähteiden oikosulkuvirran syöttökyky. Akuston nimellisjännite oli 220 V ja varaus 680 Ah 10 tunnin purkausajalla. Akuston tuottama oikosulkuvirta on kaavan 30 mukaisesti laskettuna

$$I_k = 200 * \frac{680 \text{ Ah}}{10 \text{ h}} * 0,7 = 9,52 \text{ kA} \quad (32.)$$

Käytössä olevan Thyrotronic-akustovaraajan nimellisvirta on 125 ampeeria. Varaajan oikosulkuvirran syöttökyky on silloin kaavalla 31 laskettuna

$$I_k = 2 * 125 \text{ A} * 0,7 = 175 \text{ A} \quad (33.)$$

Akuston oikosulkusuojaus on toteutettu 2x200 A gG-kahvasulakkeilla ja akustovaraajassa laitteen sisäisellä ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksella joka katkaisee tasavirtasyötön vikatilanteessa.

### 8.2.2 DC-keskusten kiskoston oikosulkuvirta

DC-keskusten kiskoston oikosulkuvirran määrittämiseen tarvitsee selvittää akuston resistanssi  $R_k$  ja DC-keskusten syöttökaapeleiden resistanssin  $R_j$ . Akuston sisäinen resistanssi  $R_s$  voidaan laskea kaavalla

$$R_s = \frac{E}{I_k} \quad (34.)$$

jossa  $E$  on akuston lähdejännite  
 $I_k$  akuston oikosulkuvirta.

(Aura ja Tonteri 1986, 63.)

Kaapelin resistanssi  $R_j$  lasketaan kaavalla

$$R_j = 2 * r * l \quad (35.)$$

jossa  $r$  on kaapelin ominaisresistanssi ( $\Omega/\text{km}$ )  
 $l$  kaapelin pituus (km).

Oikosulkuvirta  $I_k$  lasketaan akuston sisäisen resistanssin  $R_s$  ja kaapelin resistanssin  $R_j$  avulla kaavalla

$$I_k = \frac{E}{R_s + R_j} \quad (36.)$$

Selvitettävässä verkossa akuston sisäiseksi resistanssin arvoksi tuli kaavan 34 mukaisesti laskettuna

$$R_s = \frac{220 \text{ V}}{9520 \text{ A}} = 0,023 \ \Omega \quad (37.)$$

Keskuksien syöttökaapeleina on käytetty 95 mm<sup>2</sup> kuparijohtinta, jonka ominaisresistanssi r on D1-käsikirjan taulukon 41.6 mukaan 0,244 Ω/km. Johtimien pituus on noin 10 m, joten syöttökaapeleiden resistanssi on kaavalla 35 laskettuna

$$R_j = 2 * 0,244 \frac{\Omega}{\text{km}} * 0,01 \text{ km} = 0,00488 \ \Omega \quad (38.)$$

DC-keskuksien oikosulkuresistanssi R lasketaan kaavalla

$$R = R_s + R_j \quad (39.)$$

Lukuarvot sijoitettuna kaavaan 39 resistanssin R arvoksi tulee

$$R = 0,023 + 0,00488 = 0,02788 \ \Omega \quad (40.)$$

Resistanssin avulla pystyy laskemaan oikosulkuvirran suuruuden kaavalla

$$I_k = \frac{U}{R} \quad (41.)$$

Sijoittamalla lukuarvot kaavaan 41 oikosulkuvirta I<sub>k</sub> on DC-keskuksien kiskostoissa

$$I_k = \frac{220 \text{ V}}{0,02788 \ \Omega} = 7891 \text{ A} \approx 7,9 \text{ kA} \quad (42.)$$

DC-keskusten kiskoston oikosulussa oikosulkusuojana toimivat akuston 200 A gG-pääsulakkeet, joiden TN-järjestelmän mukainen toimintarajavirta on 5 sekunnin poiskytkentäajalla 1250 A eli suojaus toimii vaaditussa ajassa.

### 8.2.3 DC-keskusten kaapelilähtöjen oikosulkuvirta

DC-keskusten kaapelilähtöjen ylivirta- ja oikosulkusuojoina oli käytetty 2-napaisia B-tyyppin johdon-suojakatkaisijoita, kahvasulakkeita ja tulppasulakkeita. Toiminta-aikana suojalaitteilla käytetään TN-S-järjestelmän mukaista 0,4 s poiskytkentää.

DC-keskuksilta lähtevien syöttöjen pienin oikosulkuvirta lasketaan kaavalla

$$I_k = \frac{U}{R + (2 * r * l)} \quad (43.)$$

Esimerkiksi tarkasteltaessa RHT1 ohjaamon kaapelilähtöä, kaapelin pituus on noin 200 m. Kaapelityyppi on MCMK 4x10+10 mm<sup>2</sup>, joista kaksi johdinta on plus-johdinta ja kaksi miinus-johdinta. Kaapelin ominaisresistanssi on tällöin 1,122 Ω/km, kun 10 mm<sup>2</sup> kuparijohtimen ominaisresistanssi on 2,244 Ω/km. Lukuarvot sijoitettuna kaavaan 43 kaapelilähdön pienimmäksi oikosulkuvirraksi tulee

$$I_k = \frac{220 V}{0,02788 \Omega * (2 * 1,122 \frac{\Omega}{km} * 0,2 km)} = 461,5 A \approx 462 A \quad (44.)$$

Oikosulkusuojana kaapelilähdöllä on 20 A gG-kahvasulakkeet, joiden pienin toimintarajavirta 0,4 sekunnin poiskytkentäajalla on D1-käsikirjan taulukon 41.5 mukaan 145 A. Lasketun oikosulkuvirran ollessa suurempi kuin sulakkeen toimintarajavirta on vikasuojaus kunnossa kyseisellä kaapelilähdöllä.

Oikosulkusuojan ollessa johdonsuojakatkaisija toimintarajavirta-arvot poikkeavat tasavirralla hieman D1-käsikirjan taulukon 41.4 arvoista ja ne täytyy tarkistaa valmistajien esitteistä. Esimerkiksi johdonsuojakatkaisijan ollessa hyvin yleisesti tasavirtapiireissä käytetty B-tyyppin katkaisia, magneettisen laukaisun laukaisuvirta ABB:n johdonsuojakatkaisijoilla on 7,5 kertaa nimellisvirta. 16 A B-tyyppin johdonsuojakatkaisijalla vaadittu oikosulkuvirran arvo on silloin 120 A.

Tarkasteltavan tasasähköjärjestelmän lasketut oikosulkuvirrat ja vikasuojauksen vaatimukset ovat listattu taulukoihin 15 ja 16. Kaapelipituudet laskelmissa ovat arvioituja pituuksia.

TAULUKKO 15. DCC-keskukselta lähtevien syöttöjen oikosulkusuojaus

	<b>Lähtö</b>	<b>Sulake</b>	<b>Kaapeli</b>	<b>Pituus (m)</b>	<b>r (Ω/km)</b>	<b>I<sub>k</sub> (A)</b>	<b>I<sub>k</sub> vaad. (A)</b>
V53.13 Releteline	0201-F1	B25 A	MCMK 2x6+6	20	3,66	1262	187,5
PAC3 Pasutto	0201-F5	B16 A	MCMK 2x6+6	100	3,66	289	120
Gen. kenttäkatkaisija	0206-F6	B16 A	MCMK 2x6+6	50	3,66	558	120
Uusi gen. ICJN01	0202-F4	B16 A	MMJ 3x6S	50	3,66	558	120
Uusi gen. ICHA01	0202-F5	B16 A	MMJ 3x6S	50	3,66	558	120
Uusi gen. ICXT01	0202-F6	B16 A	MMJ 3x2,5S	50	8,77	243	120
RHT2	0203A	20 A gG	MCMK 2x6+6	200	3,66	147	145
LAT varasyöttö (VL-THT)	0204A	32 A gG	MCMK 2x25+16	100	0,898	1060	
LAT varasyöttö (THT-LAT)			MCMK 2x16+16	200	1,415	370	150
VLB1	0204B	32 A gG	MCMK 2x6+6	40	3,66	686	270
RHT1 ohjaamo	0205A	20 A gG	MCMK 4x10+10	200	1,122	462	145
THT	0206B	63 A gG	MCMK 2x10+10	100	2,244	462	320
AMV	0301B	25 A gG	MCMK 2x10+10	400	2,244	121	110
VL7790 kotelo	0304	50 A gG	MCMK 4x10+10	5	2,244	4363	470



TAULUKKO 16. Vanhan DC-keskuksen kaapelilähtöjen oikosulkusuojaus

	<b>Lähtö</b>	<b>Sulake</b>	<b>Kaapeli</b>	<b>Pituus (m)</b>	<b>r (Ω/km)</b>	<b>I<sub>k</sub> (A)</b>	<b>I<sub>k</sub> vaad. (A)</b>
varavoimakone	e5-6	80 A	MMJ 4x16	10	1,415	3908	840
VL514 hätäöljypumppu	e7-8	35 A	MMJ 4x6	30	3,66	889	165
VL7790 hätäöljypumppu	e11-12	20 A	MMJ 2x6	50	3,66	558	145
varavalaistus	e13-14	20 A	MMJ2x6	30	3,66	889	145
LAT 10 kV erottimen ohj. jännite	e25	B10 A	MMJ 2x2,5	300	8,77	42	75
GCS	e38-39	16 A	MCMK 2x6+6	350	3,66	85	65
VLB2	e42-43	25 A	MMJ 4x6	50	3,66	558	180

Taulukoiden 15 ja 16 laskentatulosten mukaan vikasuojaus toimii vaaditulla 0,4 s poiskytkentäajalla lukuun ottamatta lannoitetehtaan 10 kV varasyötön ohjausjännitesyöttöä, jossa vikasuojaus ei toimi vaaditussa ajassa. Syynä tähän on kaapelin pieni poikkipinta-ala ja kaapelin pituus.

#### 8.2.4 DC-keskusten kaapelilähtöjen jännitteenalenema

Tasajännitteellä johtimen jännitteenalenemaan vaikuttaa johtimen resistanssi, pituus ja kuormitusvirta. jännitteenalenema lasketaan kaavalla

$$\Delta U = I * 2 * r * l \quad (45.)$$

jossa I on johtimen kuormitusvirta  
r on ominaisresistanssi (Ω/km)  
l pituus (km).

(Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2004a, 115.)

DC-keskuksilta lähtevien kaapeleiden jännitteenaleneman laskennassa käytettiin D1-käsikirjan talukon 41.6 ominaisresistansseja, jotka soveltuvat varsin hyvin jännitteenaleneman laskentaan tasavirralla. Jännitteenaleneman suositeltuna maksimiarvona laskennassa on käytetty samaa 4 % jännitteenalenemaa mikä on vaihtovirrallakin.

Lasketaan esimerkiksi jännitteenalenema DCC-keskuksen lannoitetehtaan varasyöttökaapelille. Varasyötön sulakkeina on 32 A gG-kahvasulakkeet, jolloin kaapelin suurin kuormitusvirta on 32 A. Varasyöttöyhteys on toteutettu MCMK 2x25+16 mm<sup>2</sup> kaapelilla typpihappotehtaan sähkötilaan asti, jossa kaapelityypiksi vaihtuu MCMK 2x16+16 mm<sup>2</sup>. Voimalaitokselta THT:n sähkötilaan on noin 100 m ja THT:n sähkötilasta lannoitetehtaalalle on noin 200 m. D1-käsikirjan taulukon 41.6 mukaan 25 mm<sup>2</sup> kuparijohtimen ominaisresistanssi on 0,898 Ω/km ja 16 mm<sup>2</sup> johtimen ominaisresistanssi 1,415 Ω/km. Jännitteenalenemaksi THT:n sähkötilaan asti tulee kaavan 45 mukaan laskettuna

$$\Delta U = 32 A * 2 * 0,898 \frac{\Omega}{km} * 0,1 km = 5,74 V \approx 6 V \quad (46.)$$

THT:n sähkötilan ja lannoitetehtaan väliselle MCMK 2x16+16 mm<sup>2</sup> kaapelille jännitteenalenemaksi tulee

$$\Delta U = 5,74 V + \left( 32 A * 2 * 1,415 \frac{\Omega}{km} * 0,2 km \right) = 23,9 V \approx 24 V \quad (47.)$$

Jännitteenalenema prosentteina LAT:n varasyötöllä on silloin kaavan 27 mukaisesti laskettuna

$$\Delta u = \frac{24 V}{220 V} * 100 \% = 10,9 \% \quad (48.)$$

Suosittelava jännitteenalenema liittymän ja sähköjohdon välillä on 4 %, mikä ei kaavan 48 lasketussa tapauksessa toteudu.

Kaikki verkon lasketut jännitteenalenemat DC-keskuksilta lähteville syöttökaapeleille ovat listattu taulukoihin 17 ja 18. Jännitteenaleneman raja-arvona on käytetty standardin mukaista 4 %:n alenemaa. Kaapeleiden kuormitusvirran arvoina on käytetty niitä suojaavan sulakkeen nimellisvirtaa ja kaapelien pituudet ovat arvioituja pituuksia.

TAULUKKO 17. Uuden DCC-keskuksen lähtöjen jännitteenalenema

	<b>Lähtö</b>	<b>Sulake</b>	<b>Kaapeli</b>	<b>Pituus (m)</b>	<b>r (Ω/km)</b>	<b>ΔU (V)</b>	<b>Δu (%)</b>
V53.13 Releteline	0201-F1	B25 A	MCMK 2x6+6	20	3,66	4	1,7
PAC3 Pasutto	0201-F5	B16 A	MCMK 3x6+6	100	3,66	12	5,3
Gen. kenttäkatkaisija	0206-F6	B16 A	MCMK 2x6+6	50	3,66	6	2,7
Uusi gen. ICJN01	0202-F4	B16 A	MMJ 3x6S	50	3,66	6	2,7
Uusi gen. ICHA01	0202-F5	B16 A	MMJ 3x6S	50	3,66	6	2,7
Uusi gen. ICXT01	0202-F6	B16 A	MMJ 3x2,5S	50	8,77	14	6,4
RHT2	0203A	20 A gG	MCMK 2x6+6	200	3,66	29	13,3
LAT varasyöttö (VL-THT)	0204A	32 A gG	MCMK 2x25+16	100	0,898	6	2,6
LAT varasyöttö (THT-LAT)			MCMK 2x16+16	200	1,415	24	10,8
VLB1	0204B	32 A gG	MCMK 2x6+6	40	3,66	9	4,3
RHT1 ohjaamo	0205A	20 A gG	MCMK 4x10+10	200	1,122	9	4,1
THT	0206B	63 A gG	MCMK 2x10+10	100	2,244	28	12,9
AMV	0301B	25 A gG	MCMK 2x10+10	400	2,244	45	20,4
VL7790 kotelo	0304	50 A gG	MCMK 2x10+10	5	2,244	1	0,5

TAULUKKO 18. Vanhan DC-keskuksen lähtöjen jännitteenalenema

	<b>Lähtö</b>	<b>Sulake</b>	<b>Kaapeli</b>	<b>Pituus (m)</b>	<b>r (<math>\Omega</math>/km)</b>	<b><math>\Delta U</math> (V)</b>	<b><math>\Delta u</math> (%)</b>
varavoimakone	e5-6	80 A	MMJ 4x16	10	1,415	2	0,9
VL514 hätäöljy- pumppu	e7-8	35 A	MMJ 4x6	30	3,66	5	2,5
VL7790 hätäöljy- pumppu	e11-12	20 A	MMJ 2x6	50	3,66	8	3,8
varavalaistus	e13-14	20 A	MMJ2x6	30	3,66	4	2,0
LAT 10 kV erottimen ohj. jännite	e25	B10 A	MMJ 2x2,5	300	8,77	53	23,9
GCS	e38-39	16 A	MCMK 2x6+6	350	3,66	41	18,6
VLB2	e42-43	25 A	MMJ 4x6	50	3,66	9	4,2

Taulukoiden 17 ja 18 mukaan jännitteenalenemavaatimukset eivät täyty kaikilla johdoilla, mikä osittain selittyy sillä, että kaapelipituudet eivät ole tarkkoja vaan osittain arvioitu hieman pidemmiksi. Myös kaapeleiden kuormitusvirrat ovat maksimikuormitusvirtoja ja normaalitilanteessa kuormitusvirran arvo voi olla pienempi. Yli 4 %:n jännitteenalenema on laskelmien mukaan 11 kaapelissa, joista kuudessa jännitteenalenema on yli 10 %. Laskentatulosten perusteella olisi syytä harkita kaapelin poikkipinta-alan suurentamista ainakin 10 % jännitteenaleneman ylittävillä kaapelilähdöillä.

### 8.3 Tasasähköverkon kehitysehdotukset

Tasasähköjakelun varmuutta voisi parantaa toteuttamalla ammoniakiaseman jakelu omalla paikallisakustolla. Akuston varauksen voisi tällöin toteuttaa sähköjakeluviasa ammoniakiaseman varavoimakoneella. Nykyisellä ammoniakiaseman ryhmäkeskuksen syöttöjohdolla jännitteenalenema on 20,4 %, mikä on liian suuri.

### 8.4 Yhteenveto akustovarmennetusta tasasähköverkosta

Verkon mitoitus on oikosulkusuojauksen osalta tehty varsin mallikkaasti lukuun ottamatta lannoite-  
tehtaan 10 kV erottimen ohjausjännitesyöttöä, jonka suojaus on puutteellinen. Verkon jännitteenalenemissa sen sijaan on enemmän puutteita. Jännitteenalenema on yli 4 % 11 syöttökaapelissa ja 6:ssa jännitteenalenema on yli 10 %. Näiden kaapeleiden poikkipinta-alan suurentamista täytyy harkita.

## 9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä varmennetun verkon selvitys Yaran Siilinjärven-tehtaiden rikkihappo- ja energiatuotantoyksikköön. Selvitystyössä tavoitteena oli käydä läpi varmennetun sähkönsyötön laitteet, tarkistaa verkon sähköiset mitoitusarvot sekä pohtia parannusehdotuksia.

Selvitystyö onnistui hyvin ja työn tuloksena saatiin päivitetty tieto varmennettuun verkkoon liitetyistä laitteista. Mitoituksen tarkistuksessa löytyi puutteita, joihin on annettu korjausehdotuksia. Selvityksessä ilmeni myös prosessilaitteita, joiden sähkönsyöttö kannattaisi varmentaa ja muita varmennetun verkon toimintaan liittyviä parannus- ja kehitysehdotuksia.

Työ kokonaisuutena oli todella mielenkiintoinen ja opettavainen. Aikaisempaa tietoa varmennetuista verkoista oli hyvin vähän ja opinnäytetyössä tuli perehdyttyä aiheeseen syvällisesti. Selvitystyö sisälsi paljon piirikaavioiden tutkimista ja kenttäselvitystä. Mitoituksen tarkastuksessa tuli tutuiksi sähkösuunnittelun mitoitusperusteet ja menetelmät sekä varmennetun verkon toteutuksen erityisvaatimukset. Uskon myös että opinnäytetyön aiheesta ja sen tuloksista on hyötyä työn toimeksiantajalle.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- ABB OY. Johdonsuojakatkaisijoiden selektiivisyystaulukko. [viitattu 2013-04-11]. Saatavissa: [http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/verifydisplay/26b7051f45e4e9ccc125707300247ed9/\\$file/s200\\_1fi05\\_01.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/verifydisplay/26b7051f45e4e9ccc125707300247ed9/$file/s200_1fi05_01.pdf)
- AURA, Lauri ja TONTERI, Antti J. 1986. Sähkämiehen käsikirja 1. Porvoo: WSOY:n graafiset laitokset.
- HIETALAHTI, Lauri 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Amk kustannus Oy Tammertekniikka.
- KALLIO, Raimo ja MÄKINEN, Markku J.J. 2004. Teollisuuden sähköasennukset, Keuruu: Kustannusosakeyhtiö Otava.
- MÖRSKY, Jorma 1992. Relesuojaustekniikka. Hämeenlinna: Otatieto Oy.
- PIHKALA, Juhani 2011. Prosessitekniikka: prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit, Helsinki: Opetushallitus.
- ROUVALI, Juhani 2011. Sähkönjakelutekniikka 2. Luentomoniste. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.
- SFS 6000-5-525 2007. Pienjännitesähköljärjestelmät. Osa 5-525 Jännitteenalenema kuluttajan sähköasennuksissa. 1.painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- ST 52.35.01. 2010. UPS-laitteet ja järjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.
- SÄHKÖTIETO RY 2005. Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät, ST-käsikirja 20. Espoo: Sähköinfo Oy.
- SÄHKÖ- JA TELEURAKOITSIJALIITTO STUL RY. 2004a. Johdon mitoitus ja suojaus. Espoo: Sähköinfo Oy.
- SÄHKÖ- JA TELEURAKOITSIJALIITTO STUL RY. 2004b. Sähköasennustekniikka 1. Espoo: Sähköinfo Oy.
- SÄHKÖ- JA TELEURAKOITSIJALIITTO STUL RY. 2010. D1-2009 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähköinfo Oy.
- YARA SUOMI. 2013a. Yara yritys [yrityksen www-sivu] [viitattu 2013-04-11]. Saatavissa: <http://www.yara.fi/about/index.aspx>
- YARA SUOMI. 2013b. Yara Suomessa [yrityksen www-sivu] [viitattu 2013-04-11]. Saatavissa: [http://www.yara.fi/about/yara\\_in\\_finland/index.aspx](http://www.yara.fi/about/yara_in_finland/index.aspx)
- TALLBERG TECH OY AB: Bernard-moottoritoimilaite-esite. [verkkodokumentti] [viitattu 2013-04-11]. Saatavissa: <http://www.tallberg.fi/tallbergtech/useruploads/files/Brochure%20ST-range%20A114-02.pdf>
- HAGER: Hager-johdonsuojakatkaisijat. [verkkodokumentti] [viitattu 2013-04-11]. Saatavissa: [http://www.utupowel.fi/liitetiedosto.aspx?att=PDF/hager/tekniset\\_tiedot/6\\_johdonsuojat\\_t.pdf&s=2](http://www.utupowel.fi/liitetiedosto.aspx?att=PDF/hager/tekniset_tiedot/6_johdonsuojat_t.pdf&s=2)

LIITE 1

VARMENNETUN VERKON KUORMITUS

Keskus V01-17.1 pasutto 3

Positio	Laite	P (kW)	I (A)
PB 174	PAS 3 lieriön pohjapuh. Venttiili	0,5	1,5
PB 181	PAS 3 starttiventtiili	1	1,5
PB 182	PAS 3 pähöyryventtiili	0,7	2,0
PB 183	PAS 3 syve-eko venttiili	0,1	0,6
PB 184	PAS 3 syve varaventtiili	0,1	0,6
	kuormitus yhteensä	2,4	6,2
	todellinen maksimikuormitus	1,8	4,1
	<b>tasauskerroin 0,8</b>	<b>1,4</b>	<b>3,3</b>

Keskus V01-17.2 RHT apuohjaamo

Positio	Laite	P (kW)	I (A)
RB870.3	RHT 2 PKP hätäöljypumppu	0,55	1,15
	Instrumentointi + muut laitteet	0,5	0,72
	<b>kuormitus yhteensä</b>	<b>1,05</b>	<b>1,87</b>

Keskus V01-17.3 voimalaitos

Positio	Laite	P (kW)	I (A)
VL510.1	SX01-2 kierrosluvun asetin	0,12	0,75
	Instrumentointi + muut laitteet	0,5	0,72
	<b>kuormitus yhteensä</b>	<b>0,62</b>	<b>1,47</b>

Keskus V01-17.4 pasutto 2

Positio	Laite	P (kW)	I (A)
PA680	PAS 1 syve varaventtiili	0,11	0,6
PA681	PAS 2 syve varaventtiili	0,11	0,6
PA690	PAS 1 starttiventtiili	0,37	1,5
PA691	PAS 2 starttiventtiili	0,37	1,5
PA692	PAS 1 pähöyryventtiili	0,37	1,5
PA693	PAS 2 pähöyryventtiili	0,37	1,5
PA694	PAS 1 syve eko venttiili	0,12	0,5
PA695	PAS 2 syve eko venttiili	0,12	0,5
	kuormitus yhteensä	1,9	8,2
	todellinen maksimikuormitus	1,7	7,0
	<b>tasauskerroin 0,8</b>	<b>1,4</b>	<b>5,6</b>

Keskus V01-17.5 voimalaitos

<b>Positio</b>	<b>Laite</b>	<b>P (kW)</b>	<b>I (A)</b>
VL505	reduktioventtiili	0,25	0,95
VL505.1	ruiskutusveden sulkuventtiili	0,75	2,5
VL505.2	ruiskutusveden säätöventtiili	0,27	0,77
VL506	reduktioventtiili	2,2	3,8
VL506.1	ruiskutusveden säätöventtiili	0,12	0,43
VL507	reduktioventtiili	0,37	1,15
VL470.6	apukattilan starttiventtiili	0,37	1,5
VL501.4	höyry 65 bar typeltä	0,9	2,7
RC137	JUP määräsäätö	0,025	0,4
RC145	höyry reduktio PC	0,045	0,38
RC146	höyry reduktio TC	0,025	0,4
RC149	höyry reduktiolta	0,37	1,7
RC152	60 bar höyry voimalaitokselta	0,37	1,7
RC153	60 bar höyry vesitys voimalaitokselta	1,5	3,6
	yhteensä	7,7	22,0
	todellinen maksimikuormitus	5,3	15,2
	<b>tasauskerroin 0,8</b>	<b>4,3</b>	<b>12,1</b>

Varmennetun verkon kuormitus

		<b>Nimellinen huip- pukuormitus</b>		<b>Todellinen huippu- kuormitus</b>		<b>Tasattu kuormitus (korjauskerroin 0,8)</b>	
		<b>P (kW)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>I (A)</b>
voimalaitos	V01-17	13,8	39,8	10,6	29,7	8,9	24,4
pasutto 3	V01-17.1	2,4	6,2	1,8	4,1	1,4	3,3
RHT	V01-17.2	1,1	1,9	1,1	1,9	1,1	1,9
voimalaitos	V01-17.3	0,6	1,5	0,6	1,5	0,6	1,5
pasutto 2	V01-17.4	1,9	8,2	1,7	7,0	1,4	5,6
voimalaitos	V01-17.5	7,7	22,0	5,3	15,2	4,3	12,1