

Matti Lassila

JÄRVENPÄÄN CHP-PROJEKTI

Kaapelien mitoitus

Opinnäytetyö
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Huhtikuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>	<p>Opinnäytetyön päivämäärä</p> <p>2.4.2012</p>	
<p>Tekijä(t) Matti Lassila</p>	<p>Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikan koulutusohjelma Sähkövoimatekniikka</p>	
<p>Nimeke Järvenpään CHP-projekti: Kaapelien mitoitus</p>		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä kaapelien mitoitus Järvenpään rakennettavan lämmön ja sähkön yhteistuotantovoimalaitoksen pienjännitelaitteille. Kaapelit mitoitetaan standardien sekä projekti-kohtaisten vaatimusten mukaan.</p> <p>Mitoitustaulukot tehdään suorille moottorikäyttöille, taajuusmuuttajakäyttöille sekä suorille sulakesyötöille. Syöttöjä mitoittaessa tarkastellaan sulakkeen ja kaapelin valinnan, jännitteen aleneman kuormitusvirralla, jännitteen aleneman moottorin käynnistyessä sekä oikosulkusuojauksen toimivuuden vaikutusta kaapelikokoon, suojalaitteisiin sekä kaapelin maksimipituuteen. Mitoituksista tehdään Excel-pohjaiset mitoitustaulukot ja lisäksi ne syötetään laitekohtaisesti tietokantaohjelmaan.</p> <p>Työn tuloksena saadaan rakennettavalle voimalaitokselle mitoitustaulukot, joiden perusteella voidaan varmistua sähkölaitteiston kaapeloinnin toimivuudesta sekä turvallisuudesta. Lisäksi mitoitustuloksista koottua dokumentaatiota voidaan hyödyntää tai esittää tarvittaessa. Tämän opinnäytetyön pohjalta on myös tarkoitus laatia mitoitusohje, jota voidaan käyttää apuna tulevilla projekteilla.</p>		
<p>Asiasanat (avainsanat)</p> <p>mitoitus, mitoittaminen, CHP, lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitos</p>		
<p>Sivumäärä 52 + 14 liitettä</p>	<p>Kieli Suomi</p>	<p>URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201204174578</p>
<p>Huomautus (huomautukset liitteistä)</p>		
<p>Ohjaavan opettajan nimi Arto Kohvakka</p>	<p>Opinnäytetyön toimeksiantaja Pöyry Finland Oyj/ IPEC/ Kouvola</p>	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 2.4.2012
Author(s) Matti Lassila	Degree programme and option Electrical engineering Electrical power engineering	
Name of the bachelor's thesis Järvenpää CHP-project: dimensioning of the cables		
Abstract The purpose of this thesis is to do the dimensioning for the cables of low voltage equipment of CHP plant which is under construction in Järvenpää. Cables are dimensioned according to the standards and given instructions. Rating tables are made for direct motor drives, frequency converter drives, fuse-protected direct feeders and for automatic feeders. Fuse and cable size, voltage drop caused by load current, voltage drop caused by start-up current when starting a motor and performance of short circuit protection influence to cable size, protection devices and to maximum length of the cable are examined while dimensioning. Excel-based rating tables are made of dimensions. They are also entered to database program. As a result of this work there are rating tables which ensure that the cabling of electrical equipment is functional and safe. This work also produces documentation of dimensioning results which can be presented when necessary. This work can also be used to make guidelines for dimensioning that can be used in similar projects in future.		
Subject headings, (keywords) dimensioning, CHP, combined heat and power plant		
Pages 52 + 14 appendix	Language Finnish	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201204174578
Remarks, notes on appendices		
Tutor Arto Kohvakka	Bachelor's thesis assigned by Pöyry Finland Oyj/ IPEC/ Kouvola	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	PÖYRY FINLAND OYJ.....	2
2.1	Suunnittelujärjestelmä.....	2
2.1.1	ProElina.....	2
2.1.2	WebPub.....	3
2.1.3	Virtual Mill.....	3
3	JÄRVENPÄÄN CHP-PROJEKTI.....	4
3.1	Yleistä.....	4
3.2	Vastuualueet ja toimitussisällöt	6
4	TILAAJA JA PÄÄTOIMITTAJAT.....	7
4.1	Fortum Power and Heat Oy.....	7
4.2	Metso Power Oy	8
4.3	MAN Diesel & Turbo SE.....	8
4.4	BMH Technology Oy.....	8
5	PROSESSIKUVAUS	9
5.1	Biopolttoaineen käsittely	9
5.2	Leijupetipolttoteknologia	10
5.3	Höyryprosessi	12
5.4	Maakaasunpolttoprosessi.....	13
6	SÄHKÖLAITTEISTO	13
6.1	Pääsyöttö.....	13
6.2	Muuntajat.....	14
6.3	Kiskosillat.....	15
6.4	Päikeskukset.....	16
6.5	Diesel-varavoimageneraattori.....	17
6.6	UPS-järjestelmä	17
6.7	DC-järjestelmä	18
6.8	Ilmakatkaisijat.....	18
6.9	Suojalaitteet	19
6.10	Taajuusmuuttajat.....	19
6.10.1	Taajuusmuuttajakäytön edut.....	20

6.10.2	Rakenne.....	20
6.10.3	Säätötavat	21
6.11	Suoraan verkkoon kytketyt oikosulkumoottorit	22
6.12	Moottoriventtiilit	24
7	KAAPELITYYPIT	24
7.1	Voima- ja moottorikaapelit	24
7.2	110 kV syöttökaapelit.....	25
7.3	Turvakytkimen ja moottorin väliset kaapelit	25
7.4	Ohjauskaapelit	25
7.5	Instrumentointikaapelit.....	26
7.6	Kaapelitikkaat ja -hyllyt	26
8	SÄHKÖASENNUSSTANDARDIT	27
9	MITOITTAMISEN TEORIAA	27
9.1	Suosituimmuuskaapelit	28
9.2	Taloudellinen mitoitus.....	28
9.3	Jännitteen alenema	29
9.4	Oikosulkukestoisuus	30
9.5	Kuormitettavuus.....	31
9.6	Ylivirta, ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus	32
9.6.1	Sulake.....	34
9.6.2	Sulakkeen katkaisualue ja käyttöluokka	34
10	MITOITUSLASKENTA	35
10.1	Ols-Consult Oy	36
10.2	Mitoituksen kulku	36
10.3	Voimalaitoksen sähköverkon tiedot.....	37
10.4	Kaapelien kuormitettavuus	38
10.5	Ylikuormitussuojauksen valinta.....	39
10.6	Jännitteen alenema	39
10.7	Jännitteen alenema moottorin käynnistyessä.....	40
10.8	Rajapituus laukaisuvirran ja laukaisuajan mukaan	41
10.9	Suoraan verkkoon kytketyt moottorikäytöt	42
10.10	Taajuusmuuttajakäytöt	43
10.11	Suorat sulakesyötöt	44
10.12	Moottoriventtiilien syötöt.....	44

11	YHTEENVETO MITOITUKSESTA	44
12	POHDINTA	48
	LÄHTEET	50

LIITTEET

- Liite 1. 400V 1500 kVA, Suorat moottorisytöt
- Liite 2. 400V 1500 kVA, Taajuusmuuttajasyötöt
- Liite 3. 400V 1500 kVA, Suorat sulakesytöt
- Liite 4. 400V 1500 kVA, Johdonsuojakatkaisijasyötöt
- Liite 5. 400V 1500 kVA, Moottoriventtiilien syötöt
- Liite 6. 690V 3150 kVA, Suorat moottorisytöt
- Liite 7. 690V 3150 kVA, Taajuusmuuttajasyötöt
- Liite 8. 690V 3150 kVA, Suorat sulakesytöt
- Liite 9. 110 kV vikavirrat
- Liite 10. Pääkeskuksiin asennetut tehot
- Liite 11. Korjauskerroin
- Liite 12. Esimerkit jännitteen alenema mitoitusdokumenteista
- Liite 13. Esimerkki moottorin käynnistyksen aiheuttamasta jännitteen alenema
mitoitus dokumentista
- Liite 14. Esimerkki oikosulkusuojaus-mitoitusdokumentista

LYHENNELUETTELO

A	ampeeri, virran yksikkö
AC	<i>Alternating current</i> ; vaihtovirta
Bar	baari, paineen lisäyksikkö
BFB	<i>Bubbling Fluidized Bed</i> ; leijupetipoltto
BOP	<i>Balance Of Plant</i>
CHP	<i>Combined Power and heat</i> ; sähkön ja lämmön yhteistuotanto
DC	<i>Direct current</i> ; tasavirta
DTC	<i>Direct Torque Control</i> ; suora momenttisäätö
DOL	<i>Direct On Line</i> ; Suora moottorikäyttö
EMC	<i>Electromagnetic compatibility</i> ; sähkömagneettinen yhteensopivuus
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> ; kansainvälinen standardointiorganisaatio
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i> ; suuritehoinen bipolaaritransistori, jonka hila on eristetty
kA	kiloampeeri
kg/s	kilogrammaa per sekunti, massavirta
kVA	kilovolttiampeeri, näennäistehon yksikkö
MW	megawatti, tehon yksikkö
MWDH	megawatti, kaukolämmön tehon yksikkö
MWe	megawatti, sähkötehon yksikkö
MWth	megawatti, lämpötehon yksikkö
PVC	polyvinyylidikloridi, muovi
REV	<i>Reverse</i> ; suunnanvaihto moottorikäyttö
SFS	Suomen standardoimisliitto ry
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i> ; häiriötön sähkönsyöttö
V	voltti, jännitteen yksikkö
VAC	vaihtojännite
VDC	tasajännite
VRLA	<i>Valve Regulated Lead Acid</i> ; suljettu lyijyakku

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee Järvenpään rakenteilla olevan CHP-voimalaitoksen kaapelien mitoitus. Oma mitoitusalueeni käsittää vain pienjännitekaapelit. Kaapelit asennetaan kaapelihyllyille, joille on laskettava menekki ja suunniteltava sijoittelu. Projektin päätilaaja on Fortum Power and Heat Oy ja päätoimittajat ovat Metso Oy, MAN Diesel & Turbo SE sekä BMH Technology Oy.

Mitoittamiseen käytetään Fingridiltä saatuja verkon tietoja, Netplanilla laskettuja verkon arvoja, laiteoimittajilta saatuja suojauslaite- ja moottoritietoja, päätoimittajilta saatuja layout- sekä sijoituskuvia sekä Olavi Sundbergin suunnittelemaa Excel-pohjaista laskentaohjelmaa. Kyseinen laskentaohjelma käyttää hyväkseen IEC- sekä SFS-standardeissa asetettuja mitoitussehtoja sekä eräältä laitevalmistajalta saatuja kaapelien ominaisarvoja.

Vastuualueeseeni kuului kaapelien johdinmateriaalin ja poikkipinta-alan valitseminen niin, että IEC-standardit täyttyvät. Kaikki moottorisytöt mitoitetaan yhtä teholuokkaa suuremmiksi kuin optimaalinen. Valmiit mitoitukset syötetään suunnittelutyökalua hyväksi käyttäen tietokantaan.

Opinnäytetyöni tarkoitus on tämän projektin ja siihen liittyvien mitoituksien lisäksi toimia apuna sekä referenssinä kaapelimitoituksille vastaavissa projekteissa. Tosin mitoitusaulukoiden käyttö sellaisinaan ei ole suotavaa, koska mitoitukset tehdään aina tapauskohtaisesti. Kuitenkin tätä työtä on mahdollista käyttää ohjenuorana siitä, mitä kaikkea mitoittaessa on otettava huomioon.

Työn toimeksiantaja on Markku Huttunen Pöyry Finland Oy:stä. Huttunen toimii Kouvolan Project Execution Centren sähköosaston esimiehenä. Pöyry on maailmanlaajuinen konsultointi- ja suunnitteluyhtiö, jolla on palveluksessaan 7000 asiantuntijaa sekä paikalliskonttoreita noin 50:ssä eri maassa

2 PÖYRY FINLAND OYJ

Pöyryn tarina alkoi vuonna 1958 Äänekosken sulfaattitehtaan suunnittelusta. 1960-luvulla pohjoismaisen puunjalostusalan laajentuessa Pöyry avasi ensimmäisen ulkomaassa sijaitsevan toimiston Tukholmaan. 1970-luvulla Pöyrystä tuli yksi suurimmista kansainvälisesti metsäalalla toimivista itsenäisistä konsultointi- ja rakennussuunnitteluyrityksistä. 1980-luvulla laajentuminen jatkui ympäri maailmaa mm. Kaakkois-Aasiaan ja Australiaan. 1990-luvulla konsernin toiminta laajentui energia-, infrastruktuuri- ja ympäristöalalle sekä Pöyry listautui Helsingin pörssiin.

Nykyään Pöyry on maailmanlaajuinen konsultoinnin ja suunnittelun asiantuntija toimien seuraavilla aloilla: vesivoima, sähkö ja lämpö, uusiutuva energia, sellu- ja paperiteollisuus, kemian prosessiteollisuus, liikennejärjestelmät, vesi ja ympäristö sekä rakentamisen palvelut. Yrityksellä on 7000 asiantuntijaa 49 maassa.

/1/

2.1 Suunnittelujärjestelmä

Vuodesta 1975 asti on Pöyryllä käytetty tietokonepohjaisia suunnittelujärjestelmiä. Nykyteknologia on mahdollistanut toteutuksen ajatuksille ja ideoille, joita Paul Talvio kehitti 1970-80-luvulla tehdasmallinnuksesta. Nykyään käytössä olevat tietokantaohjelmistot mahdollistavat suurienkin projektien onnistumisen suunnittelun, toteutuksen sekä dokumentaation osalta. Suunnittelun ja projektin toteutuksen lisäksi tietokantaohjelmiin syötettyjä tietoja voidaan hyödyntää myös valmistuneen projektin käytössä.

2.1.1 ProElina

ProElina-järjestelmä on ollut käytössä vuodesta 1992 aluksi DOS-käyttöjärjestelmällä ja vuodesta 1995 Windows-pohjaisena. Sitä on käytetty noin 50 suuressa sellu- ja paperitehdasprojektissa. ProElina-järjestelmää voidaan käyttää tehokkaasti suunnittelutyön toteutukseen etänä tai hajautetusti, koska eri lähteistä tallennetut tiedot tallentuvat yhteen paikkaan.

ProElina on osa Virtual Mill-konseptia, jossa se toimii työkaluna mekaaniselle suunnittelulle sekä prosessi-, sähkö- ja automaatio suunnittelulle. ProElina yhdistää edellä mainittuja suunnittelun osa-alueita identifioimalla projektin eri osiot ja niiden väliset yhteydet sekä tekniset tiedot. Sillä voidaan tuottaa automaattisesti dokumentaatio, joka sisältää piirustukset, listat ja muut tekniset dokumentit. Tietokanta sisältää prosessilaitteiston, säiliöt, pumput, putket ja venttiilit sekä niiden tekniset tiedot kuten kapasiteetit, koot, tehovaatimukset, putkiyhteet sekä operatiiviset tiedot kuten virtausarvot, paineet ja koostumukset. Sähköpiireille voidaan piirikohtaisesti määrittää mihin keskuksiin ne on kytketty, ohjauskaapelien tyypit ja kytkennät, syöttökaapelien koot ja tyypit sekä suoja- ja ohjauslaitteiden tyypit ja tiedot.

Muu dokumentaatio kuten toimittajien käyttöohjeet ovat linkitettyinä objekteihin. ProElinaan syötetyt tiedot ja dokumentit ovat asiakkaan katsottavissa ja käytettävissä verkkopohjaisessa käyttöliittymässä nimeltä WebPub. /2/

2.1.2 WebPub

WebPub on verkkopohjainen käyttöliittymä Virtual Mill-järjestelmälle. WebPub toimii käyttäjän tietokirjastona, josta saa helposti suunnittelutyökaluilla tuotetut viimeisimmät tiedot käyttöön. WebPubista on pyritty saamaan mahdollisimman käyttäjäystävällinen ja koska se on verkkopohjainen, ei sen käyttämiseen tarvita erillistä ohjelmaa, joka helpottaa sen selaamisen lisäksi eri toimijoiden dokumenttien julkaisemista. Internetselain myös suojaa dokumentteja, ettei käyttäjä voi tehdä niihin muutoksia vahingossa.

WebPubiin voidaan julkaista ja päivittää dokumentteja reaaliajassa, jolloin käyttäjällä on aina viimeisin tieto saatavana. Sähköinen arkistointi ei aiheuta ongelmia tilojen riittävyys kanssa eikä arkiston selaamista ole sidottu paikkaan. /2/

2.1.3 Virtual Mill

Virtual Mill-konsepti yhdistää ohjelmistotyökalut (ProElina, Jalina, ModeAcad, UserReports ja WebPub) yhdeksi kokonaisuudeksi. Ohjelmistotyökalujen käyttötarkoitukset ovat seuraavat: ProElina, teknisten tietojen hallinnointi; Jalina, prosessien ja

piirien toiminnallisten kuvausten hallinnointi; ModeAcad, AutoCAD-ohjelmat dokumenttien tuottamiseen; UserReports, raportointisovellus ja WebPub, tietojen selaus ja tulostus.

Virtual Mill sisältää laitoksen kaikki osa-alueet: suunnittelu, rakentaminen, asennus, käynnistys, käyttö ja huolto. Virtual Mill-konseptiin voidaan myös yhdistää muita laitossovelluksia. Virtual Mill-konseptin tietokanta sisältää teknisen ja toiminnallisen mallin laitoksesta sekä laitoksen positionumerot, teknisten komponenttien tiedot, komponenttien väliset liitännät ja komponenttien kytkennät muihin komponentteihin.

/2/

3 JÄRVENPÄÄN CHP-PROJEKTI

3.1 Yleistä

Fortum Heat and Power Oy rakentaa Järvenpään sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksen (*Combined Heat and Power, CHP*). Sähkön ja lämmön yhteistuotannolla tarkoitetaan sitä, että samassa prosessissa tuotetaan sekä sähköä että lämpöä. Sähköä tuotetaan höyryturbiinilla ja sähköä tuottaessa syntyvää lämpöä hyödynnetään kaukolämpönä.

Laitoksen on tarkoitus vähentää Järvenpään hiilidioksidipäästöjä noin 70 000 tonnia vuodessa, investointi lisää myös paikallisten polttoaineiden käyttöä. CHP-voimalaitos korvaa olemassa olevan maakaasulla ja raskaalla polttoöljyllä toimineen lämpölaitoksen, joka jää toimintaan varajärjestelmänä osana voimalaitosta. Uusi laitos käyttää 80 % biopolttoainetta, joita ovat: metsätähdehake, metsäteollisuuden sivutuotteet kuten puru ja kuori sekä turve. Laitos on tarkoitus ottaa tuotantokäyttöön 30.11.2013.

Sähkön ja lämmön yhteistuotannolla tarkoitetaan tuotantomuotoa, jossa sähköä tuottaessa syntyvä lämpö hyödynnetään joko kaukolämpönä tai jossain muussa teollisessa prosessissa. Yhteistuotannolla pyritään korkeampaan hyötysuhteeseen, joka selittyy sillä, että käytettyä polttoainetta voidaan käyttää monipuolisemmin hyödyksi.

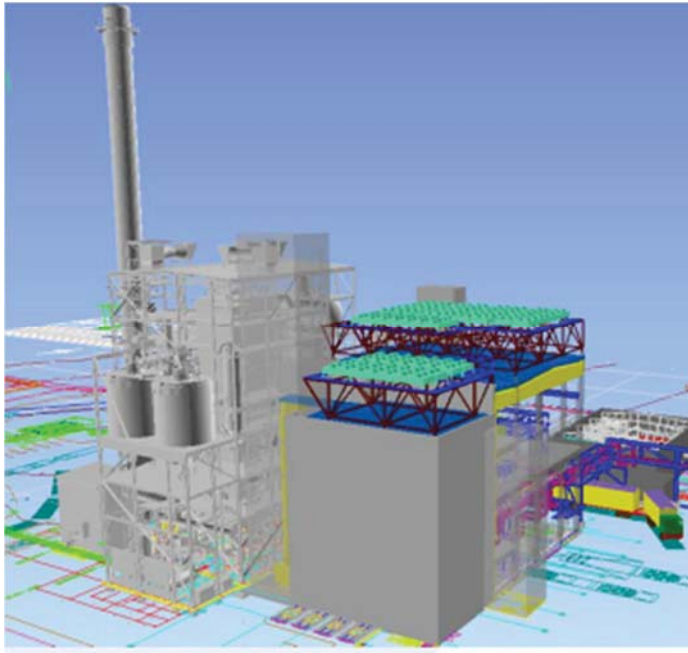
Kaasuturbiinivoimalaitoksissa lämpö kerätään polttoprosessissa syntyvistä palokaasuista.

Kun lauhdutusvoimaloissa tuotetaan vain sähköä saattaa voimalan hyötysuhde olla vain 35 %, kun taas yhteistuotantolaitoksissa hyötysuhde voi parhaimmillaan olla jopa 90 %. Uusi voimalaitostekniikka mahdollistaa, että voimala voi tuottaa enemmän sähköä suhteessa lämpöön, kun vanhemmalla tekniikalla suhde on päinvastainen.

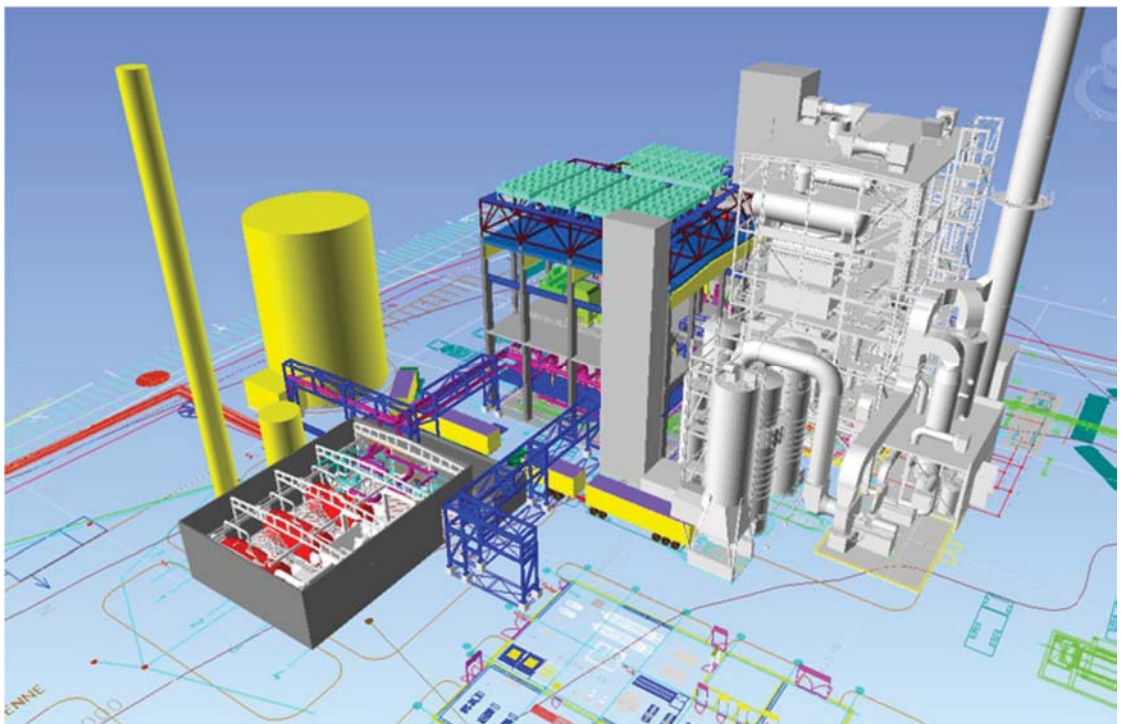
Höyrykattila käyttää leijupetipolttoratkaisua, joka mahdollistaa biomassan ja muiden vaativien polttoaineiden käytön. Suunnitteilla olevan CHP-laitoksen polttoaineena voidaan käyttää biomassaa, turvetta, luonnonkaasua tai kevyttä polttoöljyä. Hanke auttaa hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä sekä kasvattaa paikallisten biopolttoaineiden käyttöä. Euroopan unionin valtioilta edellytetään, että kokonaisenergiankulutuksesta 20 % katetaan uusiutuvilla energianlähteillä 2020 vuoteen mennessä. Suomessa uusiutuvat energianlähteet kattavat 28 % kokonaiskulutuksesta ja tavoite on nostaa uusiutuvien energianlähteiden osuus 38 %:iin vuoteen 2020 mennessä.

Projekti koostuu höyrykattilalaitoksesta, joka tuottaa 77 MWth lämmitystehoa, höyryturbiinilaitoksesta, joka tuottaa 23,3 MWe sähkötehoa, polttoaineenkäsittelylaitteistosta sekä BOP-alueesta, joka koostuu sähkön ja lämmön tuotantoprosessien ulkopuolisista apujärjestelmistä kuten sähkö- ja automaatiolaitteisto sekä vesi- ja kaukolämpö-
laitoksesta. Kaukolämmön kapasiteetti on 44 MWDH.

Projektin päätoimittajat ovat Metso Power Oy (höyrykattilatoimittaja), MAN Diesel & Turbo SE (höyryturbiinitoimittaja) ja BMH Technology (polttoaineenkäsittelyjärjestelmän toimittaja). Suunnittelusta, hankinnasta ja rakennusjohdosta vastaa Pöyry Finland Oyj. /3/ /4/



KUVA 1. Järvenpään CHP-projekti, Fortum Power and Heat Oy /3/



KUVA 2. Järvenpään CHP-projekti, Fortum Power and Heat Oy /3/

3.2 Vastualueet ja toimitussisällöt

Voimalaitos koostuu kolmesta päärakennuksesta: kattilalaitoksesta, höyryturbiinigeneraattorista ja polttoaineen käsittelystä. Metson toimitukseen kuuluvat kattilalaitoksen laitteiston ja järjestelmän lisäksi syöttövesijärjestelmä, savukaasujen jäähdy-

tys sekä kattilarakennus. MAN Diesel & Turbo SE:n toimitukseen kuuluvat höyryturbiinigeneraattori sekä kyllästetyn veden jäähdyttimet, lauhdutinpumput, lauhdeveden esilämmittimet ja jäähdytyspumput, venttiilit sekä turbiinin voitelujärjestelmä, vaihteisto, jäähdytysjärjestelmä, kääntökoneisto, lauhdutinpumput, sähköjärjestelmä ja instrumentointi. BMH Technology Oy toimittaa biopolttoaineen käsittelylaitoksen, johon kuuluvat biopolttoaineen vastaanotto, varastointi- ja kuljetusjärjestelmät, seulo, murskain sekä biopolttoaineen käsittelyyn kuuluvat rakennukset.

Pöyry Finland Oyj:n vastuualueeseen kuuluvat voimalaitoksen alueet ja alajärjestelmät, jotka eivät sisälly päätoimittajien toimitukseen. Näitä ovat BOP-alue, vedenkäsittelylaitos, kaukolämpöjärjestelmä, sähköjärjestelmä sekä instrumentointijärjestelmä.

Instrumentointi- ja huoltoilmajärjestelmä sisältää kompressorin, painesäiliöt ja kuivauskoneen. Pöyryn vastuualueeseen kuuluu koko voimalaitoksen sähköistys. Sähköjärjestelmään kuuluvat höyryturbiinigeneraattorin muuntajat, omakäyttö muuntajat, jakelumuntajat, keski- ja pienjännitekojeistot, avokiskot, akustot, valaistus, kaapelointi, UPS-järjestelmä ja tasavirta- ja vaihtovirtajärjestelmät. /3/

4 TILAAJA JA PÄÄTOIMITTAJAT

4.1 Fortum Power and Heat Oy

Fortumin toimintaan kuuluvat sähkön ja lämmön tuotanto, myynti ja jakelu, voimalaitosten käyttö- ja kunnossapitopalvelut, sekä muita energian liittyviä palveluita. Fortum perustettiin vuonna 1998 yhdistämällä Imatran Voima Oy ja Neste Oyj. Imatran Voima oli vuonna 1932 perustettu yhtiö, joka hallinnoi ja käytti Imatrankosken vesivoimalaitosta. Se harjoitti pääasiassa sähkön ja lämmön tuotantoa.

Yhtiö omisti myös joukon muita voimalaitoksia, joista suurin oli Loviisan ydinvoimalaitos. Neste Oy oli öljynjalostamo joka perustettiin vuonna 1948. Molemmissa edellä mainituissa yhtiöissä oli enemmistöomistajana Suomen Valtio.

Vuonna 1998 nämä kaksi yhtiötä fuusioituivat Fortum Oyj:ksi, joka kuitenkin jakautui 2004 kahdeksi yhtiöksi. Fortum jatkoi sähkön ja lämmön tuotantoa ja Neste Oil keskittyi öljyliiketoimintaan. Fortum Power and Heat Oy on Fortumin tytäryhtiö, joka on keskittynyt sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitosten rakentamiseen.

4.2 Metso Power Oy

Metso on kansainvälinen teknologiakonserni, jonka erikoisosaamista ovat teknologia- ja palveluratkaisut kaivos-, maarakennus-, voimantuotanto-, öljy- ja kaasu-, kierrätys- sekä massa- ja paperiteollisuudelle. Metsolla on suunnittelu, tuotanto, hankinta ja palvelu liiketoimintaa sekä myyntitoimintaa yli 300 yksikössä yli 50 maassa, ja se työllistää noin 29 000 osaaajaa maailmanlaajuisesti.

Voimantuotannon osuus vuoden 2010 liikevaihdosta oli 11 %. Metso Power Oy on osa Metso Oyj konsernia. Metson juuret ylettävät aina 1700-luvulle asti. Metso syntyi, kuin Valmet ja Rauma yhdistyivät 1.7.1999. Järvenpään CHP-voimalaitos projektissa Metso toimii päätoimittajana ja vastaa höyrykattilalaitoksen toimittamisesta. /5/

4.3 MAN Diesel & Turbo SE

MAN Diesel & Turbo valmistaa dieselkoneita pääasiassa laiva- ja voimalaitoskäyttöihin. Yritys työllistää 12 500 henkilöä ja on edustettuna yli 150 maassa. Pääkonttori sijaitsee Augsburgissa Saksassa. Yritys on vaikuttanut teollisuudessa yli 250 vuotta. /6/

4.4 BMH Technology Oy

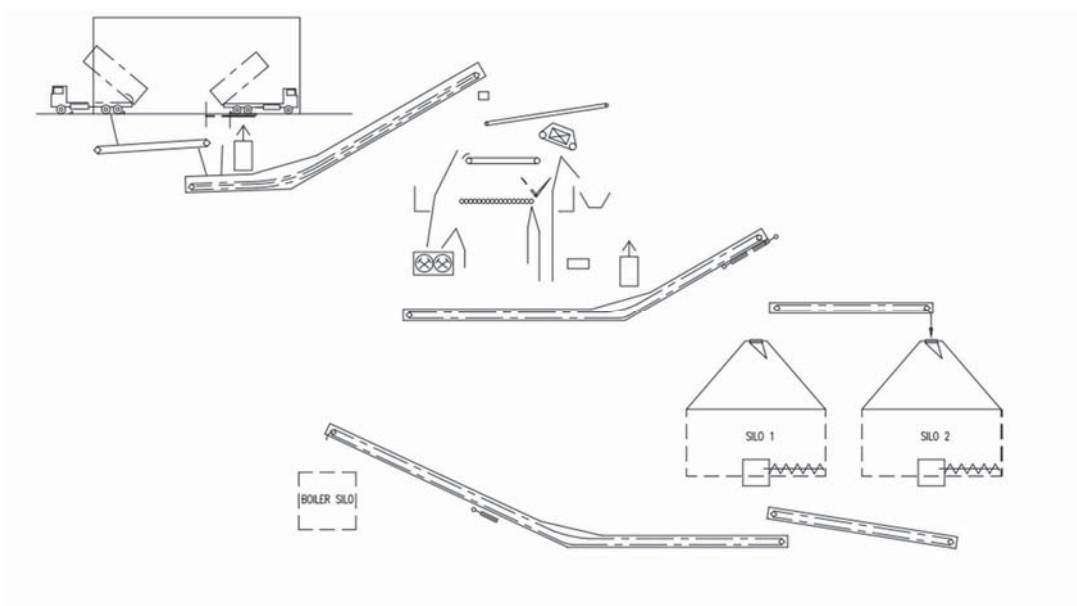
Raumalla sijaitseva BMH Technology Oy on erikoistunut toimittamaan kiinteän jätteen ja biomassan käsittelyjärjestelmiä avaimet käteen -periaatteella. BMH Technology Oy kuuluu Hollming konserniin, johon yhtiö liittyi vuonna 2007. /7/

5 PROSESSIKUVAUS

Pääpiirteittäin CHP-voimalaitoksen sähkön ja lämmön yhteistuotantoprosessi etenee seuraavanlaisesti. Biopolttoaine kuljetetaan kuorma-autoilla biopolttoaineen käsittelyyn, jossa se murskataan, seulotaan ja siirretään siiloihin varastoitavaksi. Siiloista sitä annostellaan kattilaan poltettavaksi. Polttoprosessista saadulla lämmöllä kuumennetaan höyryä, jota käytetään höyryturbiinin pyörittämiseen. Höyryturbiinin akselilta saatu mekaaninen teho muunnetaan generaattorilla sähköksi, jota syötetään jakeluverkkoon. Polttoprosessissa syntyvistä savukaasuista otetaan lämpö talteen ja se jaetaan kaukolämpöverkkoon.

5.1 Biopolttoaineen käsittely

BMH:n toimittama biopolttoaineiden käsittelyjärjestelmä sisältää polttoaineen vastaanoton, murskauksen ja seulomisen, varastoinnin ja talteenoton sekä kuljetuksen kattilalle. Prosessi alkaa biopolttoaineen vastaanotosta, jossa biopolttoainetta kuljettava kuorma-auto kippaa kuormansa kuljettimelle. Kuljetin siirtää biopolttoaineen sellaisenaan murskaimelle ja seulomolle. Kun biopolttoaine on murskattu ja seulottu haluttuun muotoon, siirtyy se kuljettimella varastointisiiloihin. Varastointisiiloista polttoaine annostellaan kuljettimelle, joka kuljettaa sen kattilan palotilaan.



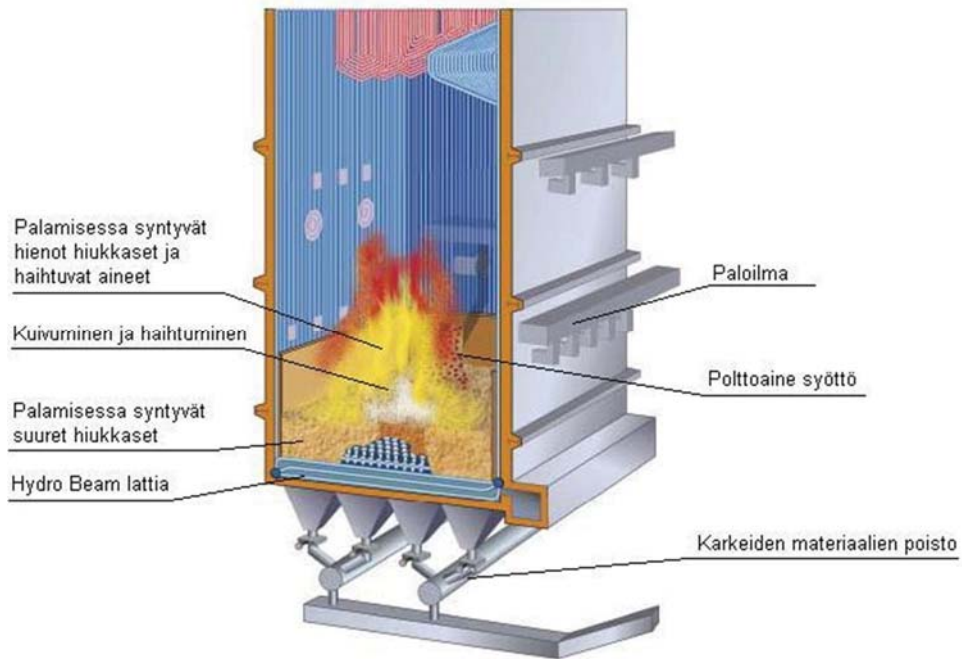
KUVA 3. Polttoaineen käsittely /3/

5.2 Leijupetipolttoteknologia

Prosessissa käytetään Metson valmistamaa kattilaa, joka hyödyntää kuplivaa leijupeti-polttoratkaisua (BFB, Bubbling Fluidized Bed). Tämä mahdollistaa eri lämpöarvoisten polttoaineiden käytön samaan aikaan. Leijupetipolttoratkaisua käytetään, kun polttoaineet koostuvat suurimmaksi osaksi bio- ja kierrätyspolttoaineista. Metson kattila lupaa lämpökapasiteetin olevan 10:stä 300:an MWh:in. Kattilan hyötysuhde on noin 90 %. Leijupetipolttoratkaisu mahdollistaa matalat päästölukemat, korkean hyötysuhteen sekä luotettavan ja vähähuoltoisen käytön.

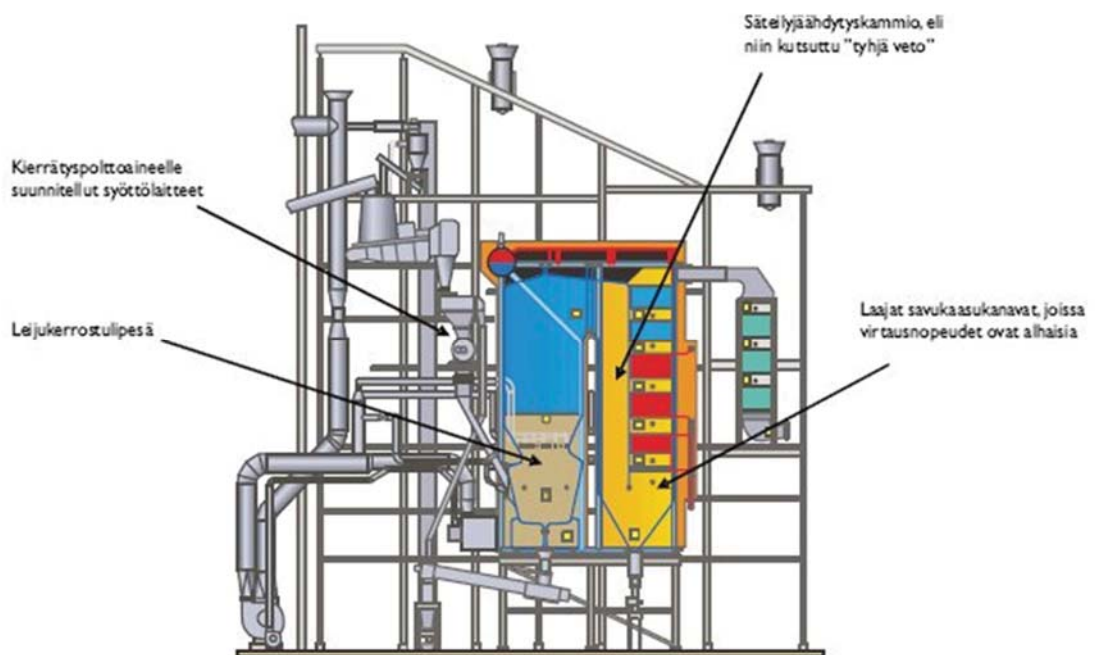
Kattilan pohjalla on metrin syvä kupliva kerros kuumaa hiekkaa, joka kuivattaa ja höyrystää tehokkaasti polttoainetta. Höyrystyneet kaasut ja hienot hiukkaset palavat tämän jälkeen hiekkapedin yläpuolella toisioilman avulla. Hiekkakerroksen alla on ilmasuuttimia, joiden kautta palamisilma puhalletaan kattilaan. Palamisilman virratessa hienon hiekan läpi alkaa hiekka leijua kattilan pohjalla, samalla hiekka kuplii kuin kiehuva vesi.

Jäännöshiilet ja suuremmat polttoaine hiukkaset palavat hiekkapedin sisällä. Höyrykattilan lattiana on patentoitu Hydro Beam -lattia, joka on kehitetty vaativia polttoaineita käyttäviin kattiloihin. Vesijäähdytetyt ilmapalkit mahdollistavat karkean materiaalin poiston tulipesästä. Hydro Beam -lattialla varustetun kattilan tulipesän pohjasta yli 30 % on avoinna epäpuhtauksien poistoon, kun perinteisessä lattiaratkaisussa on pohjasta avoinna vain 1 %.



KUVA 4. Leijupetipolttokattila

Kerrospetipolttoratkaisussa pyritään tulipesä muotoilemaan ja mitoittamaan niin, että tulipesästä poistuva savukaasuvirran nopeus on pieni. Savukaasu ohjataan esijähdytyskammioon, jonka seinäpintoja käytetään lämmönsiirrossa hyväksi. Esijähdytyskammion on tarkoitus jäähdyttää savukaasuja niin, että niistä saadaan erotettua höyrystyneet metallit ja epäorgaaniset aineet. /8/

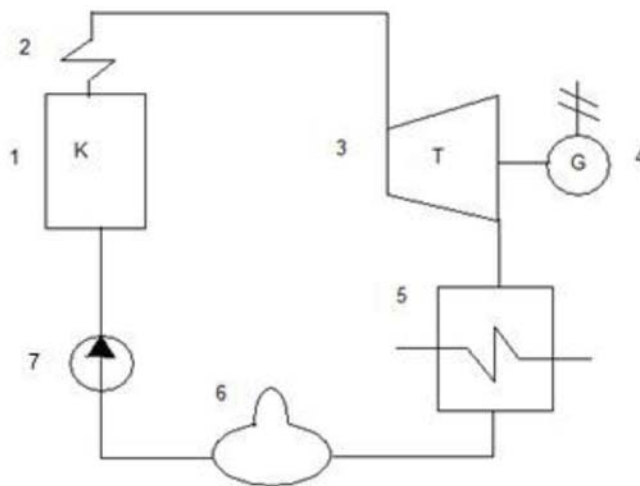


KUVA 5. Kerrosleijutekniiikan perusrakenne /9/

5.3 Höyryprosessi

Höyryprosessin keskeiset komponentit ovat kattila, höyryturbiini ja lauhdutin. Prosessiin käytetään myös syöttöveden esilämmitintä sekä tulistinta. Pumpuilla paineistettu syöttövesi höyrystetään ja tulistetaan kattilassa. Johtamalla tulistettu korkeapaineinen vesihöyry turbiiniin, paisuu se lauhduttimessa olevaan alhaiseen paineeseen ja lämpötilaan, jolloin osa höyryn lämpöenergiasta muuttuu mekaaniseksi energiaksi. Höyrystä saatua mekaanista energiaa käytetään turbiinin akselin pyörimisenergiana. Turbiinin akselin pyörimisestä saatu energia muutetaan sähköenergiaksi akseliin yhdistetyn generaattorin avulla. Lauhduttimella vesihöyry muutetaan takaisin vedeksi, joka höyrystetään ja tulistetaan uudestaan.

Tässä kyseisessä prosessissa tuorehöyryn lämpötila on 527 °C, paine 129 Bar ja virtaama noin 26 kg/s. Koska turbiini pystyy hyödyntämään vain osan vesihöyryn energiasta, voidaan siitä ylijäävällä lämpöenergialla lämmittää höyrystettävää syöttövedtä tai sitä voidaan käyttää suoraan kaukolämmön höyrynä, jolloin prosessissa ollut höyry lauhtuu. /10/ /11/



Komponentit

- | | |
|-----------------|---------------------|
| 1. Kattila | 5. Lauhdutin |
| 2. Tulistin | 6. Syöttövesisäiliö |
| 3. Turbiini | 7. Pumppu |
| 4. Generaattori | |

KUVA 6. Höyryprosessin periaatekaavio

5.4 Maakaasunpolttoprosessi

Alueella, jolle CHP-voimalaitos rakennetaan, on olemassa maakaasulaitos, joka tuottaa lämpöä kaukolämpöverkkoon. Maakaasulaitosta modifioidaan niin, että sitä voidaan käyttää itsenäisenä laitoksena tai yhdessä CHP-voimalaitoksen kanssa. Kaukolämpökytkennät mahdollistavat maakaasulaitoksen käytön itsenäisessä ajossa ilman CHP:tä, CHP itsenäisessä ajossa ilman maakaasulaitosta, CHP ja maakaasulaitos yhdessä sivuvirtausajolla, sarjassa tai rinnan.

Laitoksen kolme maakaasukattilaa ovat polttoaine teholtaan 16 MW:n vesikattiloita, joiden pääasiallisena polttoaineena toimii maakaasu ja käynnistys-/varapolttoaineena kevyt polttoöljy. CHP-voimalaitoksen valmistumisen jälkeen maakaasukattiloiden käyttötarkoitus on lähinnä vara- ja huippulämmöntuotanto. /3/

6 SÄHKÖLAITTEISTO

6.1 Pääsyöttö

Pääsyöttö tuodaan noin 200 metrin matka Kyrölän 110 kV sähköasemalta CHP-voimalaitoksen päämuuntajalle. Pääsyötön kaapeliksi on mitoitettu AHXLMK-W 3x1x300 alumiinikaapeli, joka kulkee maan alla suojaputkessa. Pääsyötön kolmen halkaisijaltaan 160 mm suojaputken ympärillä kulkee kaksi 70 mm maadoituskuparia. Pääsyötön kummallakin puolella kulkee kaksi 110 mm suojaputkea ohjauskaapeleille.

Pääsyöttö kulkee noin metrin syvyydessä maan pinnasta. 150 mm suojaputkea korkeammalla on metrin levyinen ja 60 cm leveä betonilaatta ja sen päällä on täyttömaata, johon on upotettu varoitusnauha 400 mm syvyyteen maan pinnasta. Betonilaatan alapuolinen alue, jossa pääsyötöt ja ohjauskaapelit kulkevat, on täytetty hienolla hiekalla 1760 cm leveydeltä ja noin metrin korkeudelta. /3/

6.2 Muuntajat

Päämuuntajan tehtävä on muuntaa syöttöjännite jakelumuuntajille soveltuvaksi sekä eristää galvaanisesti voimalaitoksen sähköverkko jakeluverkosta. Jakelumuuntajilla ja välimuuntajilla sen sijaan muunnetaan päämuuntajalta tuleva jännite laitteille sopivaksi. Voimalaitokselle hankitaan päämuuntajaksi öljyeristeinen muuntaja, jonka nimellisteho on 25 MVA, nimellismuuntosuhde $120 (2 \times 2,5 \%) / 10,5 \text{ kV}$ ja oikosulkuimpedanssi $uk 10 \%$. Päämuuntaja asennetaan BOP-alueelle sille tarkoitettuun huoneeseen.

Jakelumuuntajat sijoitetaan päämuuntajahuoneen oikealle puolelle, niille rakennettavissa koteloidissa. Päämuuntaja ja jakelumuuntajat kytketään toisiinsa välijännitekiskolla. Jakelumuuntajia tulee neljä: kaksi nimellistehoiltaan 3150 kVA sekä 2000 kVA ja 1500 kVA. 1500 kVA:n muuntajan muuntosuhde on $10,5/0,420 \text{ kV}$ ja muiden $10,5/0,725 \text{ kV}$. 2000kVA:n muuntaja on kuivamuuntaja, muut muuntajat ovat öljyeristeisiä. 2000 kVA:n muuntaja syöttää biopolttoaineen käsittely laitteistoa, joka sijaitsee toisessa varastointisiilossa noin 150 metrin päässä jakelumuuntajista. Kaapeliveto tehdään AHXCMK-W kaapelilla, joka asennetaan maan alle.

Kolme muuta muuntajaa kytketään kiskoilla BOP-rakennuksessa sijaitsevaan sähkötilaan, jonne asennetaan myös keskuskeskukset, taajuusmuuttajat ja varavoimajärjestelmien akustot. 3150 kVA-muuntajien oikosulkuimpedanssi uk on $7,0 \%$, 2000 kVA-muuntajan $6,0 \%$ ja 1500 kVA-muuntajan 6% . Muuntajien toisiojännite säädetään 5% nimellijännitettä korkeammaksi, jotta kuormitettujen kaapelien jännitteen alenemat pysyisivät sallituissa rajoissa.

Kahta UPS-järjestelmää varten asennetaan erotusmuuntajat. Yksi BOP:in ja yksi polttoaineen käsittelyn sähkötiloihin. Erotusmuuntaja erottaa UPS-järjestelmän galvaanisesti syöttävästä verkosta. Erotusmuuntajalla voidaan rajoittaa oikosulkutehoa sekä estää kahden sähköverkon synnyttämiä häiriöitä. BOP-rakennukseen tulevan erotusmuuntajan kilpitiedot ovat seuraavanlaiset: nimellisteho 100 kVA, ensiö/toisiojännite 400/400 V, taajuus 50 Hz ja oikosulkuimpedanssi 4% . Polttoaineen käsittelyn erotusmuuntajan kilpiarvot ovat nimellistehoa 50 kVA ja virta-arvoja lukuun ottamatta samat. Koska polttoaineen käsittelylle tulevan jakelumuuntajan toisiojännite on 690 V, sinne asennetaan välimuuntaja, jonka kilpiarvot ovat seuraavanlaiset: nimellisteho

400 kVA, ensiö/toisiojännite 690/400 V, taajuus 50 Hz ja oikosulkuimpedanssi 4 %. Väli- ja erotusmuuntajina käytetään kuivamuuntajia. /3/

6.3 Kiskosillat

Jakelumuuntajilta syöttö pienjännitekeskuksiin toteutetaan alumiinikiskoilla, jotka kytketään pienjännitekeskusten kokoojakiskoihin kuormakytkimellä tai katkaisijalla. Kiskostot mitoitetaan muuntajan nimellisvirran sekä muiden mitoitusehtojen, kuten termisen ja dynaamisen kestävyuden mukaan.



KUVA 7. Kiskot/ Kiskorakenne /12/

Kiskosilloilla on itsekantava rakenne, joka on toteutettu alumiiniprofiileilla, jotka toimivat myös maadoituskiskoina. Virtakiskot on valmistettu alumiinista ja niiden eristykseen on käytetty PVC-muovia. Eristyksen tarkoituksena on estää oikosulkujen syntyminen vaiheiden tai maadoitettujen osien välillä. Kiskojen läpivienneissä huonetilasta toiseen on varmistuttava, että läpivienti täyttää palo-osastoinnin mukaiset paloturvallisuusmääräykset. Kiskosiltojen valmistajilla on valmiita ratkaisuja eri paloluokitusten läpivienneille. Kiskoihin tehtävät vaaka- ja pystykulmat tehdään taivuttamalla. Yli 20 m pitkissä suorissa kiskosilloissa on käytettävä joustavia liittimiä.



KUVA 8. Kiskojen liittäminen muuntajaan /12/

Kiskosilta liitetään muuntajaan joustavilla liitoskiskoilla, jolloin vältetään lämpölaajenemisen ja värinän aiheuttamista haitoista. Kiskoja on saatavilla 1000...5500 A nimellisvirroilla eristysjännitteillä 1000 VAC tai 1500 VDC. Kiskosiltojen terminen rajavirta on 80 kA ja dynaaminen rajavirta maksimissaan 176 kA. /12/ /13/

6.4 Pääkeskukset

Pääkeskukset ovat rakenteeltaan pääsääntöisesti ulosvedettäviä. Ulosvedettävä kasettijärjestelmä mahdollistaa keskuksen kasettiyksiköiden muuntelemisen tarpeiden mukaisiksi ennen ja jälkeen asennuksen. Kasetit ovat ovellisia ja niille voidaan suorittaa huoltotoimenpiteitä niiden ollessa käyttöasennossa. Keskuksen syöttöyksikkö, pääkiskot, kokooma- ja haarakiskot on eristetty toisistaan ja muista tiloista valokaaren leviämisen estämiseksi. Keskuksen eristysjännite on 1000 VAC ja maksimi nimellisvirta 5000 A. Pääkiskojen terminen oikosulkukestoisuus on 100 kA (1 s) ja dynaaminen oikosulkukestoisuus 176 kA. /14/

6.5 Diesel-varavoimageneraattori

Päämuuntajan läheisyydessä BOP-alueella sijaitsee 400 kVA varavoimageneraattori. Se käyttää polttoaineena kevyt polttoöljyä ja sen suunniteltu toiminta aika on vähintään kahdeksan tuntia. Varavoimageneraattorin tarkoitus on turvata tärkeimpiä sähköjärjestelmiä, kuten savunpoisto, kriittiset moottorikäytöt, UPS- ja DC-järjestelmät.

Varavoimageneraattori käynnistyy automaattisesti, kun jännitekiskosto on jännitteetön. Varavoimageneraattori saavuttaessa nimellisjännitteen ja -taajuuden, sulkee ohjausjärjestelmä katkaisijan, jolloin generaattorin tuottama sähköteho syöttää jännitteetömänä ollutta sähkölaitteistoa. Sähkökatkon ja generaattorin käynnistyminen syöttövalmiiksi kestää noin 10 sekuntia. Kun normaalijännite palaa jakelumuuntajan kautta, sulkeutuu varavoimageneraattori verkosta sille asetetun viiveen mukaisesti. Kun katkaisija on auennut, aloittaa varavoimageneraattori automaattisesti alasajon. Alasajon jälkeen generaattori jää valmiustilaan.

Varavoimageneraattorien nimellisteho voidaan määritellä kolmen eri käyttötavan mukaan, jotka ovat jatkuva teho, varavoimateho sekä maksimivaravoimateho. Jatkuvalle teholla tarkoitetaan tehoa, jolla generaattoria voidaan käyttää huoltovälejä lukuun ottamatta rajoittamaton aika. Varavoimateholla tarkoitetaan tehoa, jolla generaattoria voidaan käyttää vaihtelevalla teholla rajoittamaton aika ja maksimivaravoimateholla tehoa, jolla generaattoria voidaan käyttää maksimissaan 500 tuntia vuodessa, kun yhtäjaksoinen käyttö on rajattu 300 tuntiin. /15/

6.6 UPS-järjestelmä

UPS-järjestelmän tarkoitus on syöttää vaihtojännitteellä automaatiolaitteita, mitta- ja ohjauslaitteita sekä muita kriittisiä vaihtovirtakuormia, joiden täytyy pystyä toimintakuntoisina, jos voimalaitoksen normaali tehonsyöttö katkeaa. UPS-järjestelmä myös pitää kuormille syötettävän jännitteen stabiilina.

Jokainen erillinen UPS-järjestelmä koostuu UPS-laitteistosta, joka sisältää seuraavat komponentit: tasasuuntaaja, invertteri, ohitus/turva/monitorointiohjaus-laitteet sekä

integroidut varaparistot. UPS-järjestelmät ovat sijoitettuna BOP-alueen sähkötiloihin ja ovat kytkettyinä varavoimageneraattorilla suojattuun verkkoon. UPS-järjestelmän akustot ovat venttiilisäädettyjä eli huoltovapaita suljettuja lyijyakkuja (VRLA-akku), jotka sijaitsevat sähkötiloissa niille tarkoitetuilla telineillä. UPS-järjestelmän suunniteltu toiminta aika on 30 minuuttia. /3/

6.7 DC-järjestelmä

DC-järjestelmän tarkoitus on syöttää turva- ja muita varalaitteita sekä höyryturbiinin varaöljypumpun moottoria. Tasavirtajärjestelmän nimellisjännite on 110 VDC. Se koostuu kahdesta akkulaturista, kahdesta kiinteästä vara-akustosta ja kahdesta jakokeskuksesta.

DC-järjestelmän tulee pystyä syöttämään turbiinin varaöljypumpun moottoria tunnin ajan sekä muita kriittisiä kuormia kahden tunnin ajan. Järjestelmän akkulaturit on kytketty varavoimageneraattorilla turvattuun verkkoon. Voimalaitoksen turvavalaistusta varten on erillinen DC-järjestelmä. DC-järjestelmän laitteisto sijaitsee sähkötilassa. Järjestelmän akustot ovat huoltovapaita suljettuja lyijyakkuja (VRLA-akku), jotka sijaitsevat myös sähkötiloissa niille tarkoitetuilla telineillä. /3/

6.8 Ilmakatkaisijat

Ilmakatkaisijat ovat muovi- tai metallirunkoisia. Niitä käytetään pääkatkaisijoina teollisuudessa ja liikekiinteistöissä, joissa vaaditaan suurta mekaanista ja sähköistä luotettavuutta. Virranrajoitusominaisuuksiltaan ilmakatkaisijat ovat nollapistekatkaisijoita. Virtaa rajoittavaa katkaisijaa käytettäessä voidaan pienentää kojeiston dynaamista räsitystä. Ilmakatkaisijoita tehdään pääsääntöisesti 690 V jännitteelle ja niiden nimellisvirrat ovat 800-6300 A. Ilmakatkaisijoilla saavutetaan katkaisukyky, joka on 40-150 kA mallista riippuen. Niitä voidaan säätää hyvinkin laajasti, koska niiden releet ovat täysin elektroniset.

Tämän projektin sähköjärjestelmien ehdoissa on määritelty, että syötöt suojataan gG- ja aM-sulakkeilla 630 A:in asti, ja yli 630 A syötöt suojataan ilmakatkaisijoilla. Ilmakatkaisijoilla voidaan asettaa kolme eri katkaisuparametria, L-suojaus, S-suojaus ja I-

suojaus. L-suojaus on näistä kolmesta ainoa, jota ei voi kytkeä pois päältä, koska se estää suojattavan piirin ylikuormituksen. S-suojaus on selektiivinen suojaus oikosulkuun vastaan. I-suojaus suojaa hetkelliseltä oikosululta ja siinä on säädettävä virran laukaisukynnys. /16/

6.9 Suojalaitteet

Suorissa moottorilähdöissä toteutetaan oikosulkusuojaus aM-sulakkeilla ja ylikuormitussuojaus lämpöreleillä, ohjaukseen käytetään kontaktoreita. Moottoreiden käynnistimien kojeet on valittu IEC 60947-4-1 standardin koordinaatiotyypin 2 mukaan. Käynnistinpaketti koostuu suojaavasta sulakkeesta sekä lämpöreleestä tai elektronisesta ylikuormitussuojasta, joka ohjaa kontaktoria, jolla ohjataan moottoria.

Lämpöreleessä moottorin virta kulkee vastuksen läpi, jonka tuottama lämpö lämmittää bi-metalliliuskaa. Bi-metalliliuska taipuu lämmön vaikutuksesta ja liuskan ohjaama kosketin toimii virran ylittäessä sille asetetun arvon. Tällöin lämpöreleen ohjaama kontaktori avautuu.

Lämpörele käyttäytyy seuraavanlaisesti eri kuormitustilanteissa: kuormitusvirran ollessa puolitoista kertaa asetteluvirta (käyttölämmin rele) on laukaisuaika maksimissaan 120 s, kuormitusvirran ollessa 7,2 kertaa asetteluvirta (kylmä rele) on laukaisuaika 2...10 s ja kuormitusvirran ollessa 1,05 kertaa asetteluvirta ei rele laukea ollenkaan. Perusasetteluvirraksi asetetaan usein moottorin nimellisvirta tai kuormitusvirta. Lämpötilakompensoimattoman releen virta-asetusta saatetaan joutua korjaamaan, jos ympäristön lämpötila on korkea. Elektroninen lämpörele on huomattavasti tarkempi kuin bi-metalliliuskalla toteutettu, eikä sen toiminta ole riippuvainen ympäristön lämpötilasta.

6.10 Taajuusmuuttajat

Taajuusmuuttajilla voidaan säätää portaattomasti oikosulkumoottorin nopeutta muuttamalla sille syötettävää taajuutta ja jännitettä. Taajuusmuuttajia käytetään myös, kun eri nopeuksilla toimivalta generaattorilta syötetään tehoa kiinteätaajuiseen sähköver-

koon. Taajuusmuuttajia on alettu kehittämään Suomessa 1970-luvulla, jotta saataisiin oikosulkumoottorin nopeutta säädettyä niin kuin tasavirtamoottorissa. Tehoelektronikka komponenttien tehostuminen on mahdollistanut taajuusmuuttajien viime vuosikymmenien kehittymisen.

6.10.1 Taajuusmuuttajakäytön edut

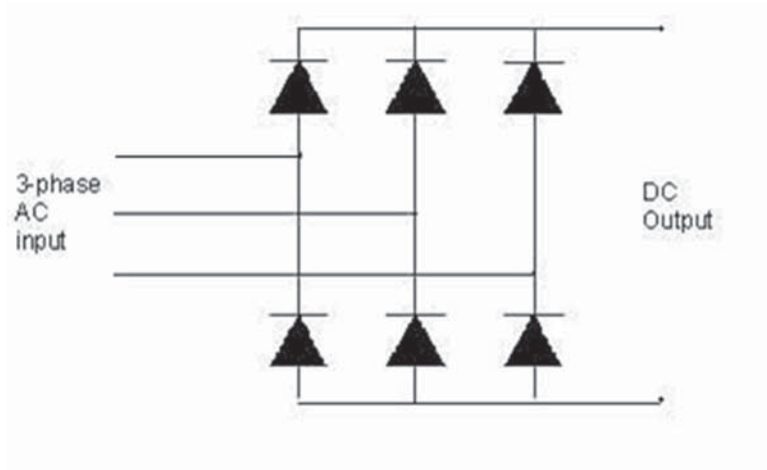
Taajuusmuuttajakäytöllä voidaan tehostaa ja optimoida prosesseja, kun pyörimisnopeus voidaan säätää optimaaliseksi vääntömomenttia menettämättä. Nykyään taajuusmuuttajakäyttöjä käytetään paljon ja niiden käyttö on taloudellista, koska oikosulkumoottorin hankintahinta on edullinen verrattuna tasavirtamoottoreihin ja tarkka säätö kerryttää säästöjä prosessin energiankulutuksessa.

Energian säästö suhteessa kuristimilla toteutettuun säätöön voi olla jopa yli 50 %. Nykytekniikalla taajuusmuuttajakäyttöjen etuja ovat myös nopeuden säädön lisäksi käynnistysvirran rajoitus, pehmeä käynnistys ja pysäytys, moottorin suojausmahdollisuudet, laajat säätö- ja ohjelmointitoiminnot, suunnanvaihto, etäohjaus, erilaiset mittaukset sekä valittavat momenttisäädöt. /17/

Taajuusmuuttajan ulkoiseen ohjaukseen voidaan käyttää joko I/O-liityntöjä (digitaalinen sisääntulo, analoginen sisääntulo, pulssijono) sekä kenttäväyläliityntää. Tässä projektissa käytetyt taajuusmuuttajat kytketään hajautettuun ohjausjärjestelmään, josta ne kytketään kenttäväyläliitynnöillä osaksi automaatiojärjestelmää.

6.10.2 Rakenne

Välipiirillisen taajuusmuuttajan rakenne koostuu tasasuuntaajasta, välipiiristä, vaihtosuuntaajasta sekä ohjausyksiköstä. Tasasuuntaaja voi olla ohjattu tai ohjaamaton riippuen siitä onko se rakennettu käyttäen diodeja (ohjaamaton) vai transistoreita tai tyristoreita (ohjattu). Tasasuuntaus toteutetaan yleensä kuusipulssitasasuuntaajalla, jolloin



KUVA 9. Kuusipulssisilta /18/

Välipiirin tehtävänä on toimia energiavarastona. Kondensaattoripatterilla toteutettua välipiiriä kutsutaan jännitevälipiiriksi ja induktanssilla toteutettua virtavälipiiriksi. Jännitevälipiirillisiä käytetään oikosulkumoottorien ohjaamiseen. Välipiiriin asennetaan usein kuristin, jonka tehtävänä on rajoittaa muutoksia tasajännitteessä.

Vaihtosuuntaajan tehtävä on muuntaa välipiirin tasajännite takaisin vaihtojännitteeksi sekä säätää sen jännitetasoa ja taajuutta annetun ohjeen mukaan. Vaihtosuuntaaja rakennetaan käyttäen tehopuolijohteita kuten IGBT:itä. Pulssileveysmodulaatiolla katkotaan tasajännite pulsseiksi. Pulssien tehollisesta keskiarvosta muodostuu annettujen säätöohjeiden mukainen sinijännite. /18/

6.10.3 Säädetävät

Taajuusmuuttajia voidaan säätää kolmella erilaisella ohjausmenetelmällä, jotka ovat: skalaarisäätö, vektorisäätö ja DTC. Skalaarisäädössä pyörimisnopeutta säädetään muuttamalla vaihtosuuntaajan antaman vaihtojännitteen taajuutta ja jännitettä. Skalaarisäätöä käytetään yksinkertaisissa sovelluksissa kuten pumput ja puhaltimet. Skalaarisäätö ei ota huomioon säädettävän moottorin ominaisuuksia tai kilpiarvoja.

Vektorisäädössä säädetään moottorin käämivuota ja vääntömomenttia ihan kuin tasavirtamoottoreissakin. Käämivuota säädetään magnetointikäymityksellä ja vääntömomenttia ankkurivirtaa muuttamalla. Vektorisäätö tarvitsee toimiakseen moottorin

staattorin virran ja roottorin pyörimisnopeuden. Taajuusmuuttaja käyttää sisäistä moottorimallia vektorisäädössä.

DTC-säätö eli suora momenttisäätö on ABB Oy:n kehittämä, tällä hetkellä markkinoiden kehittynein taajuusmuuttajan säätötapa. Se on vektorisäätöön verrattuna yksinkertaisempi rakenteeltaan ja skalaarisäätöön verrattuna tarkempi säätää. Suorassa momenttisäädössä säädetään magneettivuota ja momenttia, joille asetetaan rajat, minkä sisällä niiden tulee pysyä. DTC-säädössä ei tarvita moottorin tilatietoja vaan taajuusmuuttaja pystyy laskemaan ne itse. /17/

6.11 Suoraan verkkoon kytketyt oikosulkumoottorit

Suoraan verkkoon kytketyt oikosulkumoottorikäytöt eli DOL-käytöt (Direct On Line) ovat yksinkertaisia toteuttaa sekä edullisia hankkia ja näistä syistä myös yleisimmin käytetty sähkömoottorikäyttö. Suoraan verkkoon kytketty oikosulkumoottorin käynnistysmomentti on suuri, mutta varjopuolena myös käynnistysvirta kohoaa n. 5-7 kertaiseksi. Oikosulkumoottorin vääntömomentti voidaan laskea kaavan 1 avulla.

$$T_{em} = \frac{pP_{\delta}}{\omega} = \frac{3pI_2^2 \times \frac{R_2}{s}}{\omega} = \frac{3p}{\omega} \times \frac{E_{v20}^2}{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{\sigma20}^2} \times \frac{R_2}{s}, \quad (1)$$

jossa p on napapariluku

P_{δ} on ilmaväliteho

ω on synkroninen kulmanopeus

I_2 on roottorivirta

R_2 on roottorin resistanssi

s on suhteellinen jättämä

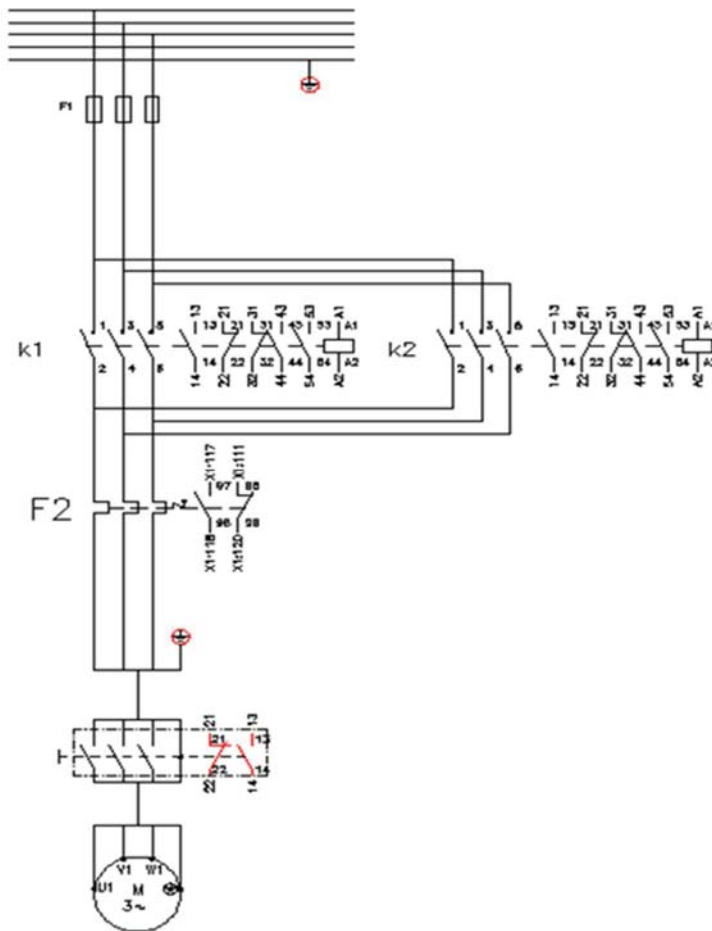
$\frac{R_2}{s}$ on mekaanista tehoa kuvaavan lisäresistanssin ja roottoriresistanssi

summa epätahtikoneen sijaiskytkennässä

E_{v20} on roottorin vastasähkömotorinen voima

$X_{\sigma20}$ on roottorin hajareaktanssi

Suuri käynnistysvirta aiheuttaa harmia, koska se voi alentaa verkon jännitettä hetkellisesti. Korkea käynnistysvirta saattaa etenkin pitkittyessä polttaa sähkömoottoria suojaavat sulakkeet. aM-sulakkeet on suunniteltu kestävämmän lyhyt kestoisen virran nousu. Moottoria käynnistäessä syntyvä jännitteen alenema saattaa aiheuttaa vahinkoa myös muille laitteille, jotka ovat kytkettyinä samaan sähköverkkoon. Pitkäaikaisen jännitteen aleneman aiheuttama moottorin ylikuumeneminen saattaa polttaa moottorin käämit.



KUVA 10. Suunnanvaihtokytkentä /19/

DOL-käyttöjen lisäksi suoraan verkkoon kytketään myös REV-käytöt (Reverse), jotka eroavat DOL-käytöistä siten, että niissä on suunnanvaihtomahdollisuus. Suunnanvaihtokytkentä toteutetaan käyttämällä kahta kontaktoria, kuten kuvassa (kuva 10) on havaittavissa. Kontaktorit kytketään niin, että kontaktorin K1 vetäessä on vaihejärjestys L1, L2, L3 ja kontaktorin K2 vetäessä L3, L2, L1, jolloin pyörimissuunta vaihtuu. Kontaktorien avautuvilla apukärjillä varmistetaan, ettei kontaktorit ole vetäneenä samaan aikaan.

6.12 Moottoriventtiilit

Moottoriventtiili on moottorin voimalla avautuva ja sulkeutuva säätöventtiili. Niitä käytetään teollisuudessa automatisoituihin venttiilikäyttöihin. Moottoriventtiili koostuu seuraavista komponenteista: moottori, lämpösuojakytkimet, rajakytkimet, momenttikytkimet, ohjausyksiköt, mekaaninen asennonosoitin, potentiometri sekä resistiivinen asennonlähetin. Moottoriventtiili kytketään moottorikaapelilla ja ohjauskaapelilla. Asentolähettimien kytkennässä käytetään häiriösuojattua kaapelia.

Moottoriventtiilin pysähtymistä pääteasunnoissa voidaan ohjata rajakytkimillä tai momenttikytkimillä. Venttiilin paikallisen aseman ilmaiseminen on mahdollista mekaanisella asennonosoittimella. Resisttiivinen asennonlähetin ilmaisee venttiilin asematiedon virta-arvona. Moottoriventtiileitä voidaan ohjata kenttäväyläliitännällä, jolla ne saadaan liitettyä osaksi prosessiohjausjärjestelmää. /20/



KUVA 11. Moottoriventtiili /20/

7 KAAPELITYYPIT

Lähtökohtaisesti kaikissa syötöissä käytetään MCMK ja AMCMK tyyppisiä kaapeleita. Peruseriaate on, että MCMK:ta käytetään 16 mm² asti ja sitä suuremmilla poikkipinnoilla käytetään AMCMK:ta 35 mm² ylöspäin. Taajuusmuuttajakäytöissä käytetään EMC-suojattuja kaapeleita kuten MCCMK ja AMCCMK. Turvakytkimeltä moottorille tulevissa kaapeleissa käytetään taipuisia erikoiskaapeleita, normaalikäytöissä ÖLFLEX CLASSIC 100 BK POWER-kaapelia ja taajuusmuuttajakäytöissä JZ-600-Y-CY-kaapelia, joka on EMC-suojattu.

110 kV pääsyöttö kaapeleina käytetään AHXLMK-W yksijohdinkaapelia ja 10 kV voimakaapelina AHXCMK-WTC- tai AHXAMK-W-monijohdinkaapelia. Ohjaukskaapeleina voidaan käyttää seuraavia kaapelityyppejä: MMJ, MMO, MCMO. Instrumentikaapeleina käytetään joko NOMAK-E:tä tai JAMAK:ia.

7.1 Voima- ja moottorikaapelit

Voima- ja moottorikaapeleina käytetään joko MCMK:ta tai AMCMK:ta. MCMK on PVC-eristeinen kaapeli, jonka johdin on valmistettu hehkutetusta kuparista kun taas AMCMK:n johdin on valmistettu hehkutetusta alumiinista. Kummankin kaapelin ominaisuudet ovat samat, johdinmateriaalia ja siitä määräytyviä kuormitettavuuksia lukuun ottamatta. Kaapelit on tarkoitettu käytettäväksi 0,6/1 kV:n nimellisjännitteillä. Vaipan ja johtimien eristeenä käytetään lyijytöntä PVC-muovia. Johtimien ja vaipan eristeen välillä on kuparinauhasidos, joka toimii sekä kaapelin suojausena että PE-/PEN-johtimena.

Johtimen suurin sallittu lämpötila on 70 °C jatkuvassa käytössä ja 160 °C oikosulussa, jonka kesto on enintään viisi sekuntia. Suurin sallittu taivutussäde on 12 kertaa halkaisija asennusvedossa ja kahdeksan kertaa halkaisija lopullisessa asennuksessa. Johtimien maksimiresistanssit, induktanssit ja käyttökapasitanssit löytyvät valmistajien taulukoista. Näitä tietoja tarvitaan etenkin mitoittaessa maksimipituuksia kaapeleille. Taajuusmuuttajasyötöissä on käytettävä EMC-suojattuja kaapeleita kuten MCCMK ja

AMCCMK, joiden ominaisuudet ja rakenne on EMC-suojausta lukuun ottamatta samat kuin MCMK:ssa ja AMCMK:ssa. /21/

7.2 110 kV syöttökaapelit

AHXLMK-W tyyppistä yksijohdinkaapelia käytetään 110 kV syöttökaapeleina. Siinä on vesitiivis pyöreä tiivistetty alumiinijohdin. Sitä on tarkoitettu käytettäväksi 110 kV jännitteellä maa-, hylly- tai kanava-asennuksissa. Johtimen eristysmateriaalina on käytetty PEX-muovia ja kosketussuojana seoslyijyvaippaa. /21/

7.3 Turvakytkimen ja moottorin väliset kaapelit

Suorien moottorisyöttöjen turvakytkimen ja moottorin välisenä kaapelina käytetään taipuisaa ÖLFLEX® CLASSIC 100 BK POWER-kaapelia. Taipuisuuden lisäksi kaapelin ulkopoikkipinta ovat pienempi kuin normaalisti. Kaapeli säilyttää taipuisuutensa aina -30 °C asti ja se on sään ja UV-säteilyn kestävä. Kaapelin eristysmateriaalina on PVC-muovi.

JZ-600-Y-CY on kaapelimalli jota valmistaa Hi-tech Controls, inc. Kaapeli on tarkoitettu 0,6/1kV nimellisjännitteille. Tässä projektissa tätä kaapelityyppiä käytetään kaikissa sähkömoottorikäytöissä turvakytkimen ja moottorin välisenä kaapelina. JZ-600-Y-CY on taipuisa, EMC-suojattu ja sillä on korkea öljyn sekä ultraviolettisäteilyn kestävyys. /3/

7.4 Ohjauskaapelit

Ohjauskaapelien johtimen valmistusmateriaalina on kupari ja eristysmateriaalina PVC-muovi. Niiden nimellisjännitteen tulee olla $U_0=300V$ ja $U=500V$. Ohjauskaapeleita käytetään 230 V:n ohjauksiin, jotka tulevat sähköpääkeskukselta. Pääsääntöisesti käytetään MMJ:tä, MMO:ta ja MCMO:ta. Liikkuvissa tai muuten erikoisemmissa asennuksissa käytetään taipuisaa kuparijohtimista kaapelia. Edellä mainituissa kaapelityypeissä on kaikissa yksilankainen johdin, joka on valmistettu hehkutetusta kuparista. MMJ:ssä ja MMO:ssa on kummassakin eristeenä valkoinen lyijytön LINYL PVC-muovi. MCMO:ssa eristemateriaalina on musta lyijytön PVC-muovi.

MMJ:n johtimet on merkitty värein: kaksijohtimisessa SI-RU, kolmijohtimisessa RU-MU-HA, nelijohtimisessa SI-RU-MU-HA, viisijohtimisessa SI-RU-MU-HA-MU. MMO:ssa ja MCMO:ssa johtimet on merkitty valkoisin numeroin ja niiden lukumäärä on valittavissa seitsemästä 37:ään. MCMO:n konsentrisen johdin toimii kosketus-suojan lisäksi osittaisena suojana sähköisiä häiriöitä vastaan. MMJ:tä ja MMO:ta ei suositella häiriöalttiisiin asennuksiin. /21/

7.5 Instrumentointikaapelit

Instrumentointikaapelien maksimi käyttöjännite on 75 V. Niiden johtimina on säikeelliset tinatut kuparilangat ja eristeenä PVC-muovi. Käytetyt kaapelityypit ovat NOMAK-E ja JAMAK. Kummassakin kaapelissa on kerrattu ja tinattu kuparijohdin sekä vaippana harmaa LINYL-PVC. NOMAK-E:ssä johtimien eristeenä on PVC-muovi ja JAMAK:issa PE. NOMAK-E:ssä johdinparit ovat kierretty ja värikoodattu, kun taas JAMAK:issa ne ovat kierretty ja suojattu muovialumiininauhalla. NOMAK-E:ssä on mahdollista valita kaapeli seuraavanlaisilla johdin parien määrillä 2/4/12/8/12/24x2x0,5+0,5 ja JAMAK:issa mahdolliset johdin parien määrät ovat 2/4/12/8/12/24/48x(2+1)x0,5. /21/

7.6 Kaapelitikkaat ja -hyllyt

Keskijännite-, pienjännite- ja ohjauskaapeleille on varattava erilliset kaapelitikkaat. Instrumentointikaapelit asennetaan kaapelihyllyille. Kaapelitikkaiden ja -hyllyjen valmistusmateriaalina käytetään kastosinkittyä terästä, joka on tarkoitettu teollisuusympäristöön. Paikoissa, joissa kaapelit ovat vaarassa mekaaniselle vahingolle, on käytettävä peltisuoja kaapelien suojana. Paloluokitelluissa tiloissa kaapeliläpiviennit tulee tiivistää palonkestävällä materiaalilla. Ulkona sijaitsevien kaapelitikkaiden ja -hyllyjen on oltava hyväksytysti asennettu ja kaapelit on suojattava suojaputkilla.

8 SÄHKÖASENNUSSTANDARDIT

Suomessa käytettävät sähköasennuksia koskevat standardit valmistelee sähkö- ja elektroniikka-alan standardisoimisjärjestö SESKO ry ja niiden julkaisijana toimii Suomen Standardisoimisliitto SFS. Suomessa voimassa olevat standardit pohjautuvat lähes kokonaan kansainvälisiin IEC- ja GENELEC-standardeihin.

IEC on kansainvälinen sähköalan standardoimisorganisaatio, joka on perustettu Yhdysvalloissa vuonna 1944 yliopistojen ja tekniikan yhteiskuntien sponsoroimana. IEC-standardisoimisjärjestöön kuuluvat teollistuneet maat kaikista maanosista ja osa kehitysmaista. GENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) on vuonna 1973 perustettu standardisoimisjärjestö, jonka tarkoituksena on yhtenäistää Euroopassa käytettävät standardit. GENELEC laatii sähköalan EN-standardit ja HD-harmonisointiasiakirjat. HD-harmonisointiasiakirja eroaa EN-standardista siten, että sitä ei ole pakko saattaa kansalliseksi standardiksi, eikä esitystavan tarvitse olla esitystavaltaan samanlainen.

Toisin kuin sähkölaitteita koskevissa standardeissa, ei sähköasennuksia koskevia standardeja pystytä täysin yhtenäistämään, koska niihin vaikuttavat eri maissa vallitsevat erilaiset olosuhteet. Näitä ovat mm. ilmasto, luonnonolosuhteet sekä eroavaisuudet rakentamiskäytännöissä. Siksi kansainvälisiin standardeihin lisätään kansallisia lisävaatimuksia, joiden laatimisesta Suomessa vastaa SESKO. /22/ /23/

9 MITOITTAMISEN TEORIAA

Kaapelien mitoittamista tehdessä on otettava huomioon, että valittavat kaapelit kuuluvat normaalisti valmistettaviin suosituimmuuslajeihin ja ne ovat käyttäjän varastotyypeiksi vakioituja. Valitun kaapelin jännitteen aleneman on pysyttävä sallituissa rajoissa sekä termisen ja dynaamisen oikosulkukestoisuuden on oltava riittävä ottaen huomioon verkon mahdollisen laajentumisen.

Tässä projektissa raja-arvot jännitteen alenemalle ovat 3 % nimelliskuormalla ja 10 % moottorin käynnistyksessä. Kaapelin nolausehtojen on täytyttävä ja kaapelin on olta-

va mahdollinen oikosulkusuojata, lisäksi sen tulee kestää mahdollinen kuormituksen kasvu tai ympäristöolosuhteiden muuttuminen sekä oltava riittävän kestävä mekaanisesti ja kemiallisesti käyttötarkoitukseensa.

9.1 Suosituimmuuskaapelit

Poikkipinta-alaltaan yleisimpiä ja jatkuvasti saatavissa olevia kaapeleita kutsutaan suosituimmuuskaapeleiksi. Niiden käytön etuja ovat lyhyet toimitusajat, suunnittelu-, hallinto-, varastointi- ja materiaalien käsittelykustannukset voidaan minimoida ja asennustyöt voidaan vakioda, jolloin henkilöstön koulutustarve vähenee.

TAULUKKO 1. Suosituimmuuskaapelit monijohdinkaapeleissa

Poikkipinta mm ²	0,6 / 1 kV			
	MCMK	MCMK	AMCMK	AMCMK
2,5	3x2,2+2,5	4x2,5+2,5S		
6	3x6+6	4X6+6S		
10	3x10+10	2X10+10S		
16	3x16+16	4x16+16S	3x16Al+10Cu	
25				
35	3x35+35	3x35+35+35S	3x35Al+10Cu	3x35Al+16Al+10CuS
70	3x70+70	3x70+70+70S	3x70Al+21Cu	3x70Al+35Al+21CuS
120	3x120+70	3x120+70+70S	3x120Al+41Cu	3x120Al+70Al+41CuS
185	3x185+95	3x185+95+95S	3x185Al+57Cu	3x185Al+95Al+57CuS
240	3x240+120	3x240+120+120S	3x240Al+72Cu	3x240Al+120Al+72CuS

9.2 Taloudellinen mitoitus

Tarkastellessa mitoitusta taloudelliselta kannalta, voidaan lievää ylimitoitusta pitää järkevänä, koska pitkällä aikavälillä suurempi poikkipintaisia kaapeleita käytettäessä jännitehäviöt pysyvät pieninä ja niistä syntyvä säästö kattaa pienempi poikkipintaisia kaapeleita korkeamman hankintainvestoinnin.

Mitoituksessa voi laskea myös kumpi on taloudellisempaa: käyttää pienempi poikkipintaista, mutta kilohinnaltaan kalliimpaa kuparijohtimista kaapelia vai kilohinnaltaan edullisempaa alumiinia. Kupari- ja alumiinijohtimisten kaapelien vertailussa pitää ottaa huomioon, että alumiinijohtimiseen kaapelin täytyy laskea kaapelikenkien ja niiden asentamisesta aiheutuvat kulut mukaan. Kaapelikoko vaikuttaa myös kaapelin

asennettavuuteen. Lisäksi kaapelikokoa valittaessa on oltava tietoinen, että laitteet joihin kaapeli kytketään, ovat sopivia kyseiselle kaapelikoolle. /24/ / 25/

9.3 Jännitteen alenema

Lyhyissä kaapeleilla toteutetuissa siirtoetäisyyksissä (<20 km) voidaan jännitteen alenema laskea kaavan 2 mukaisesti.

$$U_h = I(R \cos \varphi + X \sin \varphi), \quad (2)$$

jossa

U_h on vaihejännitteen alenema

I on johtimen virta,

R on johtimen vaihtovirtaresistanssi,

X on johtimen reaktanssi,

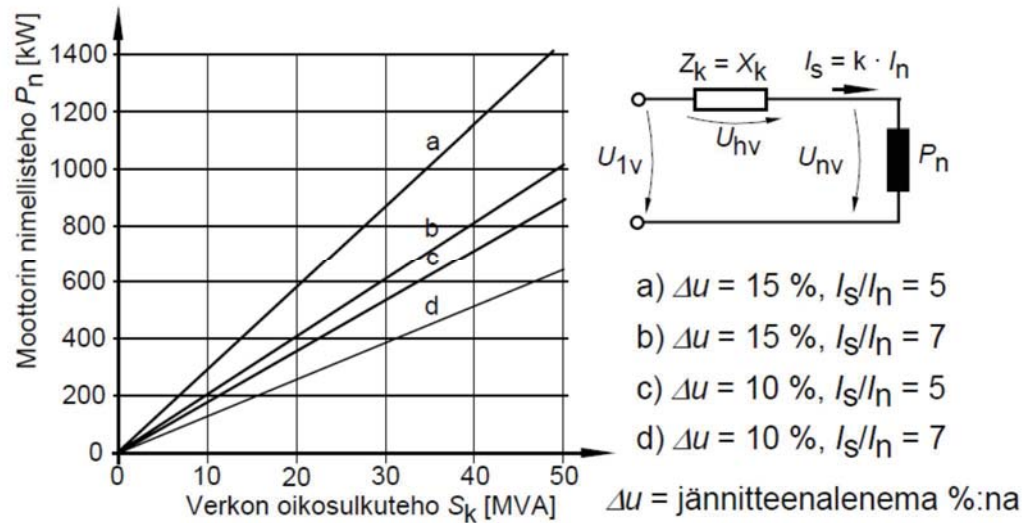
φ on vaihejännitteen- ja virran välinen vaihesiirtokulma.

Jännitteen alenema ja johdon impedanssin tehohäviö syntyy virran kulkiessa johtimes-
sa. Alle 50 mm² kaapeleissa jännitteen alenema syntyy pääosin johtimen resistanssis-
ta, mutta suurempi poikkipintaisissa kaapeleissa on otettava myös induktanssin vaiku-
tus huomioon.

Jännitteen alenemalle on asetettu raja-arvot jänniteluokan ja käyttötarkoituksen mu-
kaan. Tässä työssä suurin sallittu jännitteen aleneman osuus nimellisjännitteestä on 3
% normaalilla kuormitusvirralla. Etenkin teollisuudessa alhainen jännite voi aiheuttaa
ongelmia taajuusmuuttajien, elektroniikkalaitteiden ja tietokoneiden kanssa.

Suorissa moottorikäyttöissä jännitteen alenema on käynnistyessä huomattavasti suu-
rempi kuin normaali kuormituksella. Moottorin ottama käynnistysvirta on 5...7 kertaa
moottorin nimellisvirta, mutta moottorikaapelin ja verkon impedanssien muodostama
käynnistysvastus” aiheuttaa käynnistysvirran pienenemisen, joka taas pienentää moot-
torin kehittämää vääntömomenttia. Käynnistysmomentin pieneneminen pidentää
käynnistysaikaa. Käynnistysjännitteen alenema riippuu käynnistysvirran lisäksi

myös verkon oikosulkutehosta. Seuraavassa kuvassa on esitetty moottorin nimellistehon verkon oikosulkutehon funktiona käynnistysvirran suhteen ollessa joko 5 tai 7.



KUVA 12. Verkon jännitteen alennema oikosulkumoottoria käynnistettäessä

Etenkin suuritehoisten suorien moottorien käynnistysten aiheuttamat jännitteen alenemat tulisi tarkastaa, koska jos työkoneneen vastamomentti on suurempi kuin moottorin käynnistysmomentti, ei moottori jaksakaan käynnistyä. Myös käynnistysaika on laskettava, ettei se ylitä standardeissa määrättyä tai valmistajalta saatua maksimiaiikaa. Suuret jännitteen alenemat aiheuttavat ongelmia myös kontaktorien koskettimissa, koska ne saattavat hitsautua jännitteen alenneman ollessa yli 15 %. /24/ / 25/

9.4 Oikosulkukestoisuus

Johdon terminen oikosulkukestoisuus ilmoitetaan suurimmasta sallitusta käyttölämpötilan arvosta lähtien yhden sekunnin suurimpana sallittuna virta-arvona. Termistä oikosulkukestoisuutta laskettaessa, on oltava tiedossa oikosulun vaikutusaikaan vaikuttavat tekijät kuten mahdolliset pika- ja aikajälleenkytkennät. Alle viiden sekunnin oikosulkuvirtoja voidaan laskea kaavan 1 kaavalla.

Kaapelit ja varusteet rasittuvat oikosulkuvirroista myös mekaanisesti, etenkin syysysoikosulkuvirta, joka voi olla 2,5-kertainen alkuoikosulkuvirtaan nähden. Oikosulkusuojan tehtävänä on katkaista piirin virta, ennen johtimessa tai sen liitoksissa tapahtuvaa vaaraa aiheuttavaa termistä tai dynaamista räsitystä. /24/ / 25/

9.5 Kuormitettavuus

Suurin sallittu kuormitettavuus lasketaan käyttäen standardeissa (SFS, IEC) olevia mitoitusaulukoita, joista saadaan korjauskertoimet. Kuormitettavuuteen vaikuttavat korjauskertoimet saadaan taulukoista, kun tiedetään: johdinkoko, johdin materiaali (kupari, alumiini), johdin eriste (PVC, PEX), asennustapa, ympäristön lämpötila, monijohdinkaapeleiden asennustapa ja lukumäärä tai hyllyasennuksissa hyllyjen määrä ja niillä olevien kaapelien määrä.

Korjauskertoimet katsotaan tapauskohtaisesti. Jos asennustapoja on useita ja asennusolosuhteet poikkeavat johtimien asennusreitillä, tarkastellaan johtimien kuormitettavuutta hankalimman asennusreitien mukaan. Mitoittaessa kaapeleita käytetään eri asennustavoille ja olosuhteille lasketuista kuormitettavuuksista sitä, mikä antaa pienimmän kuormitettavuuden, eli käytetään korjauskerrointa, joka on lähempänä nollaa kuin yhtä.

Johtimen suurin jatkuva virta ei saa kuormittaa johdinta niin, että sen eristeelle asetetut lämpötilan raja-arvot ylittyvät. PVC-eristeisillä johtimen raja-arvo on 70 °C ja PEX-eristeisillä 90 °C. Monivaihepiireissä, joissa kuormituksen oletetaan olevan symmetrinen, ei nollajohdinta oteta huomioon, vaan ainoastaan kuormitettavat vaihejohtimet. Esimerkiksi piireissä joissa esiintyy harmonisia yliaaltoja, on otettava nollajohdin huomioon mitoituksessa. Suojamaadoitusjohtimia ei oteta huomioon mitoituksessa, mutta PEN-johtimet on otettava.

Yksivaihepiireissä ja monivaihepiireissä, joissa vaihejohtimien poikkipinta on enintään 16 mm² kuparia tai 25 mm² alumiinia, on nollajohtimen oltava vähintään yhtä suuri kuin vaihejohtimien. Monivaihepiireissä, joissa kaikkien vaihejohtimien poikkipinta on suurempi kuin 16 mm² kuparia tai 25 mm² alumiinia, saa nollajohdin olla poikkipinnaltaan pienempi kuin vaihejohtimet. Niiden täytyy kuitenkin täyttää seuraavat ehdot, normaalitilanteessa esiintyvä tai harmonisten yliaaltojen aiheuttama virta ei saa olla suurempi kuin nollajohtimen kuormitettavuus, nollajohtimen pitää olla standardien mukaisesti ylivirtasuojattu ja nollajohdin on poikkipinnaltaan vähintään 16 mm² kuparia tai 25 mm² alumiinia. /24/ / 25/

9.6 Ylivirta, ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus

Muutamaa poikkeustapausta lukuun ottamatta, kaikki vaihejohtimet on varustettava ylivirtasuojalla. Ylivirtasuojan ei tarvitse katkaista virtaa kaikista jännitteisistä johtimista, vaan ainoastaan johtimen, jossa ylivirta esiintyy. Kuitenkin kolmivaiheisissa moottoreissa vain yhden vaiheen poiskykeytyminen saattaa aiheuttaa vaaratilanteen, jolloin on käytettävä suojalaitteita, jotka katkaisevat virran kaikista johtimista vikatilanteessa.

Samaa suojalaitetta voidaan käyttää sekä ylikuormitus- että oikosulkusuojana, tällöin ylikuormitussuojan pitää täyttää standardin asettamat vaatimukset sekä sen katkaisukykyyn on oltava vähintään yhtä suuri kuin asennuskohdassa oikosulkutilanteessa esiintyvän oikosulkuvirran. Erillisiä suojalaitteita käytettäessä ei oikosulkusuojan läpi kulkeva energia saa ylittää arvoa, joka voisi vaurioittaa ylikuormitussuojaa.

Ylikuormitussuoja voidaan jättää pois, jos kyseessä on IT-järjestelmä ja käytetään II luokan eristettyä sähkölaitetta tai kaikki piirit on suojattu vikavirtasuojalla tai käytetään standardien mukaista eristystilan valvontalaitetta. Ylikuormitussuoja suositellaan jätettäväksi pois jos kyseessä on: pyörivän koneen magnetoimispiiri, nostomagneetin syöttöpiiri tai virtamuuntajan toisiopiiri. Jos yhtä ylikuormitussuojaa käytetään suojaamaan useita rinnankytkettyjä johtimia, ei niihin saa olla kytkettynä haaroituspiirejä tai erotus- tai kytkinlaitteita. Jos rinnankytkettyjen johtimien virrat ovat erisuuruiset, on niiden kuormitettavuus ja suojaus käsiteltävä yksittäisinä tapauksina.

Seuraavien ehtojen on täyttyvä, kun valitaan kaapelille ylikuormitukselta suojaavaa suojalaitetta:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (3)$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \quad (4)$$

jossa:

I_b on virta, jolle piiri on suunniteltu

I_n on johtimen jatkuva kuormitettavuus

I_z on suojalaitteen mitoitusvirta (asetusarvo suojalaitteissa, joissa toiminta-arvo voidaan asettaa)

I_2 on virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa.

Oikosulkuvirtojen suuruudet on määritettävä mittaamalla tai laskemalla. Oikosulkusuojaus sijoitetaan kohtaan, jossa johtimen poikkipinta tai muut ominaisuudet muuttuvat. Oikosulkusuojausta ei vaadita johtimille, jotka liittävät generaattoreita, muuntajia, tasasuuntaajia tai akkuja tai virtapiirin katkeaminen saattaa aiheuttaa vaaraa kyseessä olevalle toiminnalle tai jos kyseessä on tietyt mittausspiirit.

Oikosulkusuojauksen on toimittava niin, että kaikissa virtapiirin kohdissa esiintyvät oikosulkuvirrat on katkaistava viimeistään johtimien saavuttaessa suurimman sallitun rajalämpötilansa. Seuraavalla kaavalla voidaan aika, joka kuluu johtimen lämpötilan noustessa rajalämpötilaan. Oletuksena on, että oikosulku kestää korkeintaan viisi sekuntia ja johdin on suurimmassa sallitussa käyttölämpötilassa ennen oikosulkua. /24/ / 25/

$$\sqrt{t} = k \times \frac{S}{I}, \quad (5)$$

missä:

t on kesto aika sekunteina

S on johtimen poikkipinta (mm²)

I on tehollinen oikosulkuvirta (A) tehollisarvona (r.m.s.)

k on kerroin, joka ottaa huomioon johdinmateriaalin

resistiivisyyden, lämpötilakertoimen ja lämmönvarauskyvyn sekä sopivat alku- ja loppulämpötilat.

9.6.1 Sulake

Sulakkeen tehtävänä on suojata kaapelia liialliselta lämpenemiseltä ylikuormitus- tai vikatilanteessa. Sulakkeen valinta tehdään kaapelin kuormitusvirran mukaan. Perinteisessä sulakkeessa on vastuslanka, joka on mitoitettu niin, että se kestää sen läpi kulkevan virran, mutta palaa poikki nimellisvirran ylittyessä. Vastuslangan katketessa myös virtapiiri katkeaa. Perinteisen sulakkeen kotelo on keraaminen tai lasinen.

Perinteisen tulppasulakkeen lisäksi on seuraavanlaisia sulaketyyppejä: lasiputkisulake, AGU- ja ANL-sulake, lattasulake, kahvasulake ja lämpösulake sekä palautettavia sulakkeita kuten johdonsuojakatkaisijat ja tulppasulakeautomaatit. Kahvasulakkeet soveltuvat hyvin oikosulkusuojiksi, niiden katkaisuoimaisuuksien puolesta. Kahvasulakkeet valmistetaan yleisimmin 690 V nimellisjännitteelle. Niiden katkaisukyky on vähintään 50 kA ja useimmiten suurempikin valmistajasta riippuen.

Sulakkeen valintaan vaikuttavat suojattavan laitteen tai ryhmän käyttämä jännite ja virta sekä suojauksen vaatimukset eli katkaisunopeus sekä katkaisukyky. Ryhmissä, joissa on sulakkeen kanssa sarjassa ylikuormitussuoja kuten moottorisuojakytkin, jää sulakkeen tehtäväksi ainoastaan toimia oikosulkusuojana. Tällöin sulakkeen valinta tehdään ainoastaan johtimen poikkipinnan mukaan.

9.6.2 Sulakkeen katkaisualue ja käyttöluokka

Sulakkeiden katkaisualue ja käyttöluokka osoitetaan kirjainlyhentein. Katkaisualueutta kuvataan kirjaimella g tai a.

g katkaisukyky käsittää koko virta-alueen

a katkaisukyky käsittää vain tietyn osa-alueen

Käyttöluokkaa kuvataan seuraavilla kirjaimilla:

g soveltuu oikosulku- ja ylikuormitussuojaksi. Sulakkeen toiminta taattu koko ylivirta-alueella

- a ainoastaan oikosulkusuojaksi soveltuva sulake
- G ”nopea sulake” soveltuu johtojen suojaamiseen
- M ”hidas sulake” soveltuu moottoripiirin suojaukseen soveltuva, kestää moottorien käynnistysvirtasysäykset
- R ”erikoisnopea sulake” soveltuu tehopuolijohteiden suojaukseen

Yleisperiaate on, että käytetään gG-sulakkeita yleiskäytöissä ja aM-sulakkeita moottoripiirien suojauksissa.

10 MITOITUSLASKENTA

Onnistuminen kaapelien mitoittamisessa vaatii riittävät lähtötiedot. Ennen mitoittamisen aloittamista on tiedettävä verkon pienin oikosulkuvirta sekä oikosulkuteho välijännitekiskostossa. Verkon tietojen lisäksi tarvitaan tiedot asennustavoista sekä asennuspaikan ympäristöolosuhteista, jotta kaapelien kuormitettavuus voidaan laskea.

Kun kaapelien kuormitettavuus on tiedossa, tarvitaan syöttöjen mitoitusvirrat, jotta syötöille voidaan valita suojaavat sulakkeet sekä muut suojalaitteet. Jännitteen alenemia tarkastellaan jatkuvalla kuormitusvirralla ja moottorisyötöissä myös käynnistysajan aikana. Kun tiedetään syötön kaapelin sekä sulakkeen tyyppi ja koko, voidaan kaapelinmaksimipituutta tarkastella myös oikosulkusuojauksen kannalta.

Lopulta kun syöttöä on tarkasteltu niin jännitteen aleneman kuin oikosulkusuojauksenkin osalta, valitaan kaapelin rajapituudeksi tulos, joka antaa kyseiselle syötölle lyhyimmän arvon. Kun kaikki projektiin liittyvien käyttöjen kaapeli- ja sulakekoot sekä syöttökohtaiset rajapituudet on saatu laskettua ja mitoitetua, voidaan niistä koota mitoitusaulukot. Mitoitusaulukoiden lisäksi mitoitus tiedot lisätään ProElina-ohjelmalla sähköpiireille.

10.1 Ols-Consult Oy

Ols-Consult Oy on helsinkiläinen insinööritoimisto, joka laatii Excel-ohjelmalle pohjautuvia sähköteknisiä laskentasovelluksia. Ohjelmistojen lisäksi he tarjoavat myös mitoituslaskenta ja konsultointi palveluja. Ohjelmistot ovat suunniteltu siten, että niiden käyttämiseen riittää tavanomainen sähkötekninen osaaminen.

Ohjelmistoissa on valmiina tavanomaisia verkko- ja komponenttiarvoja. Ne ovat riittävän realistisia, että niitä voi käyttää esisuunnitteluvaiheessa, jolloin lähtötietoja ei vielä ole. Laskentasovellukset käyttävät sähköteknisiä laskentamalleja ja niissä käytettävät arvot ovat samoja kuin standardeissa tai eräällä valmistajalla. Ohjelmissa on valittavana käytettävä kieli sekä laskujen voi valita käyttävän joko IEC:n tai SFS:n standardiarvoja. /26/

10.2 Mitoituksen kulku

Mitoitettaessa kaapeleita tulisi mitoituksen edetä oikeaoppisessa järjestyksessä. Aluksi tarvitaan riittävät pohjatiedot, jotta mitoittaminen on mahdollista. Kun tiedetään kuormitusvirrat, kuormitusvirtojen käyttäytymiset ajan funktiona sekä vallitsevat asennusolosuhteet, voidaan mitoittaa piirien kaapelit ja kojeet. Kaapelien kuormitusvirrat ja asennusolosuhteiden mukaiset korjauskertoimet saadaan standardeista.

Seuraavaksi verrataan verkossa esiintyviä maksimi dynaamisia oikosulkuvirtoja kojeiden ja kaapelien valmistajien ilmoittamiin arvoihin, jolloin varmistutaan niiden oikosulkukestoisuudesta. Kojoiden ja kaapelien termisen oikosulkukestoisuuden varmistaminen tehdään vertailemalla suojan läpi päästämää I^2t arvoa johtimen lyhytaikaiseen virtakestävyys.

Laukaisuehtojen täytyminen on tehtävä laskemalla, että missä tahansa kohdassa piiriä tapahtuvassa oikosulkutilanteessa piirin suojalaite pystyy katkaisemaan syötön standardeissa annetussa ajassa. Kun laukaisuehtojen täytyminen on varmistettu, voidaan laskea kuormitusvirran aiheuttama jännitteen alenema. Moottoripiireissä on myös tarkistettava moottorin käynnistymisen aiheuttama jännitteen alenema.

Selektiivisyyttä tarkastellessa peruseriaatteena on, ettei yläpuolen alavirtarajakäyrä leikkaa alapuolen ylävirtarajakäyrää. Selektiivisyyden tarkoituksena on, että vikatilanteessa mahdollisimman pieni osa verkosta kytkeytyy pois päältä. Eli vikakohtaa lähimpänä oleva suojalaite toimii, ettei tulisi tilannetta, jossa esimerkiksi pääsulakkeet toimivat ennen ryhmäsulakkeita.

10.3 Voimalaitoksen sähköverkon tiedot

Kantaverkon tiedot on saatavissa kyseessä olevan kantaverkon haltijalta, tässä projektissa jakeluverkon omistaa Fingrid (Liite 9). Heiltä saatujen tietojen perusteella on laadittu ”voimalaitoksen sähköverkon laskenta ja mitoitus”-raportti, jossa on selvitetty oikosulkuvirtojen suuruudet ja jakeluverkon jännitteen alenemat verkon eri osissa.

Raportista saadaan seuraavia mitoituksessa tarvittavia tietoja: välijännitekiskon pienin oikosulkuvirta ja oikosulkuteho, päämuuntajan kilpiarvot, jakelumuuntajien kilpiarvot, kojeistoihin asennettujen kuormien tehot ja niiden laatu (taajuusmuuttajakäytöt/suorat moottorikäytöt) sekä jakelumuuntajien syöttökaapelien tyypit, koot ja pituudet (Liite 10).

Voimalaitoksen sähköverkko on mallinnettu Neplan-nimisellä verkostolaskentaohjelmalla, jolla voidaan mallintaa erilaisia sähköverkon tilanteita mm. päämuuntajan jännitevaihteluiden vaikutusta, erilaisia kuormitus- ja oikosulkutilanteita. Ohjelmaan voidaan syöttää kantaverkon, päämuuntajan, välijännitekiskon, jakelumuuntajien ja niiden kiskostojen tyypit sekä sähköiset arvot. Ohjelmassa ei ole rajoitettu verkon solmupisteiden määrää, joten sillä voidaan tarkastella esim. jakelumuuntajien perässä olevien kuormien määrän ja induktiivisuuden tai kapasitiivisuuden näkymistä välijännitekiskossa.

Mallinnetuista tilanteista saadaan laskentatulokset sekä havainnollistavat pääkaaviotyypiset grafiikat, joilla laskentojen tuloksia voidaan esittää. Kaapelien mitoituksissa on käytetty Neplanilla laskettuja arvoja.

10.4 Kaapelien kuormitettavuus

Kaapelien kuormitettavuus määräytyy mm. asennustavan mukaan. Erilaiset asennustavat löytyvät standardeista ja tässä työssä on käytetty SFS600-käsikirjassa olevan taulukon A.52-1 referenssiasennustapaa E (monijohdinkaapeli vapaasti ilmassa), jota voidaan käyttää kaapeleille, jotka asennetaan tikashyllyille.

Kaapelien kuormitettavuudet saadaan standardeissa esitetyistä taulukoista. Kuormitettavuustaulukot on jaettu asennustapojen mukaan kahteen ryhmään, jotka on jaettu johdin materiaalin mukaan kahteen ryhmään. Taulukoissa kuormitettavuudet on jaettu johtimen nimellisen poikkipinnan, kaapelityypin (yksi/monijohdin), kaapelissa käytetyn eristeen ja kaapelin asennustavan mukaan. Tässä työssä on käytetty SFS600-käsikirjan taulukkoa A.52-4.

Kaapelin lopullinen kuormitettavuus saadaan kertomalla kuormitettavuustaulukosta saatu arvo asennusolosuhteiden mukaan määräytyvillä korjauskertoimilla. Koska mitoituksessa tulee käyttää hankalimman asennusolosuhteen mukaisia kertoimia, valitsin ympäristön lämpötilaksi 40 °C ja kaapelien asennustavaksi taulukon A.52-20 kohdan 14 mukaisen: kolme tikashyllyä päällekkäin, jokaisella tikashyllyllä yhdeksän monijohdinkaapelia rinnakkain kiinni toisissaan, hyllyjen etäisyys seinästä 20 mm ja hyllyjen pystysuora etäisyys toisistaan 300 mm.

Taulukosta A.52-14 saadaan ympäristön lämpötilan 40 °C antamaksi korjauskertoimeksi 0,82. Taulukon A.52-20 kohta 14 antaa korjauskertoimeksi 0,70, kun monijohdinkaapelien määrä on yhdeksän ja tikashyllyjen määrä kolme. Kun taulukoista saadut korjauskertoimet kerrotaan yhteen ($0,82 \times 0,70 = 0,574$), saadaan lopulliseksi korjauskertoimeksi 0,574. (Liite 11.) Yksittäisissä kaapeleissa käytetään vain ympäristön lämpötilan mukaista 0,82 korjauskerrointa, jos asennustapa ei muutu.

Tein kuormitettavuuksista Excel-tilin kolmella eri korjauskertoimella, jotka olivat: $k=1$, $k=0,574$, $k=0,82$. Ilmakatkaisijoilla suojattujen syöttöjen kaapelikoot oli määritettävä käsin, koska laskentaohjelmat ja laitevalintataulukot tukevat vain sulakkeilla suojattuja syöttöjä. Valitsin kaapelit kuormitettavuuden perusteella, koska ilmakatkaisijoihin voidaan asettaa ylivirta-arvo ja sen toleranssi. Koska ilmakatkaisijoilla

suojatuttuihin syöttöihin kytketään suuritehoisia moottoreita, täytyy kaapeleita kytkeä useampia rinnan, jotta ne kestävät niitä kuormittavan virran. Tekemästäni Excel-taulukosta oli helppo tarkastella ja vertailla rinnankytkettävien kaapelien johdinmateriaalin, lukumäärän ja kaapelikoon vaikutusta kuormitettavuuteen.

10.5 Ylikuormitussuojauksen valinta

Kun käytettävissä olevien kaapeleiden kuormitettavuudet ovat laskettuna, voidaan mitoittaa kaapelikoot ja suojaavat sulakkeet, kun tiedetään kaapeleille suunniteltut kuormitusvirrat.

Käytin kaapelien ja niitä suojaavien sulakkeiden valinnassa Ols-Consult Oy:n mitoitusohjelmaa: Sulake ylikuormitussuojana (versio1.5). Ohjelmalla voi tarkastella toimiiko ylikuormitussuoja luotettavasti annetuilla arvoilla. Siihen syötetään seuraavat tiedot: suojaava gG-sulake, ympäristön lämpötila, virtapiirin mitoitusvirta sekä kaapelin laji, poikkipinta, eristysmateriaali ja korjauskerroin. Annetuista tiedoista ohjelma ilmoittaa johtimen kuormitettavuuden minimiarvon, suurimman sallitun gG-sulakkeen ylikuormitussuojana, sulamisvirtarajan sekä johtimen sallitun kuormitettavuuden ja lämpötilan sulamisrajavirralla. Ohjelma ilmoittaa, jos standardien mukaiset ehdot eivät täyty valituilla arvoilla.

Moottorisyötöissä, jotka suojataan aM-sulakkeilla, valitaan suojaava sulake valmistajan ohjeiden mukaan. aM-sulakkeiden toimivuutta voidaan kuitenkin tarkastella kohdassa ”11.6 Rajapituus laukaisuvirran ja laukaisuajan mukaan” esitetyillä tavoilla. Tässä projektissa kaikki sulakevalinnat tulevat keskusvalmistajalta, jolloin kaapelit on mitoittava sulakkeiden mukaan.

10.6 Jännitteen alenema

Jännitteen aleneman tarkasteluun käytin OLS-Consultant Oy:n mitoitusohjelmaa: U-alenema (versio1.0.11) (Liite 12.). Ohjelma laskee annetuista arvoista maksimipituuden valitulle kaapelille. Maksimipituuden lisäksi ohjelmalla näyttää vaihe- ja pääjännitteen aleneman volteissa sekä jännitteen aleneman prosentuaalisen osuuden valitulla kaapelipituudella. Ohjelmaan asetetaan seuraavat tiedot: syöttävä verkko (1-vaihe/ 3-

vaihe), johtimen laji, materiaali ja poikkipinta, rinnakkaisten johtimien lukumäärä, pääjännite, taajuus, kuormitusvirta ja sen $\cos \varphi$, kaapelin pituus ja käyttölämpötila, mahdollinen varausvirta sekä suurin sallittu jännitteen alenema.

Ohjelma näyttää laskennassa käytetyn resistanssin, reaktanssin ja induktanssin pituusyksikköä kohden sekä kokonaisresistanssin, -reaktanssin ja -induktanssin ohjeina. Se laskee myös jännitteen aleneman poikittaiskomponentin sekä varausvirran aiheuttaman jännitteen. Tässä projektissa on mitoitusperusteissa annettu jatkuvan kuormitusvirran aiheuttaman jännitteen aleneman maksimiksi 3 %.

10.7 Jännitteen alenema moottorin käynnistyessä

Sähkömoottorien jännitteen alenemien laskemiseen käytin OLS-Consultant Oy:n Moottori U-alenema (versio 1.1.4) laskentaohjelmaa (Liite 13). Ohjelmaan syötetään välijännitekeskuksen jännite ja pienin oikosulkuteho sekä välijännitekeskuksen ja muuntajan välisen liitännän tiedot. Muuntajasta tarvitaan nimellisteho, toisiojännite, oikosulkuimpedanssi, kuormitushäviöt sekä kiskon tai kaapelin tyyppi, koko ja pituus.

Keskustasoja olisi mahdollista luoda useampia, mutta tässä projektissa syötöt lähtevät suoraan pääkeskuksilta. Ohjelma huomioi laskennassa myös pääkeskukseen asennetun muun kuorman. Ohjelmaan syötetään muun kuorman virta ja $\cos \varphi$. Laskin eri keskusten muun kuorman virrat voimalaitoksen ”sähköverkon mitoitus ja laskenta”-raportissa olevista keskuskohtaisista kuormitusarvoista. $\cos \varphi$ käytin arvoa 0,8.

Koska laskin syöttökaapelin maksimipituutta, en syöttänyt syöttökaapelille mitään arvoa, jolloin ohjelmalla pystyi iteroimaan moottorikaapelin pituutta. Moottorikaapeliksi voidaan valita joko kupari- tai alumiinijohtiminen kaapeli joko PVC- tai PEX-eristeellä. Lisäksi kaapelille määritetään korjauskerroin, jona käytin laskemaani 0,574.

Moottorista pitää syöttää ohjelmalle seuraavat tiedot: teho, nimellisjännite, nimellisteho, käynnistysvirta ($U=100\%$), käynnistysvirran $\cos \varphi$. Kun syöttävän verkon, muuntajan, keskusten sekä moottorin tiedot on syötetty, laskee ohjelma jännitteen aleneman moottorin navoissa, pääkeskuksen kiskostossa sekä välijännitekiskossa. Ohjelmaan voidaan asettaa sallittu jännitteen alenema ja iteroida moottorikaapelin

maksimipituus, jolloin ohjelma laskee missä metrimäärässä kaapeli saavuttaa asetetun jännitteen aleneman. Käytin mitoitusperusteiden mukaista 10 % sallittua jännitteen alenemaa.

Ohjelma näyttää jännitteen aleneman prosenttiyksikkönä sekä voltteina, lisäksi se näyttää todellisen käynnistysvirran ja käynnistysmomentin. Laskennasta saatua käynnistysmomenttia tulisi verrata kyseessä olevan työkonteen vastamomenttiin. Jos vastamomentti on suurempi kuin vääntömomentti, moottori ei jaksakaan käynnistyä.

10.8 Rajapituus laukaisuvirran ja laukaisuajan mukaan

Valitun kaapelin ja sitä suojaavan suojan toimivuutta sekä kaapelin maksimipituutta voidaan tarkastella OLS-consultant Oy:n ohjelmalla Pituus1 (versio 1.1.59) (Liite 14.). Ohjelmaan syötetään syöttävän verkon tiedot, muuntajan ja kaapelien tiedot sekä suojalaitteen tiedot. Syöttävän verkon pienin vikavirta on tiedettävä, koska sen arvona ei voida käyttää oletusarvoa. Lisäksi ohjelmaan syötetään syöttävän kaapelin pituus, muuntajan teho, ensiö-/toisiojännite, kuormitushäviöt, nollaimpedanssi ja oikosulkuimpedanssi, kiskosillan pituus ja käytetty maadoitusjärjestelmä.

Ohjelmalla voidaan valita oikosulkusuojaksi ABB:n gG- ja aM-sulake, IEC-standardin mukainen gG- ja aM-sulake tai johdonsuojakatkaisija, joka voi olla tyyppiltään B, C, D, K tai Z. gG- ja aM-sulakkeita on valittavissa 2 A:sta ja 630 A:iin. Myös oikosulkusuojan poiskytkentäaika voidaan määrittää gG- ja aM-sulakkeilla 0,2; 0,4 tai 5 sekuntia ja johdonsuojakatkaisijoilla poiskytkentäaika on aina 0,2 sekuntia. Sulakkeiden kanssa voidaan valita lisäsuojalaitteeksi katkaisija, jolle voidaan asettaa ylivirta-asettelu ja sen toleranssi sekä I_r ja I_s leikkauspisteen aika.

Lopuksi valitaan ryhmäjohdon laji ja poikkipinta sekä eristysmateriaali ja korjauskerroin. Ohjelmalla voidaan myös mallintaa liitântäkaapelin vaikutus maksimipituuteen ja sille voidaan asettaa eri korjauskerroin kuin ryhmäjohdolle. Käytin mitoituksessa liitântäkaapelin pituutena 10 metriä ja sen korjauskertoimena lämpötilakertoimesta tulevaa 0,82.

Oikosulkusuojien poiskytkentäajat on valittu aiemmissa projekteissa käytettyjen mukaisesti. Standardin mukaan poiskytkentäaika saa olla maksimissaan alle 32 A suojalaitteella 0,4 s, kun nimellisjännite maahan on 230 V ja 0,2 s, kun nimellisjännite maahan on 400 V. Yli 32 A suojalaitteella suurin sallittu poiskytkentäaika on 5 s. 400 V taajuusmuuttajasyötöissä poiskytkentäaikana on 0,4 s ja 690 V taajuusmuuttajasyötöissä 0,2 s 18,5 kW asti ja 5 s sitä suuremmissa. Suorissa sähkömoottorisyytöissä 11 kW asti ja yli 315 kW poiskytkentäaikana on 400 V jännitteellä 0,4 s ja 690 V jännitteellä 0,2 s. 15-315 kW suorissa moottorisyytöissä poiskytkentäaika on 400 V jännitteellä 0,4 s ja 690 V jännitteellä 5 s.

10.9 Suoraan verkkoon kytketyt moottorikäytöt

Mitoitettaessa suoria moottorikäyttöjä on saatava valmistajalta moottorien seuraavat tiedot: teho, nimellisvirta, käynnistysvirta ja käynnistyksen $\cos \varphi$. Suoran oikosulkumoottorikäytön ohjaukseen käytetään kontaktoria ja suojaukseen aM-sulakkeita ja lämpörelettä. Lisäksi kaikki voimalaitokseen tulevat oikosulkumoottorit varustetaan turvakytkimellä.

Tässä projektissa keskuksiin tulevien komponenttien mitoituksesta vastaa keskustoimittaja. Sähkömoottorien valmistajalta saatujen moottoritietojen ja keskusvalmistajalta saatujen sulakkeiden perusteella voidaan sähkömoottoreille mitoittaa syöttökaapelit eri teholuokille. Kun verkon ja moottorien tiedot, suojaavat sulakkeet ja syöttökaapelit ovat tiedossa, voidaan syöttökaapelien maksimipituudet mitoittaa nimellisvirran ja moottorin käynnistyksen aiheuttaman jännitteen aleneman sekä oikosulkusuojauksen toimivuuden mukaan.

Suoraan verkkoon kytkettyjen moottorikäyttöjen mitoitusaulukot löytyvät liitteistä. (Liite 1. ja liite 6.) 400 V suorat moottorisyytöt on mitoitettu 11 kW asti sekä 315 kW ylöspäin 0,2 s poiskytkentäajalla ja 30-315 kW syötöissä 5 s poiskytkentäajalla. 690 V suorissa moottorisyytöt on mitoitettu 22 kW asti sekä 630 kW ylöspäin 0,2 s poiskytkentäajalla ja 30-500 kW syötöissä 5 s poiskytkentäajalla. Moottorikaapelin pituutena turvakytkimeltä on käytetty arvioitua maksimia 10 metriä. Koska turvakytkimen ja moottorin kaapeli voi olla pienempi poikkipintainen kuin syöttökaapeli, koska sillä on suurempi kuormitettavuus, vaikuttaa se mitoitukseen maksimipituutta lyhentävästi.

10.10 Taajuusmuuttajakäytöt

Valtaosa moottorisyötöistä on varustettu taajuusmuuttajilla. Niiden mitoituksessa on otettava huomioon, etteivät mitoitetujen kaapelien halkaisijat ole suurempia kuin mitä taajuusmuuttajan sisään- tai ulostulot mahdollistavat. Kun korjauskertoimet ja taajuusmuuttajien ottamat virrat ovat suuria, usein kaapelien halkaisijat ovat suurempia kuin liitännät mahdollistavat. Tämän kaltaisissa tapauksissa käytetään useampaa rinnankytkettyä kaapelia, joiden kokonaiskuormitettavuus täyttää kuormitettavuudelle asetetut vaatimukset. Pienempi kokoisten kaapelien asennus on myös asennusystävällisempää kuin suurikokoisten.

Taajuusmuuttajalta moottorille lähtevien kaapeleiden tulee olla EMC -suojattuja ja liitännät sekä maadoitukset tulee suorittaa valmistajan ohjeiden mukaisesti niin, että EMC-direktiivit täyttyvät. Moottorien kaapelointiin on käytettävä symmetrisiä kaapeleilla käyttäen tiivisteholkkeja, jotka muodostavat 360 asteisen liitännän. Alle 30 kW moottoreissa voidaan käyttää muitakin kuin symmetrisiä kaapeleita, mutta on suositeltavaa, että kaikissa taajuusmuuttajakäytöissä käytetään EMC-kaapeleita.

IEC-runkokooltaan 280 tai sitä suuremmissa moottoreissa on käytettävä ylimääräistä potentiaalintasausta, ellei konetta ja moottoria ole asennettu yhteiseen teräsalustaan. Tässä projektissa käytettyjen taajuusmuuttajien valmistajan antamien ohjeiden mukaan, tulee taajuusmuuttajalta lähtevien moottorikaapelien olla alle 300 metrisiä alle 500 kW käytöissä ja alle 100 metrisiä yli 500 kW käytöissä 690 V jännitteellä. /26/

Taajuusmuuttajien mitoitusaulukot löytyvät liitteistä. (liite 1. ja liite 2.) 400 V taajuusmuuttajakäyttöjen mitoituksessa on käytetty 0,2 s poiskytkentäaika. 690 V taajuusmuuttajakäyttöjen mitoituksessa on käytetty 0,2 s poiskytkentäaika 18,5 kW asti ja sitä suuremmissa 0,5s poiskytkentäaika. Taajuusmuuttajat on mitoitettu moottorien nimellistehon mukaan normaalille sekä raskaalle käytölle. Taajuusmuuttajien syöttökaapelit on mitoitettu taajuusmuuttajan nimellisvirran mukaan. Käynnistyksen aiheuttaman jännitteen aleneman tarkastelussa on käytetty taajuusmuuttajan nimellisvirtaa kerrottuna puolellatoista.

10.11 Suorat sulakesyötöt

Suorien sulakesyöttöjen kaapelikoot mitoitetaan sulakkeen nimellisvirran mukaan. Kun kaapelien tyypit ja koot on valittu, tarkastellaan kaapelien maksimipituuksia jännitteenaleneman ja oikosulkusuojauksen kannalta. Suorat sulakesyötöt mitoitettiin gG-sulakkeilla 2 A:sta 630 A:iin sekä B-johdonsuojakatkaisijoilla 6 A:sta 25 A:iin ja C-johdonsuojakatkaisijoilla 1 A:sta 25 A:iin. Suorien sulakesyöttöjen mitoitustaulukot löytyvät liitteistä. (Liite 3. Liite 4. ja Liite 8.)

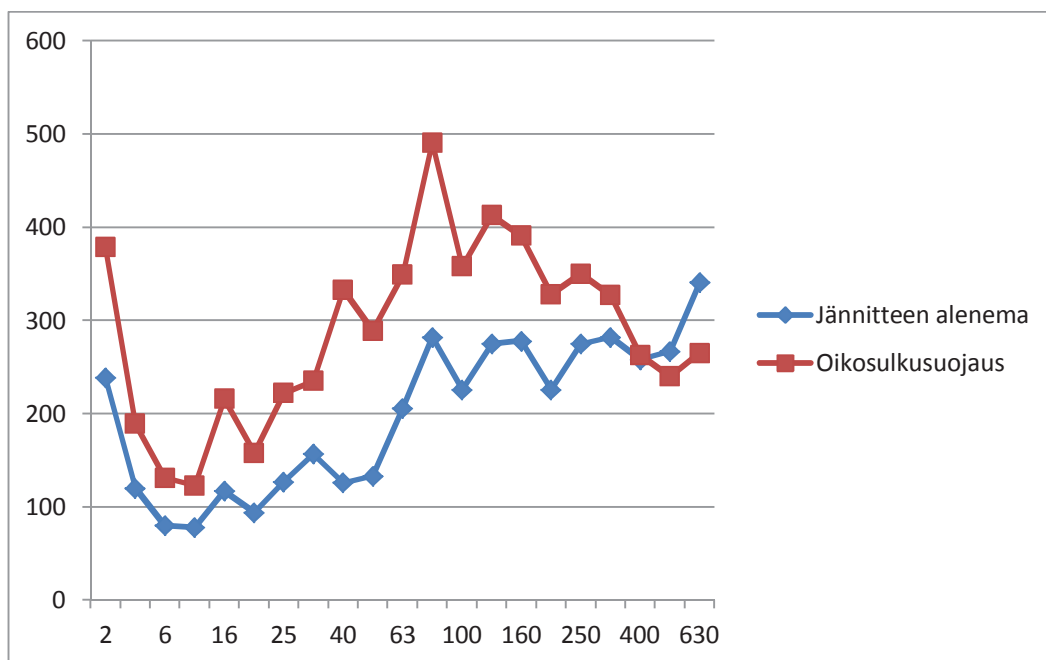
10.12 Moottoriventtiilien syötöt

Moottoriventtiilit suojataan C-johdonsuojakatkaisijoilla. Syöttökaapelit moottoriventtiileille mitoitetaan moottorin kuormitusvirran sekä johdonsuojakatkaisijan nimellisvirran mukaan. Maksimipituuksia moottoriventtiileille tarkastellaan jännitteen aleneman moottorin käynnistyessä, jännitteenaleneman kuormitusvirralla sekä oikosulkusuojauksen toimivuuden perusteella. Moottoriventtiilien mitoitustaulukko löytyy liitteestä 5.

11 YHTEENVETO MITOITUKSESTA

Koska korjauskerroin syöttökaapeleille oli 0,574, ei kaapelien maksimipituuksien kanssa juurikaan tullut ongelmia. Kaapelit ovat todennäköisesti kauttaaltaan hieman ylimitoitettuja, joka on kuitenkin etu, koska niiden häviöt pysyvät pieninä. Lisäksi lievä ylimitoitus lisää joustavuutta ja muunneltavuutta, koska mitoitus sallii yhtä teholuokkaa suurempien moottorien käyttämisen.

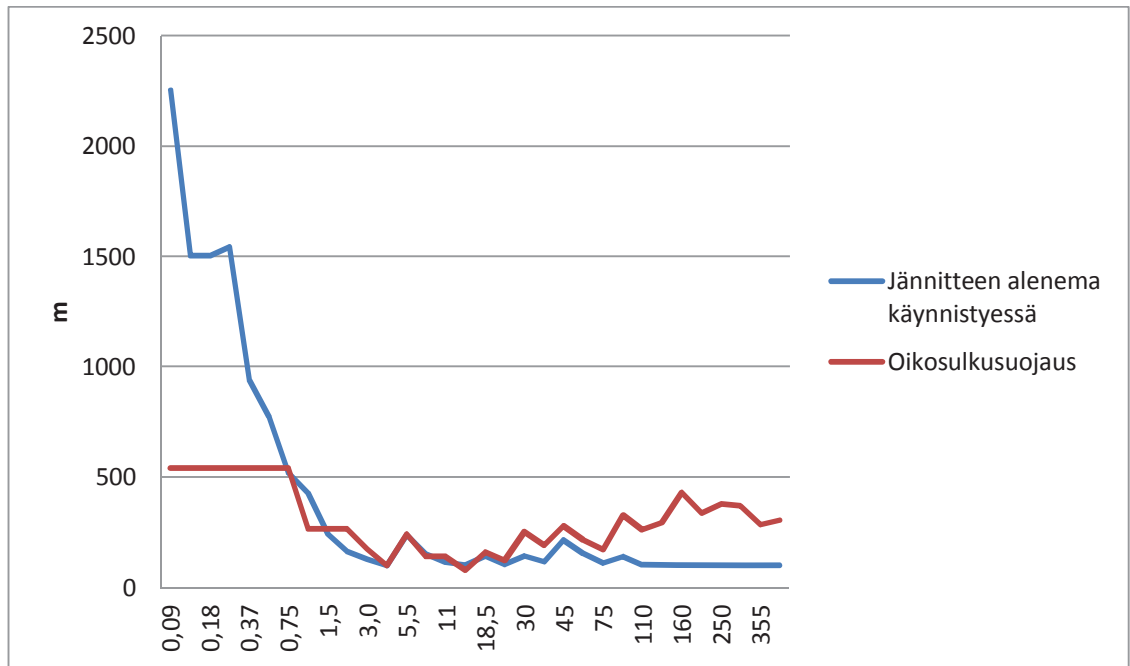
Vertaillessani eri laskentamenetelmien vaikutusta suorien sulakesyöttöjen syöttökaapelin maksimipituuteen, huomasin että jännitteen alenema vaikutti enemmän pieni poikkipintaisilla kaapeleilla, vaikka kuormitusvirrat olivatkin pieniä, kun taas suuremmilla kuormitusvirroilla ja paksummilla kaapeleilla oikosulkusuojauksen toimivuus määräsi kaapelin maksimipituuden.



KUVA 13. 400V (1500 kVA) suorien sulakesyöttöjen jännitteen aleneman ja oikosulkusuojausten toimivuuden vaikutus syöttökaapelin maksimipituuteen

Kuvassa 13 olevassa kuvaajassa on x-akselilla sulakkeen nimellisvirta ja y-akselilla kaapelin maksimipituus metreissa. 400 V sulakesyötöissä 3 % jännitteen alenema (sininen viiva) määrää kaapelin pituuden lukuun ottamatta kaikkein suurimpia sulakekojoja, joissa pituus määräytyy oikosulkusuojausten (punainen viiva) toimivuuden mukaan. Kuvaaja on tehty liitteessä 3. olevista tiedoista.

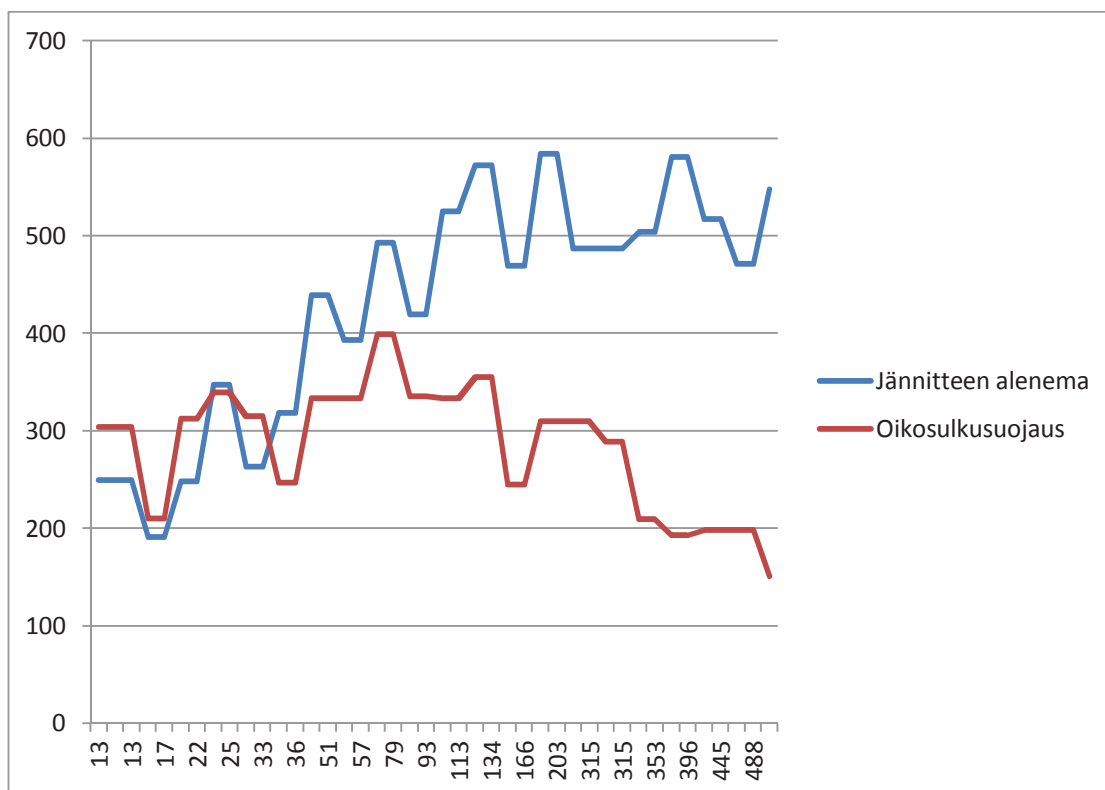
Suoraan verkkoon kytketyissä moottorikäytöissä tilanne on päinvastainen kuin sulakesyötöillä. Niissä oikosulkusuojaus määrää maksimipituuden pienitehoisilla moottorikäytöillä ja moottoritehon ja sitä myötä myös käynnistysvirran kasvaessa, alkaa käynnistyksestä aiheutuva jännitteen alenema määrätä kaapelin maksimipituuden.



KUVA 14. 690V (3150 kVA) suoraan verkkoon kytkettyjen DOL/REV-käyttöjen moottorin käynnistyksen aiheuttaman jännitteen aleneman ja oikosulkusuojauksen toimivuuden vaikutus syöttökaapelin maksimipituuteen

Kuvassa 14 on x-akselilla moottorin nimellisteho ja y-akselilla syöttökaapelin maksimipituus. Sininen viiva kuvaa käynnistyksestä aiheutuvan jännitteen aleneman, joka saa maksimissaan olla 10 %, vaikutusta syöttökaapelin pituuteen ja punainen viiva oikosulkusuojauksen toimivuuden määräämää rajapituutta. Kuvaaja on tehty liitteessä 6. olevista tiedoista.

Mitoittaessa taajuusmuuttajakäyttöjä, konkretisoituivat taajuusmuuttajan hyötyvaikutukset, koska taajuusmuuttajalla varustettujen moottorien käynnistyksen aiheuttama jännitteen alenema ei määrännyt maksimipituutta yhdelläkään kuormitusvirta-arvolla. Käytin taajuusmuuttajan käynnistysvirtana 1,5 kertaista nimellisvirtaa. gG-sulakkeilla suojattujen taajuusmuuttajakäyttöjen syöttökaapelin pituuteen vaikutti aluksi 3 % jännitteen alenema kuormitusvirralla, mutta kuormitusvirran noustessa 36 A:iin, määräsi oikosulkusuojauksen toimivuus maksimipituuden.



KUVA 15. 690V (3150 kVA) taajuusmuuttajakäyttöjen jännitteen aleneman ja oikosulkusuojausajan toimivuuden vaikutus syöttökaapelin maksimipituuteen

Kuvassa 15 on x-akselilla taajuusmuuttajan jatkuva kuormitusvirta ja y-akselilla syöttökaapelin maksimipituus. Koska korjauskertoimen takia oli käytettävä lähes puolet paksumpia kaapeleita, ei 3 % jännitteenalenema juurikaan vaikuttanut taajuusmuuttajakäyttöjen mitoittamiseen. Kuvaaja on tehty liitteessä 7. olevista tiedoista.

Koska 690 V syötöt mitoitettiin 2000 kVA sekä 3150 kVA muuntajille, pystyi muuntajan koon vaikutusta vertailemaan maksimipituuteen. Vertaillessa oikosulkusuojausajan vaikutusta huomasin, että pienillä virroilla eroa ei ole ollenkaan, keskisuurilla muutamia metrejä ja suurilla virroilla jopa kymmeniä metrejä.

Moottorin käynnistyksen aiheuttamassa jännitteen alenemassa tulokset vaikuttivat aluksi hieman oudoilta, koska 2000 kVA muuntajalla lasketut maksimipituudet olivat pidempiä kuin 3150 kVA muuntajan vastaavat. Syy siihen on, että 3150 kVA perässä oleva kuorma on lähes puolet suurempi kuin 2000 kVA, joka syöttää ainoastaan polttoaineen käsittelyyn liittyviä laitteita ja rakennuksia.

Havaitsin projektia tehdessäni seuraavien asioiden vaikutuksen mitoitukseen. Mitä suurempi verkon pienin oikosulkuvirta on sitä paremmin oikosulkusuojaus toimii pidemmillä kaapelipituuksilla. Kaapelimitoituksiin vaikuttavat myös jakelumuuntajan teho ja jännitetaso, mutta jakelumuuntajan kuorman määrällä ja laadulla voi olla suurempi vaikutus kaapelien mitoitukseen kuin muuntajan teholuokalla. Suojalaitteiden oikea valinta on myös tärkeä, koska liian suuri sulakekoko kuormitusvirtaan nähden saattaa aiheuttaa tilanteen, jossa riittävän suuren laukaisuvirran aikaansaaminen on haasteellista.

12 POHDINTA

Koin tämän opinnäytetyön tekemisen suhteellisen haastavaksi, mutta osittain sen takia myös mielenkiintoiseksi. Kaapelien mitoitukseen en löytänyt kovinkaan suoria tai valmiita työhjeita, mutta käyttämäni laskentaohjelmien käyttöoppaissa oli hyvät perusteet mitoitusyön kulusta ja käytännöistä. Vaikka laskentasovellukset helpottavatkin mitoitusyötä olennaisesti, tarvitaan niiden oikeaoppiseen käyttämiseen sähkötekniikan perusosaamista.

Tämän työn tekeminen on ollut hyvin opettavainen. Olen saanut kokemusta projektipohjaisesta suunnittelusta ja työskentelystä sekä tietokantojen ja sähkösuunnitteluohjelmien käytöstä. Uskon, että käytännön kokemukseni sähkötoista tuki myös, koska pystyin ajattelemaan mitoitusta myös asennettavuuden kannalta.

Oma tehtäväni projektissa alkoi tammikuussa 2012, jolloin CHP-voimalaitoksen rakennus oli jo alkanut. Tehdessäni tätä työtä eteni projekti pääpiirteittäin aikataulussa ja tekemäni mitoitustaulukot pysyivät myös siinä, vaikka lopullisten lähtötietojen saamisessa meni suunniteltua kauemmin.

Lopputuloksena opinnäytetyöstäni saatiin mitoitustaulukot, joiden perusteella voidaan suorittaa Järvenpäähän rakennettavan voimalaitoksen pienjännitelaitteiden kaapelointi sekä varmistua sille asetettujen standardien täyttymisestä. Tein mitoituksista myös dokumentaation, jota voidaan käyttää myös jällenpäin tai mitoitusta voidaan tarkis-

tella sen pohjalta. Lisäksi tätä tekemääni raporttia voidaan hyödyntää mitoitukseen liittyvien työhöjeden laadinnassa.

LÄHTEET

1. Pöyry. Pöyry Suomessa. WWW-dokumentti.
http://www.poyry.fi/Poyry_Suomessa/Poyry_Suomessa.html. Luettu 20.1.2012
2. Pöyryn sisäinen web-portaali.
3. Pöyry. Järvenpää CHP-projekti. Projektiasiakirjat.
4. Fortum. Fortum investoi uusiin biopolttoaineita hyödyntäviin CHP-laitoksiin. WWW-dokumentti.
<http://www.fortum.com/fi/kestava-kehitys/vastuullinen-kasvu/esimerkkeja/chplaitosjarvenpaajelgava/pages/default.aspx>, Luettu 12.2.2012
5. Metso. Metso yrityksenä. WWW-dokumentti.
http://www.metso.com/fi/corporation/about_fin.nsf/WebWID/WTB-090522-2256F-858BA?OpenDocument. Luettu 12.2.2012
6. MAN Diesel & Turbo SE. Company. WWW-dokumentti.
<http://www.mandieselturbo.com/0000039/Company.html>. Luettu 12.2.2012.
7. BHH Technology. Home of the tyrannosaurus. WWW-dokumentti.
<http://www.bmh.fi/company/overview-home-of-the-tyrannosaurus/>. Luettu 12.2.2012.
8. Metso. HYBEX boilerers. Esite. PDF-dokumentti. WWW-dokumentti.
[http://www.metso.com/energy/boiler_prod.nsf/WebWID/WTB-090517-22575-35FC6/\\$File/HYBEX.pdf](http://www.metso.com/energy/boiler_prod.nsf/WebWID/WTB-090517-22575-35FC6/$File/HYBEX.pdf)
9. Jätelaitosyhdistys. Leijupetipoltto. WWW-dokumentti.
<http://www.jly.fi/energia32.php?treeviewid=tree3&nodeid=32>. Luettu 22.3.2012
10. Jenni Aaltonen ja Juuso Ukkonen 2008. Pienet alle 4 MW yhdistetty sähkön ja lämmöntuotanto mahdollisuudet. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Kandidaatintyö. PDF-dokumentti.
<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/39675/Pienet%20chp%20laitokset.pdf?sequence=1>. Luettu 15.3.2012

11. Henri Tuikka 2007. Hyötysuhteen parantaminen höyryvoimalaitoksissa. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Kandidaatintyö. PDF-dokumentti. <http://cc oulu.fi/~jpjaako/d/nro003.pdf>. Luettu 16.3.2012
12. ABB. MDY-kiskosiltajärjestelmä. Esite. PDF-dokumentti. [http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/fa15ccb75f81261fc2256dd0002584c2/\\$file/MDY-esite_suomi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/fa15ccb75f81261fc2256dd0002584c2/$file/MDY-esite_suomi.pdf). Luettu 20.3.2012
13. VEO. VEBA 5000 Kiskosiltajärjestelmä. Esite. PDF-dokumentti. http://www.veo.fi/WebRoot/1046268/3_Taso.aspx?id=1061592
14. VEO. VEDA 5000 Pienjännitekeskukset. Esite. PDF-dokumentti. http://www.veo.fi/WebRoot/1046268/3_Taso.aspx?id=1061592
15. Matti Jantunen 2004. Sellutehtaan varavoimajärjestelmän mitoitus ja teknistaloudellinen vertailu 400 ja 690 voltin jännitteillä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Diplomityö. PDF-dokumentti. http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/research/electricitymarkets/publications/Documents/Diplomity%C3%B6/Diplomityo_Jantunen.pdf
16. ABB. Ilmakatkaisijat-Emax. WWW-dokumentti. <http://www.abb.fi/product/seitp329/5334e822fc78a488c1256ffe00484353.aspx>. Luettu 18.2.2012
17. Antti Hedman 2009. ABB. Taajuusmuuttajat. Powerpoint-esitys. PDF-dokumentti. <http://www.pkky.fi/Resource.phx/pkky/projektit/taitajaosaaminen/sahko.htx.i2025.pdf>
18. Sampsa Hirvonen 2007. Taajuusmuuttajan vaihtaminen pakkaajarobottiin. Stadia, Helsingin ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen toimiala. Insinööri. WWW-dokumentti. <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/6138/stadia-1182331891-5.pdf?sequence=1>. Luettu 25.3.2012.
19. EDU. Oppimateriaalit. WWW-dokumentti. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/kuvat/oikosulkum_kyt_kenta_kaavio.gif. Luettu 15.3.2012
20. Auma. Sähkötoimilaitteet. Esite. PDF-dokumentti. http://www.don-arsenal.ru/netcat_files/pdf/ba_sar1_07_16_am1_fi.pdf
21. Draka. Voimakaapelit 1 kV AL/ Cu, Ohjauskaapelit. Esitteet. PDF-dokumentti.

http://www.draka.fi/draka/Countries/Draka_Finland/Languages/suomi/navigaatio/Tuotteet/Kiinteistoverkot/Voimakaapelit/index.html

22. SESKO. Sähköasennuksia koskevat standardit. WWW-dokumentti.

http://www.sesko.fi/portal/fi/standardeja_ja_direktiiveja/valikoituja_standardisarjoja/sahkoasennukset/. Luettu 25.3.2012

23. SESKO. SFS käsikirja 600. 1. painos. Lokakuu 2007.

24. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus ry. 1978. Voimakaapelien valinta ja asennus. Insinööritieto Oy.

25. ABB. TTT-käsikirja. WWW-dokumentti. <http://heikki.pp.fi/abb/>

26. ABB. Taajuusmuuttajakäytöt. PDF-dokumentti.

http://auser09.onet.tehonetti.fi/data/attachments/Taajuusmuuttajakayton_vaatiukset.pdf

LIITE 1.

400 V 1500 kVA, Suorat moottorisyyötöt

MITOITUSTAULUKKO, SULAKKEELLINEN MOOTTORISYYTÖTÖ DOL REV, 400V, JAKELUMUUNTAJA 1500 kVA, 50 Hz

MOOTTORI		SULAKE		KAAPELI ³⁾			Maksimipituus m	Turvakytkin	Kaapeli
Pn kW	In A	Is A	Pääkeskus - Turvakytkin k=0,574 (IEC60364)	Moottorin u-alenema käynnistyessä	Oikosulkuuojaus	Turvakytkin			
0,09	0,5	3	2aM	Cu 3x2,5+2,5	828	356	356	Cu 3x2,5+2,5	
0,12	0,69	3	2aM	Cu 3x2,5+2,5	573	356	356	Cu 3x2,5+2,5	
0,18	0,75	4	2aM	Cu 3x2,5+2,5	506	356	356	Cu 3x2,5+2,5	
0,25	0,91	4	2aM	Cu 3x2,5+2,5	444	356	356	Cu 3x2,5+2,5	
0,37	1,3	5	2aM	Cu 3x2,5+2,5	270	356	270	Cu 3x2,5+2,5	
0,55	1,7	8	2aM	Cu 3x2,5+2,5	221	356	221	Cu 3x2,5+2,5	
0,75	2,1	11	4aM	Cu 3x2,5+2,5	149	173	149	Cu 3x2,5+2,5	
1,1	3,1	16	4aM	Cu 3x2,5+2,5	199	173	173	Cu 3x2,5+2,5	
1,5	4,0	20	6aM	Cu 3x2,5+2,5	112	112	112	Cu 3x2,5+2,5	
2,2	5,9	35	10aM	Cu 3x6+6	180	152	152	Cu 3x2,5+2,5	
3,0	7,8	54	10aM	Cu 3x6+6	140	152	140	Cu 3x2,5+2,5	
4,0	10,4	72	16aM	Cu 3x6+6	106	85	85	Cu 3x2,5+2,5	
5,5	13,3	93	16aM	Cu 3x6+6	76	85	76	Cu 3x2,5+2,5	
7,5	18,3	128	20aM	Cu 3x6+6	68	77	68	Cu 3x6+6	
11	24,2	169	32aM	Cu 3x10+10	82	82	82	Cu 3x10+10	
15	31,9	223	40aM	Cu 3x10+10	72	111	72	Cu 3x10+10	
18,5	37,6	263	50aM	Cu 3x10+10	64	85	64	Cu 3x10+10	
22	43,5	304	63aM	Cu 3x16+16	74	111	74	Cu 3x16+16	
30	57,6	403	80aM	Al 3x70+21	143	153	143	Cu 3x16+16	
37	69,9	489	100aM	Al 3x70+21	115	117	115	Cu 3x16+16	
45	84,5	592	125aM	Al 3x70+21	94	93	93	Cu 3x35+16	
55	103,5	725	160aM	Al 3x120+41	99	131	99	Cu 3x35+16	
75	138,0	966	200aM	Al 3x120+41	73	112	73	Cu 3x70+35	
90	167,3	1255	200aM	Al 3x185+57	70	162	70	Cu 3x70+35	
110	203,6	1527	250aM	Al 3x185+57	54	123	54	Cu 3x70+35	

LIITE 2.

400 V 1500 kVA, Taajuusmuuttajasyötöt

MITOITUSTAULUKKO, TAAJUUSMUUTTAJAT, 400V, JAKELUMUUNTAJA 1500 kVA, 50 Hz

MOOTTORI	PAAKESKUS		CABLE		Oikoaikuaajuaja	Järmitteen alenema	maks. pituus m 1)	Tyyppi Normaali käyttö	Tyyppi Raskas käyttö	I _{cont,max} A	KAAPELI TAMU - Turvakytkin k=0,574 (IEC60364)
	Fuse Norm. käyttö, Raskas käyttö	Sulake Pääkeskus - TAMU k=0,574 (IEC60364)									
0,09	10gG	10gG	Cu 3x2,5+2,5	123	153	123	ACS800-01-0003-3	ACS800-01-0003-3	5,1	Cu 3x2,5+2,5	
0,12	10gG	10gG	Cu 3x2,5+2,5	123	153	123	ACS800-01-0003-3	ACS800-01-0003-3	5,1	Cu 3x2,5+2,5	
0,18	10gG	10gG	Cu 3x2,5+2,5	123	153	123	ACS800-01-0003-3	ACS800-01-0003-3	5,1	Cu 3x2,5+2,5	
0,25	10gG	10gG	Cu 3x2,5+2,5	123	153	123	ACS800-01-0003-3	ACS800-01-0003-3	5,1	Cu 3x2,5+2,5	
0,37	10gG	10gG	Cu 3x2,5+2,5	123	153	123	ACS800-01-0003-3	ACS800-01-0003-3	5,1	Cu 3x2,5+2,5	
0,55	10gG	10gG	Cu 3x2,5+2,5	123	153	123	ACS800-01-0003-3	ACS800-01-0003-3	5,1	Cu 3x2,5+2,5	
0,75	10gG	10gG	Cu 3x2,5+2,5	123	153	123	ACS800-01-0003-3	ACS800-01-0003-3	5,1	Cu 3x2,5+2,5	
1,1	10gG	10gG	Cu 3x2,5+2,5	123	153	123	ACS800-01-0003-3	ACS800-01-0003-3	5,1	Cu 3x2,5+2,5	
1,5	10gG	10gG	Cu 3x2,5+2,5	123	153	123	ACS800-01-0003-3	ACS800-01-0003-3	5,1	Cu 3x2,5+2,5	
2,2	10gG	10gG	Cu 3x2,5+2,5	123	120	120	ACS800-01-0004-3	ACS800-01-0004-3	6,5	Cu 3x2,5+2,5	
3	10gG	10gG	Cu 3x2,5+2,5	123	92	92	ACS800-01-0005-3	ACS800-01-0005-3	8,5	Cu 3x2,5+2,5	
4	16gG	16gG	Cu 3x6+6	172	172	172	ACS800-01-0006-3	ACS800-01-0006-3	10,9	Cu 3x6+6	
5,5	16gG	16gG	Cu 3x6+6	135	135	135	ACS800-01-0009-3	ACS800-01-0009-3	13,9	Cu 3x6+6	
7,5	20gG	20gG	Cu 3x6+6	99	99	99	ACS800-01-0011-3	ACS800-01-0011-3	19	Cu 3x6+6	
11	25gG	25gG	Cu 3x10+10	127	127	127	ACS800-01-0016-3	ACS800-01-0016-3	25	Cu 3x10+10	
15	40gG	40gG	Cu 3x16+16	148	148	148	ACS800-01-0020-3	ACS800-01-0020-3	34	Cu 3x16+16	
18,5	50gG	50gG	Al 3X35+21	151	151	151	ACS800-01-0025-3	ACS800-01-0025-3	44	Al 3X35+21	
22	63gG	63gG	Al 3x70+21	203	236	203	ACS800-01-0030-3	ACS800-01-0030-3	55	Al 3x70+21	
30	80gG	80gG	Al 3x120+41	244	314	244	ACS800-01-0040-3	ACS800-01-0040-3	72	Al 3x70+21	
37	100gG	100gG	Al 3x120+41	207	263	207	ACS800-01-0050-3	ACS800-01-0050-3	86	Al 3x70+21	
45	125gG	125gG	Al 3x185+57	201	334	201	ACS800-01-0060-3	ACS800-01-0060-3	103	Al 3x70+21	
55	160gG	160gG	Al 3x240+72	201	334	201	ACS800-01-0060-3	ACS800-01-0075-3	103	Al 3x70+21	
75	200gG	200gG	Al 2x(3x120+41)	147	272	147	ACS800-01-0100-3	ACS800-01-0100-3	145	Al 3x120+41	
90	224gG	224gG	Al 2x(3x185+57)	186	340	186	ACS800-01-0120-3	ACS800-01-0120-3	202	Al 3x185+57	
	250gG	250gG	Al 2x(3x185+57)	186	340	186	ACS800-01-0120-3	ACS800-01-0135-3	225	Al 3x240+72	

LIITE 3.

400 V 1500 kVA, Suorat sulakesyötöt

MITOITUSTAUULLUKKO, SUORAT SULEKESYÖTÖT, 400V, JAKELUMUUNTAJA 1500 kVA, 50 Hz

Jännite	MCC		3) Min A	Kaapelin maksimikuormitettavuus A k = 0,574 (IEC60364)	PVC-eristetty, kupari- tai alumiinikaapeli 4)		Oikosulkusuojaus	Maks. pituus m	Jänn. Alenema %, 100m 2)	Huom.
	Sulake, A gG, IEC				Jännitteen alenema 3 %					
400	2		3	11	k = 0,574 (IEC60364)	Cu 3x1,5+1,5	379	239	1,3 %	
400	4		6	11		Cu 3x1,5+1,5	189	120	2,5 %	
400	6		8	11		Cu 3x1,5+1,5	131	80	3,8 %	
400	10		14	15		Cu 3x1,5+1,5	123	78	3,8 %	
400	16		18	25		Cu 3x6+6	216	117	2,6 %	
400	20		22	25		Cu 3x6+6	158	94	3,2 %	
400	25		28	34		Cu 3x10+10	222	127	2,4 %	
400	32		35	46		Cu 3x16+16	235	157	1,9 %	
400	40		44	46		Cu 3x16+16	333	126	2,4 %	
400	50		55	55		Al 3x35+21	289	133	2,3 %	
400	63		70	86		Al 3x70+21	349	206	1,5 %	
400	80		88	122		Al 3x120+41	491	282	1,1 %	
400	100		110	122		Al 3x120+41	358	226	1,3 %	
400	125		138	161		Al 3x185+57	413	275	1,1 %	
400	160		177	189		Al 3x240+41	391	278	1,1 %	
400	200		221	243		Al 2x(3x120+41)	328	226	1,3 %	
400	250		276	321		Al 2x(3x185+57)	350	275	1,1 %	
400	315		348	379		Al 2x(3x240+72)	327	282	1,1 %	
400	400		441	482		Al 3x(3x185+57)	263	258	1,2 %	
400	500		138	568		Al 3x(3x240+72)	240	267	1,5 %	
400	630		177	740		Cu 3x3x240+120	265	341	0,9 %	

LIITE 4.

400 V 1500 kVA, Johdonsuojakatkaisijasyötöt

MITOITUSTAULUKKO, JOHDONSUOJAKATKAISIJAT, 400V, JAKELUMUUNTAJA 1500 kVA, 50 Hz

Jännite V	PÄÄKESKUS		KAAPELI Jatk. lmax Maks pituus	Cu 3/5x1,5 11 A m 1)	Cu 3/5x2,5 15 A m 1)	Cu 3/5x6 25 A m 1)	Cu 3/5x10 34 A m 1)	Cu 3/5x16 46 A m 1)
	Johdonsuoja- katkaisija	Johd.suoj.katk. Tyyppi						
400	B 6	S201/ S203		80	130	>200		
400	B 10				78	188		
400	B 16					117	198	
400	B 20					94	158	
400	B 25						127	201
400	C 1			>200	>200			
400	C 1.6			>200	>200			
400	C 2			>200	>200			
400	C 4			120	195			
400	C 6			80	130	>200		
400	C 10				78	188		
400	C 16					117	158	
400	C 20					94	158	
400	C 25						127	201

LIITE 5.

400 V 1500 kVA, Moottoriventtiilien syötöt

MITOITUSTAULUKKO, MOOTTORIVENTTIILIT, 400V, JAKELUMUUNTAJA 1500 kVA, 50Hz

MOOTTORI		Moottorin käynn.		Pääkeskus - Turvakytkin		Moottorin u-alenema		KAAPELI 5)		Turvakytkin		KAAPELI	
P _n kW	I _n A	I _s A	Suojalaitte tyyppi	Pääkeskus - Turvakytkin k= 0,574 (IEC60364)	Muuttorin u-alenema käynnistyksessä	Jännitteen alenema	Oikosulkusuojaus	Maksimipituus m	Turvakytkin	Turvakytkin	Turvakytkin	Turvakytkin	KAAPELI
0,09	0,52		S203-C4	Cu 4x2,5+2,5	687		247	>200					Cu 4x2,5+2,5
0,12	0,69		S203-C4	Cu 4x2,5+2,5	687		247	>200					Cu 4x2,5+2,5
0,18	0,75		S203-C4	Cu 4x2,5+2,5	687		247	>200					Cu 4x2,5+2,5
0,25	1		S203-C4	Cu 4x2,5+2,5	687		247	>200					Cu 4x2,5+2,5
0,37	1,30	3	S203-C4	Cu 4x2,5+2,5	418	313	247	>200					Cu 4x2,5+2,5
0,55	2,50	5	S203-C4	Cu 4x2,5+2,5	342	289	247	>200					Cu 4x2,5+2,5
0,75	2,7	6	S203-C6	Cu 4x2,5+2,5	231	223	165	165					Cu 4x2,5+2,5
1,1	3,5	9	S203-C6	Cu 4x2,5+2,5	189	156	165	165					Cu 4x2,5+2,5
1,5	5,0	12	S203-C10	Cu 4x2,5+2,5	106	130	99	99					Cu 4x2,5+2,5
2,2	6,0	20	S203-C16	Cu 3x6+6	171	235	148	148					Cu 4x2,5+2,5
3,0	8,0	32	S203-C16	Cu 3x6+6	133	171	148	148					Cu 4x2,5+2,5
4,0	11,0	42	S203-C20	Cu 3x6+6	103	125	119	119					Cu 3x6+6
5,5	15,0	32	S203-C25	Cu 3x6+6	74	94	95	94					Cu 3x6+6
7,5	20,0	42	S203-C32	Cu 4x10+10	107	127	124	107					Cu 3x6+6

LIITE 6.

690 V 3150 kVA, Suorat moottorisyyötöt

MITOITUSTAULUKKO, SULAKKEELLINEN MOOTTORISYÖTÖ DOL REV, 690V, JAKELUMUUNTAJA 3150 kVA, 50 Hz

MOOTTORI		SULAKE		SULAKE koko		PÄÄKESKUS - TURVAKYTKIN		MOOTTORIN KÄYNNISTYKSEN AIHEUTTAMA JÄM. ALANEMA		OIKOSULKUSUOJAUS		Maks. pituus m		TURVAKYTKIN		KAAPELI	
Pn kW	In A	Is A	A	A	A	koko	Pääkeskus - Turvakytkin k=0,574 (IEC60364)	Moottorin käynnistyksen aiheuttama jäm. alenema	Oikosulkusuojajaus	Maks. pituus m	Turvakytkin	Turvakytkin - Moottori k=0,82 (IEC60364)	KAAPELI				
0,09	0,3	2	2aM	2aM	2aM	2254	Cu 3x2,5+2,5	2254	541	>200			Cu 3x2,5+2,5				
0,12	0,4	2	2aM	2aM	2aM	1502	Cu 3x2,5+2,5	1502	541	>200			Cu 3x2,5+2,5				
0,18	0,4	3	2aM	2aM	2aM	1502	Cu 3x2,5+2,5	1502	541	>200			Cu 3x2,5+2,5				
0,25	0,5	3	2aM	2aM	2aM	1543	Cu 3x2,5+2,5	1543	541	>200			Cu 3x2,5+2,5				
0,37	0,9	3	2aM	2aM	2aM	939	Cu 3x2,5+2,5	939	541	>200			Cu 3x2,5+2,5				
0,55	1,4	5	2aM	2aM	2aM	772	Cu 3x2,5+2,5	772	541	>200			Cu 3x2,5+2,5				
0,75	1,5	6	2aM	2aM	2aM	520	Cu 3x2,5+2,5	520	541	>200			Cu 3x2,5+2,5				
1,1	1,9	9	4aM	4aM	4aM	428	Cu 3x2,5+2,5	428	265	>200			Cu 3x2,5+2,5				
1,5	3	12	4aM	4aM	4aM	241	Cu 3x2,5+2,5	241	265	>200			Cu 3x2,5+2,5				
2,2	3	20	4aM	4aM	4aM	163	Cu 3x2,5+2,5	163	265	163			Cu 3x2,5+2,5				
3,0	5	32	6aM	6aM	6aM	128	Cu 3x2,5+2,5	128	173	128			Cu 3x2,5+2,5				
4,0	6	42	10aM	10aM	10aM	99	Cu 3x2,5+2,5	99	99	99			Cu 3x2,5+2,5				
5,5	8	54	10aM	10aM	10aM	171	Cu 3x6+6	171	240	171			Cu 3x2,5+2,5				
7,5	10	74	16aM	16aM	16aM	150	Cu 3x6+6	150	140	140			Cu 3x2,5+2,5				
11	14	98	16aM	16aM	16aM	113	Cu 3x6+6	113	140	113			Cu 3x2,5+2,5				
15	17	130	25aM	25aM	25aM	101	Cu 3x6+6	101	80	80			Cu 3x2,5+2,5				
18,5	21	153	25aM	25aM	25aM	143	Cu 3x10+10	143	160	143			Cu 3x6+6				
22	26	176	32aM	32aM	32aM	106	Cu 3x10+10	106	121	106			Cu 3x6+6				
30	34	234	50aM	50aM	50aM	142	Cu 3x16+16	142	252	142			Cu 3x10+10				
37	43	284	63aM	63aM	63aM	115	Cu 3x16+16	115	193	115			Cu 3x10+10				
45	52	343	80aM	80aM	80aM	215	Al 3x70+21	215	278	>200			Cu 3x16+16				
55	60	420	100aM	100aM	100aM	153	Al 3x70+21	153	216	153			Cu 3x16+16				
75	82	560	125aM	125aM	125aM	111	Al 3x70+21	111	171	111			Cu 3x35+16				
90	97	728	125aM	125aM	125aM	139	Al 3x120+41	139	329	139			Cu 3x35+16				
110	118	885	160aM	160aM	160aM	103	Al 3x120+41	103	262	103			Cu 3x70+35				
132	145	1080	200aM	200aM	200aM	102	Al 3x185+57	102	294	102			Cu 3x70+35				
160	177	1290	200aM	200aM	200aM	100	Al 2X(3X120+41)	100	429	100			Cu 3x120+70				
200	219	1613	250aM	250aM	250aM	100	Al 2X(3X120+41)	100	337	100			Cu 3x120+70				
250	276	1988	315aM	315aM	315aM	100	Al 2X(3x185+57)	100	378	100			Cu 3x185+95				
315	337	2513	400aM	400aM	400aM	100	Al 2X(3x240+72)	100	369	100			Cu 3x240+120				
355	377	2850	500aM	500aM	500aM	100	Al 2X(3x240+72)	100	286	100			Cu 2x(3x120+70)				
400	426	3188	500aM	500aM	500aM	100	Al 3x(3x185+57)	100	305	100			Cu 2x(3x120+70)				

690 V 3150 kVA, Taajuusmuuttajasyötöt

MITOITUSTAUUKKO, TAAJUUSMUUTTAJAT, 690V, JAKELUMUUNTAJA 3150 kVA, 50 HZ

MOOTTORI		MCC		KAAPELI				KAAPELI			
Ph kW	Sulake Norm. Käyttö	Sulake Raskas käyttö	Pääkeskus - TAMU k=0,574 (IEC60364)	Jännitteen alenema 3 %	Oikosulkusuojaus	maks. pituus m 1)	Tyyppi Normaali käyttö	Tyyppi Raskas käyttö	I _{cont,max} A	TAMU - Tunvakyykin k=0,574 (IEC60364)	maks. pituus m 2)
5,5	16gG	16gG	Cu 3x6+6	249	304	249	ACS800-01-0011-7	ACS800-01-0011-7	13	Cu 3x2,5+2,5	300
7,5	16gG	16gG	Cu 3x6+6	249	304	249	ACS800-01-0011-7	ACS800-01-0011-7	13	Cu 3x2,5+2,5	300
11	20gG	20gG	Cu 3x6+6	191	210	191	ACS800-01-0016-7	ACS800-01-0016-7	17	Cu 3x6+6	300
15	25gG	25gG	Cu 3x10+10	248	312	185	ACS800-01-0016-7	ACS800-01-0020-7	22	Cu 3x6+6	300
18,5	32gG	32gG	Cu 3x16+16	347	339	>300	ACS800-01-0020-7	ACS800-01-0025-7	25	Cu 3x6+6	300
22	35gG	35gG	Cu 3x16+16	263	315	263	ACS800-01-0030-7	ACS800-01-0030-7	33	Cu 3x10+10	300
30	50gG	50gG	Al 3x35+16	318	247	247	ACS800-01-0040-7	ACS800-01-0040-7	36	Cu 3x10+10	300
37	63gG	63gG	Al 3x35+16	439	333	>300	ACS800-01-0050-7	ACS800-01-0050-7	51	Al 3x70+21	300
45	63gG	63gG	Al 3x70+21	393	333	>300	ACS800-01-0060-7	ACS800-01-0060-7	57	Al 3x70+21	300
55	80gG	80gG	Al 3x120+41	493	399	>300	ACS800-01-0070-7	ACS800-01-0070-7	79	Al 3x70+21	300
75	100gG	100gG	Al 3x120+41	419	335	>300	ACS800-01-0100-7	ACS800-01-0100-7	93	Al 3x120+41	300
90	125gG	125gG	Al 3x185+57	525	333	>300	ACS800-01-0120-7	ACS800-01-0120-7	113	Al 3x120+41	300
110	160gG	160gG	Al 3x240+72	572	355	>300	ACS800-01-0145-7	ACS800-01-0145-7	134	Al 3x185+57	300
132	200gG	200gG	Al 2x(3x120+41)	469	245	245	ACS800-01-0175-7	ACS800-01-0175-7	166	Al 3x185+57	300
160	250gG	250gG	Al 2x(3x185+57)	584	310	>300	ACS800-07-0210-7	ACS800-07-0210-7	203	Al 2x(3x120+41)	300
200	250gG	250gG	Al 2x(3x240+72)	487	310	>300	ACS800-07-0320-7	ACS800-07-0320-7	315	Al 2x(3x185+57)	300
250	315gG	315gG	Al 2x(3x240+72)	487	289	289	ACS800-07-0320-7	ACS800-07-0320-7	315	Al 2x(3x185+57)	300
315	400gG	400gG	Al 3x(3x185+57)	504	209	209	ACS800-07-0400-7	ACS800-07-0400-7	353	Al 2x(3x240+72)	300
355	500gG	500gG	Al 3x(3x240+72)	581	193	193	ACS800-07-0440-7	ACS800-07-0440-7	396	Al 2x(3x240+72)	300
400	500gG	500gG	Al 3x(3x240+72)	517	198	193	ACS800-07-0490-7	ACS800-07-0490-7	445	Al 3x(3x185+57)	300
450	500gG	500gG	Al 3x(3x240+72)	471	198	198	ACS800-07-0550-7	ACS800-07-0550-7	488	Al 3x(3x185+57)	300
			Al 4x(3x240+72)	548	151	151	ACS800-07-0610-7	ACS800-07-0610-7	560	Al 3x(3x240+72)	100

LIITE 8.

690 V 3150 kVA, Suorat sulakesyötöt

MITOITUSTAUULLUKKO, SUORAT SULEKESYÖTÖT, 690V, JAKELUMUUNTAJA 3150 kVA, 50 Hz

Jännite V	Kuormankytkin Moduulin koko	Sulake, A gG, IEC	Sulakkeen koko	3) Min A	Kaapelin maks. kuormitettavuus A k = 0,574 (IEC60364)	Maksimi kaapelin lämpötila C° 1)	PVC-eristetty, kupari- tai alumiinikaapeli 4)			maks. pituus m	Jänn. Alenema %, (100m. 2)
							Jännitteen alenema	Oikosulkuusuojaus	PVC-eristetty, kupari- tai alumiinikaapeli 4)		
690	OS63	2		3	11	70	Cu 3X1,5+1,5	413	550	413	0,7 %
690		4		6	11	70	Cu 3X1,5+1,5	206	275	206	1,5 %
690		6		8	11	76	Cu 3G1,5	138	190	138	2,2 %
690		10		14	14	96	Cu 3X2,5+2,5	135	179	135	2,2 %
690		16		18	25	74	Cu 4X6+6	203	328	203	1,5 %
690		20		22	25	90	Cu 4X6+6	162	234	162	1,9 %
690		25		28	34	82	Cu 4X10+10	218	328	218	1,4 %
690		32		35	46	77	Cu 4X16+16	271	365	271	1,1 %
690		40		44	46	98	Cu 4X16+16	217	575	217	1,4 %
690		50		55	55	103	Al 3x35+21	229	363	229	1,3 %
690		63		70	86	82	Al 3x70+21	355	602	355	0,8 %
690	OS125	80		88	122	73	Al 3x120+41	487	847	487	0,6 %
690		100		110	122	92	Al 3x120+41	389	617	389	0,8 %
690		125		138	161	87	Al 3x185+57	475	712	475	0,6 %
690	OS250	160		177	189	95	Al 3x240+72	479	673	479	0,6 %
690		200		221	243	92	Al 2x(3x120+41)	389	564	389	0,8 %
690		250		276	321	87	Al 2x(3x185+57)	475	601	475	0,6 %
690	OS400	315		348	379	93	Al 2x(3x240+72)	487	559	487	0,6 %
690		400		441	482	93	Al 3x(3x185+57)	445	447	445	0,7 %
690	OS630	500		552	568	100	Al 3x(3x240+72)	460	405	405	0,7 %
690		630		695	740	69	Cu 3x(3x240+120)	588	81	81	0,5 %

Fingridin mukaan vikavirrat Kyrölän 110 kV sähköasemalla eri tilanteissa ovat seuraavat (sähköposti Ulla Huhtanen 13.09.2011):

- Normaali minimi-tilanne v.2012, jos syöttö vain Anttilasta päin:

KYRÖLÄ 110 kV

- $I_{k'} = 5,7 \text{ kA}$, $Z_{k'} = (2,2+j11,7) \text{ ohm}$
- $3I_0 = 1,8 \text{ kA}$

- Normaali minimi-tilanne v.2012, kun syöttö molemmista suunnista:

KYRÖLÄ 110 kV

- $I_{k'} = 10,7 \text{ kA}$, $Z_{k'} = (1,7+j6,2) \text{ ohm}$
- $3I_0 = 3,2 \text{ kA}$

- Normaali maksimi-tilanne v.2012, kun syöttö molemmista suunnista:

KYRÖLÄ 110 kV

- $I_{k''} = 13,55 \text{ kA}$, $Z_{k''} = (1,3+j4,8) \text{ ohm}$
- $I_{k'} = 13,05 \text{ kA}$, $Z_{k'} = (1,3+j5,0) \text{ ohm}$
- $3I_0 = 3,45 \text{ kA}$

- Ennuste v.2014, kun syöttö molemmista suunnista:

KYRÖLÄ 110 kV

- $I_{k''} = 14,25 \text{ kA}$, $Z_{k''} = (1,0+j4,6) \text{ ohm}$
- $3I_0 = 3,5 \text{ kA}$

- Eräs ennuste v.2021:

KYRÖLÄ 110 kV

- $I_{k''} = 16,6 \text{ kA}$, $Z_{k''} = (0,9+j3,9) \text{ ohm}$
- $3I_0 = 3,7 \text{ kA}$

Pääkeskuksiin asennetut tehot

Tunnus	Teho	Muuntosuhde	u_k	Kojeisto	Kojeiston asennettu teho, taajuusmuuttajat / DOL moottorit
20BFT10	3,15 MVA	10,5/0,725kV	7%	20BFA	2,91 MW / 0,45 MW
20BFT20	3,15 MVA	10,5/0,725kV	7%	20BFB	2,66 MW / 0,99 MW
20BFT30	2,0 MVA	10,5/0,725kV	6%	20BFC 20BHC 20BRC	0,62 MW / 0,98 MW
20BHT10	1,6 MVA	10,5/0,420kV	6%	20BHA 20BMA 20BRA 20BUE 20BUF	0,04 MW / 0,90 MW

Mistä	Mihin	Kaapelityyppi	Pituus
110 kV	20BAT10	3x1x300 Al	250 m
20BAT10	20BBA	3x3x1x800 Al	25 m
20BBA	20MKA10	3x3x1x800 Al	75 m
20BBA	20BFT10	3x240 Al	25 m
20BBA	20BFT20	3x240 Al	25 m
20BBA	20BFT30	3x240 Al	150 m
20BBA	20BHT10	3x240 Al	25 m

LIITE 11.
Korjauskerroin

Asennustapa	E	Taulukko 52-3 Kohta nro 32
Korjauskerroin ka	0,7	Taulukko A.52-20 Kohta nro 14
Ympäristön lämpötila	40 °C	
Korjauskerroin ky	0,82	Taulukko A.52-14
Kokonaiskorjauskerroin	0,574	

Esimerkit jännitteen alenema mitoitusdokumenteista

LÄHTÖTIEDOT

Syöttävä verkko	3-vaiheverkko	
Johdinlaji	Kerratut johtimet	
Johdinmateriaali	Kupari	
Poikkipinta mm ² / Rinn.lkm	2,5 mm ²	1 //
Pääjännite	690 V	50 Hz
Kuormitusvirta / cosφ	10 A	1
Pituus / Käyttölämpötila	100 m	70 C°
Varausvirta	A / km	
Sallittu jännitteen alenema	3 %	

690V, 50 Hz

LASKENNAN TULOKSIA

Laskennassa käytetään		
r=	8,866 Ω/km	R= 886,6 mΩ
x=	0,107 Ω/km	X= 10,7 mΩ
l=	0,341 mH/km	Z= 886,7 mΩ
Δ U:n poikittaiskomponentti	0,01 V	
Varausvirran jännite	0,00 V	

Jännitteen alenema

Cu Johdinmateriaali
8,9 Vaihejännitteen alenema V
15,4 Pääjännitteen alenema V
2,2 Jännitteen alenema %

Maksimi pituus sallitulla jännitteen alenemalla
135 m

Kuorma

U-ALENEMA



LÄHTÖTIEDOT

Syöttävä verkko	3-vaiheverkko	
Johdinlaji	Kerratut johtimet	
Johdinmateriaali	Kupari	
Poikkipinta mm ² / Rinn.lkm	10 mm ²	1 //
Pääjännite	400 V	50 Hz
Kuormitusvirta / cosφ	25 A	1
Pituus / Käyttölämpötila	100 m	70 C°
Varausvirta	A / km	
Sallittu jännitteen alenema	3 %	

400V, 50 Hz

LASKENNAN TULOKSIA

Laskennassa käytetään		
r=	2,190 Ω/km	R= 219 mΩ
x=	0,095 Ω/km	X= 9,5 mΩ
l=	0,302 mH/km	Z= 219,2 mΩ
Δ U:n poikittaiskomponentti	0,02 V	
Varausvirran jännite	0,00 V	

Jännitteen alenema

Cu Johdinmateriaali
5,5 Vaihejännitteen alenema V
9,5 Pääjännitteen alenema V
2,4 Jännitteen alenema %

Maksimi pituus sallitulla jännitteen alenemalla
127 m

Kuorma

U-ALENEMA



Esimerkki moottorin käynnistyksen aiheuttaman jännitteen aleneman mitoitusdokumentista

LÄHTÖTIEDOT**Välijännitekisko**

	Oletusarvot	10,48 kV
Taajuus	50 Hz	
Nimellisjännite	10,5 kV	
Pienin oikosulkuteho	535,6 MVA	
Kaapeli tai kisko	Al 3-johd.kaap. 6/10 kV	
Poikkipinta	240 mm ²	
Pituus / Rinnak. kaap. lkm	25 m 1 kpl	
Induktanssi	0,260 mH/km	
Resistanssi	0,148 ohm/km 50 C°	

Muuntaja

Teho	1500 kVA	
Toisiojännite	420 V	
Oikosulkuimpedanssi	6 %	
Kuormitushäviöt	14 kW	

Kaapeli tai kisko

	Kisko Al 1600 A	
Pituus	10 m	
Induktanssi	0,350 mH/km	
Resistanssi	0,046 ohm/km 70 C°	

Pääkeskus

Kuormitusvirta Ib / cos φ	1338,8 A 0,8	
---------------------------	--------------	--

Syöttävä kaapeli

	MC(C)MK 3//185 mm ²	
Eristys / Kerroin	PVC k = 0,574	
Pituus	m	
Induktanssi	0,236 mH/km	
Resistanssi	0,12 ohm/km 60C°	

Alakeskus

Kuormitusvirta Ib / cos φ	A	
---------------------------	---	--

Syöttävä kaapeli

	AMC(C)MK 1// 70 mm ²	
Eristys / Kerroin	PVC k = 0,62	
Pituus	m	
Induktanssi	0,242 mH/km	
Resistanssi	0,516 ohm/km 60C°	

Alakeskus

Kuormitusvirta Ib / cos φ	A	
---------------------------	---	--

Moottorikaapeli

	AMC(C)MK 1//120 mm ²	
Eristys / Kerroin	PVC k = 0,574	
Pituus	99 m	
Induktanssi	0,236 mH/km	
Resistanssi	0,307 ohm/km 70C°	

Moottori

Teho	kW 75	
Nimellisjännite	400 V	
Nimellisvirta	138,0 A	
Käynnistysvirta U=100%	966 A	
Käynnistysvirran cos φ	0,45	

Muunna

Ohm / km → mH / km	0,123 ohm/km	0,392 mH/km
Resistanssi	0,08 ohm/km Cu	
Lämpötila	20 C° → C° 60	0,093 ohm/km

LASKENNAN TULOS

Jännitteen alenema	24 V
10,5 kV	0,23 %

Moottorivirran laskenta

Teho	0,09 kW
Nimellisjännite	400 V
cos φ	0,86
Hyötysuhde	0,94
In/Is	5
In	0 A
Is	1 A

Jännitteen alenema	26,4 V
420 V	6,28 %

Kuormitettavuus Iz
IEC 60364, vapaasti ilmassa

Jännitteen alenema	26,4 V
420 V	6,28 %


Jännitteen alenema	26,4 V
420 V	6,28 %

Moottorikaapelin maksimi pituus

Sallittu jännitteen alenema % **10 OK!**

Jännitteen alenema	60,0 V
400 V	10,00 %

Todellinen käynnistysvirta 874 A
Käynn.momentti / Nimell.käynn.momentti **0,81**

Moottorin U-alenema	
	

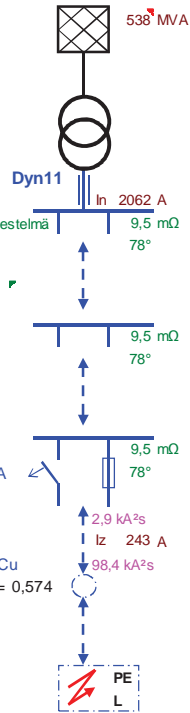
Esimerkki oikosulku-mitointidokumentista

LÄHTÖTIEDOT

Verkon pienin oikosulkuvirta	29,6 kA
Syöttävän kaapelin pituus	25 m
Syöttävä 3v-muuntaja	1500 kVA
Muuntajan ensiöjännite	10,5 kV
Muuntajan toisiojännite	420 V
Kuormitushäviöt	14 kW
Nollaimpedanssi	5,7 uko
Muuntajan oikosulkuimped.	6 uk;%
Kiskosillan pituus	10 m
Maadoitusjärjestelmä	TN Suoraan maadoit. järjestelmä

Oletusarvot

Oletusarvot



Laskennan aseteltavat oletusarvot

	Vaihejohdin	Kerrattu PE	Konsentrinen PE	
Loppulämpötila	160 C°	160 C°	250 C°	PVC
Alkulämpötila	70 C°	70 C°	50 C°	PVC
Loppulämpötila	250 C°	PEX;EPR;XLPE		
Alkulämpötila	70 C°	PEX;EPR;XLPE		
Jännitekerroin	0,7			
Syöttävän johdon alkulämpötilan alennus	10 C°			
Mittauslaskennan oletusarvot				
Johtojen lämpötila	25 C°			
Jännitekerroin	1			
Kuormittavuus Iz	IEC 60364, vapaasti ilmassa			

Pääkeskuslähde

Oikosulkusuoja	Sulake gG IEC	200 A
Poiskytkentäaika	0,4 s	
Ryhmäjohto		
Laji ja poikkipinta	AMC(C)MK	2x3x120+41 Cu
Eristys / Kerroin	PVC	k = 0,574

LASKENNAN TULOS

Laukaisuvirta	2700 A
Pienin vikavirta L-PE	2700 A
Ryhmäjohto	
Lyhytaikainen virtakestoisuus	OK
Ryhmäjohdon pituus	147 m

Mittauksen vertailuarvot

Oikosulkuvirran mitta	4313 k; A
	0,054 R; Ω
	0,015 X; Ω
	0,056 Z; Ω
PE:n jatkuvuusmittaus	
PE	0,033 R; Ω
PE+L	0,052 R; Ω

Calculated using the methods given in IEC standards

PITUUS	