



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jani Åsvik

KONSEPTIRATKAISU KAASUKOMPRESSORIASEMALLE

Tekniikka ja liikenne
2014

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jani Åsvik
Opinnäytetyön nimi	konseptiratkaisu kaasukompressoriasemalle
Vuosi	2014
Kieli	suomi
Sivumäärä	62
Ohjaaja	Tapani Esala

Opinnäytetyön aiheena oli konseptiratkaisu kaasukompressoriasemalle. Tavoitteena oli laatia toimiva konsepti, jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa. Taustalla oli toive tehdä valmis, tarjottava malli asiakkaille, sillä sellaista ei vielä ollut. Tarkoituksena oli laatia kustannustehokas konsepti. Työ tehtiin Wärtsilä Finland Oy:lle, mutta yhteistyössä Vacon Oy:n kanssa. Vaconin osuus oli luoda konsepti taajuusmuuttajakäytölle. Wärtsilän osuus oli valita pääkomponentit ja laatia konsepti suorakäytölle. Taajuusmuuttajakäytöstä on laadittu erillinen opinnäytetyö keväällä 2014.

Teoriaosuudessa vertailtiin ja tutkittiin eri komponenttien ominaisuuksia ja soveltavuutta projektiin. Opinnäytteessä yritettiin mitoittaa mahdollisimman kustannustehokkaasti valittuja komponentteja. Lisäksi teoriaosuudessa on selvitetty komponenttien toimivuutta. Keskeistä työssä oli kustannustehokas mitoittaminen ja oikeiden komponenttien valinta.

Projektin aikana saatiin laadittua valmis konsepti, jota voidaan hyödyntää asiakkaiden kanssa. Jokainen valittu komponentti tulee valita kokonaisuuden toimivuuden kannalta.

ABSTRACT

Author	Jani Åsvik
Title	Concept for a Gas Compressor Station
Year	2014
Language	Finnish
Pages	62
Name of Supervisor	Tapani Esala

The subject of the thesis was to design a concept for a gas compressor station. The objective was to compose a functional concept, which can be utilised in future. The purpose was also to make a ready, affordable concept for customers, as there was no this type of concept previously. The concept was to be cost-effective, as well. The thesis was made for Wärtsilä Finland Oy, but in co-operation with Vacon Oy. Vacon's part was to create a concept for the frequency converter start and direct start. Wärtsilä's part was to choose main components and create a concept for the direct start. Another thesis was made about the frequency converter start.

The theory part was based on comparing and exploring the quality of different components and their suitability for the project. The components were dimensioned as cost effectively as possible. The functionality of the components was also studied.

In the thesis a concept was created ready which can be utilised with customers. Every selected component was chosen to serve the whole project as well as possible.

Keywords concept, project, gas compressor

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO.....	9
2 WÄRTSILÄ	10
3 GD-MOOTTOREILLA TOTEUTETTU VOIMALAITOS	12
3.1 Konseptin tarve.....	12
3.2 Prosessi	12
3.3 GD-moottori	13
3.4 GD-kompressori	14
4 KAASUKOMPRESSORI SUORAKÄYTÖLLÄ	15
5 SÄHKÖNJAKELU	17
5.1 Keskiännikatkasijan valinta	18
5.1.1 ABB Unigear ZSI.....	19
5.2 Muuntaja	20
5.2.1 Kuiva muuntaja	21
5.2.2 Muuntajan valinta ja mitoitus suorakäytölle	22
5.3 Pienjännitekeskuksen suunnittelu.....	24
5.4 Kaasukompressoreiden sähkömoottorien suojaus ilmakatkaisijoilla	30
5.5 Kaapeleiden mitoitus projektiin	32
5.5.1 Kaapelin valinta kesijännitekatkaisijan ja muuntajan välille	31
5.5.2 Muuntajan ja pienjännitekeskuksen valinta	34
5.5.3 Pienjännitekeskuksen ja kaasukompressorin sähkömoottorin välinen kaapelointi	36
6 RAKENNUKSEN VALINTA PIENJÄNNITEKESKUKSELLE JA MUUNTAJALLE	38
6.1 Standardin mukaisia vaatimuksia rakennukselle.....	38
6.2 Suojaus rakennuksen sisäpuolella	39
6.3 Muuntajan sijoitus rakennukseen	40

6.4 Pienjännitekeskuksen sijoitus rakennukseen.....	42
7 SIMULOINTI.....	44
7.1 Yliaaltojen käyttäytyminen muuntajalla taajuusmuuttajakäytössä	50
8 VERTAILU	55
8.1 Muuntajan valinta suoraikäytöllä ja taajuusmuuttajalla	55
8.2 Pienjännitekeskuksen vertailu	56
8.3 Kaapeleiden vertailu	58
9 YHTEENVETO.....	59
LÄHTEET	61

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1.	Järjestelmän sähköjakelun yleiskuva	s.18
Kuvio 2.	Unigear ZS1 keskiännitekatkaisijan rakenne	s.20
Kuvio 3.	Kuivamuuntajan rakenne	s.21
Kuvio 4.	Pienjännitekeskuksen pääkatkaisijan laukaisukäyrä	s.25
Kuvio 5.	Esimerkki taulukon laatimisesta	s.26
Kuvio 6.	Pääkatkaisijan kenno ja syöttölähte toisessa kennossa	s.28
Kuvio 7.	Moottorilähdöt ja oheislaitteiden lähdöt	s.29
Kuvio 8	Muuntaja ja pienjännitekeskus mittakaavassa	s.30
Kuvio 9.	Moottorinsuojaus ilmakatkaisijalla	s.31
Kuvio 10.	Muuntajan koteloinnin mitat	s.41
Kuvio 11.	Muuntajahuoneen ja pienjännitekeskushuoneen mitat	s.41
Kuvio 12.	Pienjännitekeskuksen mitat	s.43
Kuvio 13	Moottorin parametrit simuloinnissa	s.45
Kuvio 14.	Rakennettu simulaatiokuva	s.45
Kuvio 15.	Oikosulkuvirrat, impedanssi 6 %, muuntaja 3,15 MVA	s.48
Kuvio 16	Jännitteen alenema pienjännite kiskossa	s.49
Kuvio 17.	Oikosulkuvirrat impedanssilla 8 %, muuntaja 3,15 MVA	s.49
Kuvio 18.	Harmonisten yliaaltojen simulointi	s.51
Kuvio 19.	Simuloinnin tulos graafisessa muodossa	s.52
Kuvio 20.	Simuloinnin tulos tarkoilla arvoilla	s.53
Kuvio 21	Pääkaavio suorakäytön moottorilähdöissä	s.57
Taulukko 1.	Muuntajan kilpiarvot	s.23
Taulukko 2.	SFS 6000-standardin kuormittavuudet virtoina	s.34

Taulukko 3. SFS 6000-asennustapojen kuormittavuudet	s.36
Taulukko 4. Muuntajan mitat	s.40
Taulukko 5a. Jännitteen aleneman vertailu	s.46
Taulukko 5b. Jännitteen aleneman vertailu	s.46
Taulukko 5c. Jännitteen aleneman vertailu	s.47

KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT

GD	Gas Diesel
MVA	Megawattiampeeria
kV	Kilovoltti
MV	Keskijännite
LV	Pienjännite
V	Voltti/Jännite
kVA	Kilovolttiampeeria
kW	Kilowatti
bar	Paine
MW	Megawatti
Hz	Taajuus
Plc	Ohjelmitava logiikka
A	Ampeeri/Virta
kWA	Kilowattiampeeria
cos	Hyötysuhde
ATEX	Räjähdyksivaarallisten tilojen standardi
IEC	Standardi

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Wärtsilä Oyj Ab Vaasan voimalaitos yksikön ja Vacon Oyj kanssa. Opinnäytetyön aiheena oli GD-moottorien kaasukompressori projektin konseptin kustannustehokkuuden optimointi. Työn tarpeen määritteli Wärtsilä. Konseptia tarvittiin, sillä ei ollut olemassa valmista dokumentointia myyjä varten. Tämä tapa vaati enemmän resursseja ja aikaa. Vanha toimintamalli ei vastannut tämän päivän hektisiä markkinavaatimuksia eikä ollut kustannustehokasta toimintaa.

Työn tarkoituksena oli mallintaa suunnittelukonsepti GD-moottorien kaasukompressoreille. Konsepti sisältää MV-keskuksen, 11 kV/400 V muuntajan suojausineen, LV-keskuksen suojausineen, moottorilähdöt, moottorin ja kaapelit. Konsepti pyrkii hyödyntämään mahdollisimman paljon jo olemassa olevaa rakennuksia, keskuksia, suojausmalleja. Näillä menetelmillä haluttiin varmistaa kustannustehokkuus sekä hyvä kilpailukyky.

Työssä kilpailutettiin konseptiin kuuluvat komponentit ja isommat kokonaisuudet yhdeksi toimivaksi ratkaisumalliksi. Konseptin tarkoitus on palvella kaiken mallisia ja kokoisia GD-moottori voimalaitoksia. Opinnäytetyö tuottaa malliratkaisun tarvittavine liitteineen tulevia projekteja varten.

2 WÄRTSILÄ

Wärtsilä on kansainvälinen, johtava merenkulun ja energiamarkkinoiden voimaratkaisujen toimittaja. Wärtsilä tukee asiakasyrityksiä tuotteiden koko elinkaaren ajan. Wärtsilän tavoitteena on maksimoida alusten ja voimalaitosten ympäristötehokkuus ja taloudellisuus keskittymällä kokonaishyötysuhteeseen ja teknologisiin innovaatioihin. /12/

Wärtsilän tavoitteena on toimittaa meriteollisuuden ja energia-alan tarpeisiin sopivia, joustavia, tehokkaita ja mahdollisimman ympäristöystävällisiä tuotteita. Nämä tuottavat asiakkaalle etua mahdollisimman paljon koko tuotteen elinkaaren ajan. Wärtsilän alkuperäisiksi vahvuuksiksi voidaankin laskea moottorit, insinöörien osaamisen, laivat ja voimalaitokset. Wärtsilä panostaa teknologiaan ja yrityksen tavoitteena on nähdä vaivaa, jotta tuotteet ovat mahdollisimman toimivia ja asiakkaan tarpeita vastaavia. /12/

Asiakshyöty pyritään maksimoimaan palveluiden ja tuotteiden saralla siten, että talous ja ympäristö pysyisivät mahdollisimman kestäväällä pohjalla. Wärtsilän brändin tarkoituksena on heijastaa yrityksen arvoja. Näitä arvoja ovat esimerkiksi erinomaisuus, innostus ja energia. Wärtsilä pitää tärkeänä sitä, että työ tehdään laadukkaasti ja asiakkaat saavat tarpeidensa mukaista palvelua. /12/

Kansainvälinen yritys Wärtsilä työllistää noin 18 000 ammattilaista. Wärtsilällä on toimipisteitä 170 eri puolella maapalloa. Suomessa Wärtsilä työllistää noin 3600 henkilöä. Suomen sisällä Wärtsilällä on toimipisteitä Vaasassa, Helsingissä ja Turussa. Wärtsilän toimialayksiköihin kuuluu ship power, service ja power plant. /12/

Opinnäytetyö tehtiin power plant:lle. Wärtsilä toimii hajautetun energiatuotannon markkinoiden joustavien voimalaratkaisujen toimittajana. Wärtsilä pyrkii tarjoamaan luotettavia ja kilpailukykyisiä ratkaisuja asiakkailleen. Nämä kattavat sähköverkon vakaan toiminnan,

perusvoimatuotannon, voimalaitokset, jotka on suunniteltu kuormitushuippuja tasaamaan, teollisuudelle suunnatun energiatuotannon sekä kaasu- ja öljyteollisuuden tarpeet. /12/

Energiaratkaisujen tulee olla hajautettuja, tehokkaita, joustavia ja ympäristöystävällisiä. Tämä mahdollistaa kansainvälisen siirtymisen kohti kestävää, uudenaikaista energiainfrastruktuuria. /12/

3 GD-MOOTTOREILLA TOTEUTETTU VOIMALAITOS

GD-moottoreilla toteutettu voimalaitos käyttää polttoaineena dieseliä ja korkeanpaineeseen puristettua kaasua. Voimalaitos koostuu monesta osaluokasta, jotka muodostavat toimivan kokonaisuuden. Standardi voimalaitokseen kuuluvat polttoainejärjestelmät, pienjännitekeskuksen huone, keskijännite huone, valvomo, jäähdytysjärjestelmä ja akustotila. Poikkeuksena GD-moottorilla muihin moottorityyppeihin on kaasukompressori, jolla tehdään moottorille korkea kaasunpaine. Tästä johtuen tarvitaan kaasukompressorille oma keskijännitekatkaisija suojauksineen, muuntaja suojauksineen ja erillinen pienjännitekeskus jossa sijaitsee kompressorin sähkömoottorin suojaukset.

3.1 Konseptin tarve

Konseptin tarve lähti liikkeelle Wärtsilän voimalaitos yksikön tarpeista saada myyntikonsepti GD-moottorien kaasukompressorille. Aikaisemmin konseptimalli puuttui tästä ratkaisusta kokonaan. Konseptin rakentaminen myyntiä varten auttaa ymmärtämään paremmin toimituksen tarvittavat komponentit sekä havainnollistaa valmiiden piirustusten merkein toimitussisällön ja toimintaperiaatteen. Konsepti auttaa myyntimiehiä paketoimaan oikeita komponentteja sekä arviomaan todellisia kustannuksia. Asiakkaille opinnäytetyö selkeyttää tarjottavan paketin toimitussisältöä yksityiskohtaisesti. Konseptilla saadaan hyötyjä suunnittelussa, rakennusvaiheessa sekä käyttöönotossa unohtamatta loppuasiakkaan laitoksen ajoa. Tässä opinnäytetyössä vertaillaan taajuusmuuttajaohjatun kompressorin ja suorakäyttöisen kompressorin eroja.

3.2 Prosessi

GD-moottori tarvitsee käynnistykseen dieselöljyä, jonka jälkeen asiakas voi valita jatkaako dieselöljyllä vai siirtykö ajamaan kaasulla. Kaasulla ajettaessa kaasu puristetaan mäntäkompressorilla korkeaan paineeseen (350 Bar).

Kompressorin pyörii sähkömoottorilla joka voi olla suorakäyttö tai taajuusmuuttajalla ohjattu. Ohjaus tapahtuu aina valvomosta kenttäväylien välityksellä.

3.3 GD-moottori

GD-moottori kehitettiin 1980-luvun lopulla. Moottori kehitettiin voimanlähteeksi kaasu ja öljyteollisuuteen. GD-moottoria käytetään pääsääntöisesti öljy-, ja kaasukentillä, jonne se soveltuu ominaisuuksiltaan parhaiten. Käyttökohteina on pumppu-, ja kompressorikäytöt. GD-moottorin parhain ominaisuus on monipuolisuus polttoaineen käytössä, koska se polttaa hyvin huonolaatuista kaasua. Huonompilaatuista kaasua ja öljyä on helposti saatavilla lisätuotteena öljy ja kaasukentillä, koska sitä muodostuu öljynporauksen yhteydessä. Normaalisti ilman GD-moottoria huonolaatuinen kaasu poltettaisiin soihdussa ja kukaan ei hyötyisi siitä. Käytännössä GD-moottorin avulla asiakkaat saavat hyödynnettyä kaasun sähköntuottamiseen ilman moottorin polttoainekuluja. Tällöin asiakas säästää myös päästöoikeuksien ostossa. Jokainen teollisuusyritys, joka synnyttää päästöjä joutuu ostamaan päästöoikeuksia.

Tuotteena GD-moottori on ainutlaatuinen, sillä vastaavaa tuotetta ei löydä kilpailijoilta. GD-moottorilla on korkea hyötysuhde, mikä merkitsee maksimaalista hyötyä asiakkaalle; järkevää sähköntuottoa ja vähentynyttä päästöjen syntymistä. Asiakas saa nykyään helposti rahoituksen GD-moottorilla rakennettuihin voimalaitosprojekteihin, sillä maailmanpankki on sitoutunut antamaan rahoitusta projekteihin joissa pyritään vähentämään päästöjä.

Usein asiakkaan kaasukentät ja pumppausasemat sijaitsevat vaikeiden kulkuyhteyksien päässä. Tällöin myös sähkönsaanti luotettavasti öljykentille on vaikeaa. Öljykenttien prosessien katkeaminen aiheuttaa usein asiakkaalle isoja kustannuksia. Tällöin omakäyttöinen polttomoottori voimalaitos on hyvä ratkaisu, koska asiakas ei ole riippuvainen ulkoisesta sähköntuottamisesta.

3.4 GD-kompressori

GD-kompressori on mäntäkompressori, jolla kaasu puristetaan oikeaan paineeseen. GD-kompressoriin tulee pienpaineesta kaasua ja kaasu puristetaan männällä. Kaasu imetään eteenpäin imuventtiilin kautta ja puristetaan venttiilin kautta seuraavalle sylinterille, jossa sitä puristetaan lisää. GD-kompressorissa on kolme tasoa, jolloin painetta nostetaan askeleittain haluttuun tasoon. Paine nostetaan ensimmäisellä tasolla 70 baariin, toisella 150 baariin ja viimeisellä tasolla yli 300 baariin. Painetta säädellään venttiilillä. Suurin paine tässä koko luokassa on 350 baaria painetta. Laitoksen koko määritellään sähkömoottorin mukaan, joka jaksaa pyörittää kompressoria, millä saadaan tarvittava kaasun tuotto aikaiseksi GD-moottorille. Kokoluokissa GD-kompressoreita on mahdollista olla 300 kW ylöspäin aina 1,6 MW asti. GD-kompressori on tällä hetkellä ainoa tuote Wärtsilällä, jolla saadaan puristettua kaasu tarpeeksi korkeaan paineeseen.

Wärtsilä tilaa kompressorin aina alihankkijoilta, tällä hetkellä yhteistyöverkostossa ei ole montaa kompressorin valmistajaa. Koska valmistajia on kohtuullisen, vähän hinta on korkea. Toimitusajat ovat kohtuullisen pitkiä, sillä kukaan toimittaja ei tee tämänkokoisia laitteita varastoon. Wärtsilä käyttää tämän projektin kokoluokassa kontti ratkaisua, jolloin kompressori ja oheislaitteet ovat samassa kontissa. Konttiratkaisussa laitteet testataan ennen toimitusta, jolloin projektin työmaalle saapuu valmis paketti. Tämä taas nopeuttaa projektin kulkua.

Kaasukompressorin valinnassa tuli ottaa huomioon monta seikkaa. Valittu kompressori on lähimpänä oikeaa kokoluokkaa tulevilla projekteilla. Jos kokoluokka muuttuu, muutokset eivät tule olemaan kovin radikaaleja. Tulevaisuudessa tämän kokoluokan kompressorille on jo tiedossa olevia projekteja, jolloin konseptimalli oli järkevintä toteuttaa tällä kompressorin kokoluokalla.

4 KAASUKOMPRESSORI SUORAKÄYTÖLLÄ

Tarkoituksena oli tutkia konseptin kannalta oleellisia asioita. Näitä oli esimerkiksi eri osa-alueiden järkevää sovittamista kokonaisuudeksi sekä kaasukompressorin toiminnan tutkimista ja kompressorin toimintaan perehtymistä. Kaasukompressorin oli projektin kannalta tärkein osa, koska kaasukompressorin oli jo valittuna projektiin. Tarkoitus oli valita toimivat ja kustannustehokkaat ratkaisut kaasukompressorin ympärille. Projektissa tutkittiin suorankäytön ja taajuusmuuttajakäytön eroja, hyviä ja huonoja puolia.

Tutkimuksessa mietittiin, mitä lisäarvoa taajuusmuuttajakäyttö toisi kaasukompressorin käyttöön ja kannattaisiko asiakkaalle tarjota suorankäytön sijasta taajuusmuuttajan käyttöä. Kun asiakkaalla on useampi kuin yksi vaihtoehto valittavana kaasukompressorin käyttöön, asiakas voi valita omaan käyttöönsä sopivan ratkaisun. Vaihtoehdot antavat myös markkinointiin lisäarvoa. Tässä osuudessa tarkasteltiin kaasukompressorin suorankäyttöä, jolloin itse kaasukompressorin säätö tapahtuu venttiileillä. Kaasukompressorin ohjataan plc-sekvenssillä valvomosta etäohjauksella.

Kaasukompressorin on tässä ratkaisussa sijoitettu konttiin, jossa sijaitsevat myös muut tarvittavat ohjauslaitteet. Kaikki tarpeellinen on valmiiksi rakennettu konttiin, jonne tuodaan pienjännitekeskuksesta sähkösyöttö ja valvomosta tarvittavat etäohjaus kaapelit. Kaasukompressorin säätö- ja oheislaitteiden sähkönteho on 60 kVA:a jokaista kaasukompressorin konttia kohden.

Kaasukompressorissa on käynnistys sekvenssi. Siinä tarkistetaan tarvittavat ehdot, jotta kompressorin on turvallista käyttää. Sekvenssin toteutetaan plc-ohjauksen avulla. Sekvenssin alussa tarkistetaan kompressorin öljynpaine ja jäähdytyspumpun toiminta. Kun öljynpaine on saavuttanut tarvittavan painetasen, aukaisee plc-ohjaus sisään tulevan kaasuventtiilin. Tämän jälkeen plc-ohjaus antaa käynnistyskäskyn, jolloin kompressorin moottori lähtee

pyörimään. Kun kompressorin käy, plc-ohjaus säätää venttiilien avulla paineen halutulle alueelle.

Hallittu kompressorin pysäytys voidaan toteuttaa plc-ohjauksella valvomosta tai paikallisella painonapilla kompressorin ohjausyksiköstä. Pysäytyksessä kompressorin moottori pysähtyy ja sisään tulevat kaasuventtiilit sulkeutuvat. Tämän jälkeen myös jäähdytyspumppu sammuu. Muut kompressorin venttiilit toimivat edelleen kompressorin sisäisen logiikan mukaisesti.

Kompressorissa on tärkeitä sammumisrajoja, joihin plc-ohjaus reagoi nopeasti. Tällainen voi olla esimerkiksi liian suureksi kasvanut kaasunpaine. Tällöin kaasukompressorin moottori, oheislaitteiden moottorit ja venttiilit sulkeutuvat välittömästi ja ylipaineventtiili päästää kaasun pois kompressorilta. Tila saadaan kuitattua paikallisesti tai plc-ohjauksella valvomosta, jolloin venttiilit palaavat normaaliin aloitustilaan sekvenssissä.

Jos kaasukompressorin sähkömoottorissa ilmenee vikatilanne, moottorinsuoja laukeaa. Moottorinsuoja on asennettu lv-keskukseen, josta plc:lle menee kosketintieto. Tällöin plc-ohjaus antaa kompressorin logiikalle hätäpysäytyskäskyn, jolloin se toimii edellisen kohdan mukaisesti.

GD-moottoreilla tuotetaan lähes nimellinen teho, joka syötetään kokoojakiskolle, jonka jälkeen suljetaan kaasukompressoreille johtava keskijännitekatkaisija. Tämän jälkeen sähkö pääsee muuntajalle, joka muuntaa sähköön pienjännitteeksi. Tästä jännite kulkee pienjännitekeskuksen kokoojakiskolle, joka jakaa sähköön kaasukompressoreiden sähkömoottoreille. Projektissa kaasukompressorin ajaminen suoritetaan siten, että yksi kaasukompressorin ajetaan ylös nimelliselle pyörimisnopeudelle. Tämän jälkeen käynnistetään toinen. Kolmas kompressorin on varalla.

5 SÄHKÖNJAKELU

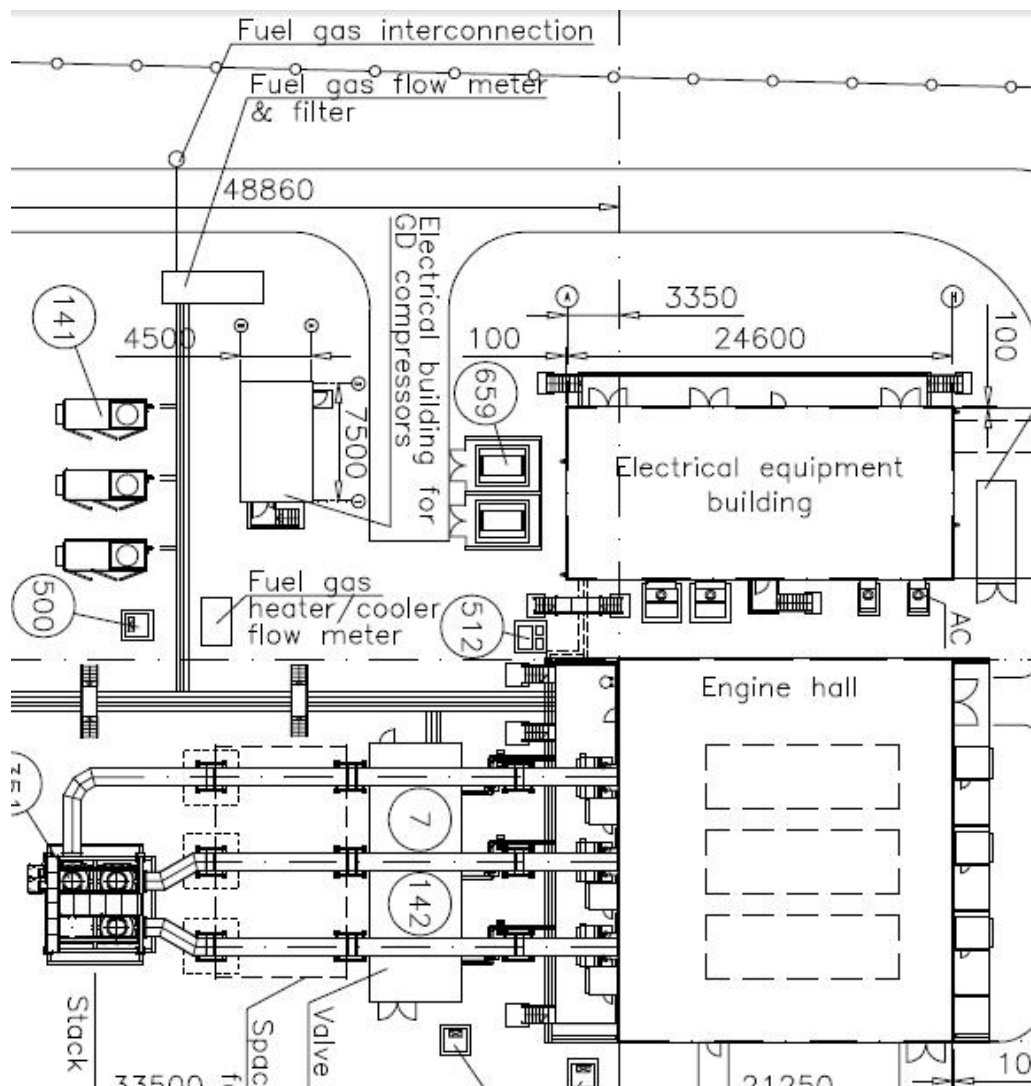
Opinnäytetyö antaa pohjan sekä suorakäyttö ja taajuusmuuttaja ratkaisulle. keskijännitesyötöstä kaasukompressorille asti. Komponentteja varten suoritettiin tarjouskyselyt tarvittavilta tahoilta, jotta saatiin vertailupohjaa yleisestä komponenttien hintatasosta. Keskijännitekeskus joka sisältää katkaisijan sekä tarvittavan suojauksen. keskijännitekeskus sijaitsee keskijännitehuoneessa, josta syötetään 11 kV/0,4 kV muuntajaa tai vaihtoehtoisesti 11 kV/0,69 kV muuntajaa.

Keskijännitekeskuksen ja muuntajan väli syötetään kaapelilla. Muuntajasta jatketaan kaapeleilla pienjännitekeskukseen. Pienjännitekeskus sisältää katkaisijat sekä syötöt taajuusmuuttajille tai suorille moottori lähdöille suojausineen.

Pienjännitekeskukselta lähdetään kaapeleilla turvakytkimelle, josta jatketaan kaapeleilla sähkömoottorille.

Sähkömoottori 400/690 V, 500 kW, /900 A, 50 Hz, ja $\cos 0,85$, Sähkömoottorin ja kompressorin välissä on kytkin.

Alla olevassa kuviossa on esitetty järjestelmän yleiskuvaus. Kuvion numeroinnissa 141 kuvaa kaasukompressorin kontteja. Konttien edessä oikealla sijaitsee kompressorien sähkö rakennus, jonne on sijoitettu muuntaja ja pienjännitekeskus. Laitoksen sähkötilassa sijaitsee keskijännitekojeisto, josta syötetään kompressorien sähkörakennukseen muuntajalle 11 kV. Sähkötilassa on valvomo, jossa sijaitsee kontrolli järjestelmä. Kontrolli järjestelmällä valvotaan ja ohjataan kaasukompressorin järjestelmää.



Kuvio 1. Järjestelmän yleiskuvaus

5.1 Keskiännitekatkaisijan valinta

Virtapiirin sulkemiseen ja avaamiseen käytetään keskiännitekatkaisijoita. Nämä kojeet toimivat esimerkiksi käsiohjauksessa, kauko-ohjauksessa sekä automaattisen suojauksen ollessa toiminnassa. Tavallisin automaattinen katkaisijatoiminta on avautuminen ylivirran vaikutuksesta. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi oikosulku- tai maasulkuvirta. Virtapiiriin kytketty suojarele

antaa katkaisijalle tällöin avautumiskäskyn. Sulkeutuminen voi tapahtua automaattisesti erityisen jälleenkytkentäreleen käynnistyksen avulla. /7/

Keskijännitekatkaisijan tarkoitus tässä projektissa oli jakaa teho kaasukompressoreille. Hyvän keskijännitekatkaisijan tarkoitus on muodostaa toimiva kokonaisuus tarvittavilla suojuuksilla. Keskijännitekatkaisijalta vaaditaan toimintavarmuutta, käyttöturvallisuutta, hyvää käytettävyyttä ja hyvää huolettavuutta. Projektiin valittiin tarpeen mukainen keskijännitekatkaisija, ABB unigear ZS1 11 kV. Valintaan vaikutti myös se, mitä Wärtsilä usein käyttää. Keskijännitehuoneen suunnittelun kannalta on tärkeää, että kaikki keskijännitekennot ovat samanlaisia.

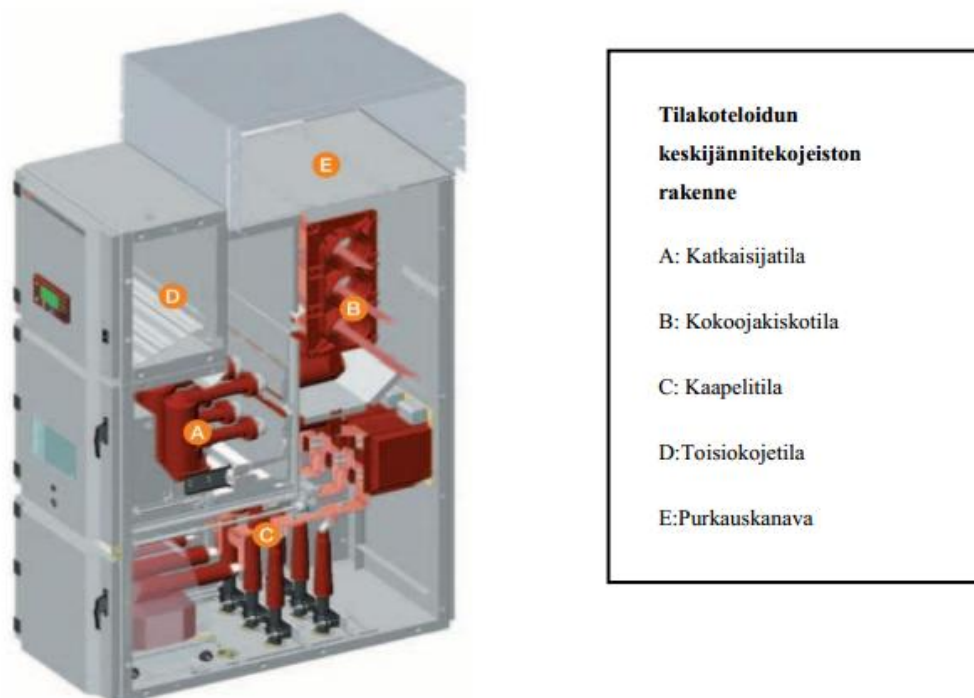
Wärtsilä tekee toimittajan kanssa toimintaperiaatesuunnitelman. Suunnitelmassa on mukana pääkaavion, maadoituskaavioiden ja suojauskaavioiden suunnittelu. Usein valitaan esiasennettavaksi suojarahit, jolloin kennon releet on aseteltu suojauskaavion suunnittelun mukaisesti.

Keskijännitekatkaisijan koon valinta perustui saatavan tehon arvoon. Keskijännitekatkaisijan valintaan vaikuttavat turvallisuusmääräykset ja standardit. Wärtsilä noudattaa yleistä IEC-standardia, tai projektin kohdemaan standardeja. Katkaisijoilta vaaditaan sähköturvallisuusmääräyksissä aina tiettyjä ominaisuuksia, pystyttävä sulkeutumaan vaurioitumatta ja katkaisemaan kuormitusvirran lisäksi myös oiko- ja maasulkuvirta. Sulkeutumiskyky on katkaisijalla oltava liikkeestä riippumaton./6/

5.1.1 ABB unigear ZS1

Unigear ZS1 jaotellaan ulkokuorensa vuoksi metallikuoriin keskijännitekatkaisijoihin. Unigear on ilmaeristeinen, tilakoteloitu ja sisältää ulosvedettävän kojeen. Unigear sisältää myös vaunukatkaisijan, jossa voi olla SF6-eristeisiä katkaisijoita ja tyhjiöeristeisiä katkaisijoita. Unigear ZS1 tilakoteloitu on jaoteltu omiin tiloihin missä katkaisija, kokoojakisko ja lähdöt

ovat erikseen. Alla olevassa kuviossa on esitetty keskijännitekatkaisijan rakenne. /11/



Kuvio 2. Unigear ZS1 keskijännitekatkaisijan rakenne /2/

5.2 Muuntaja

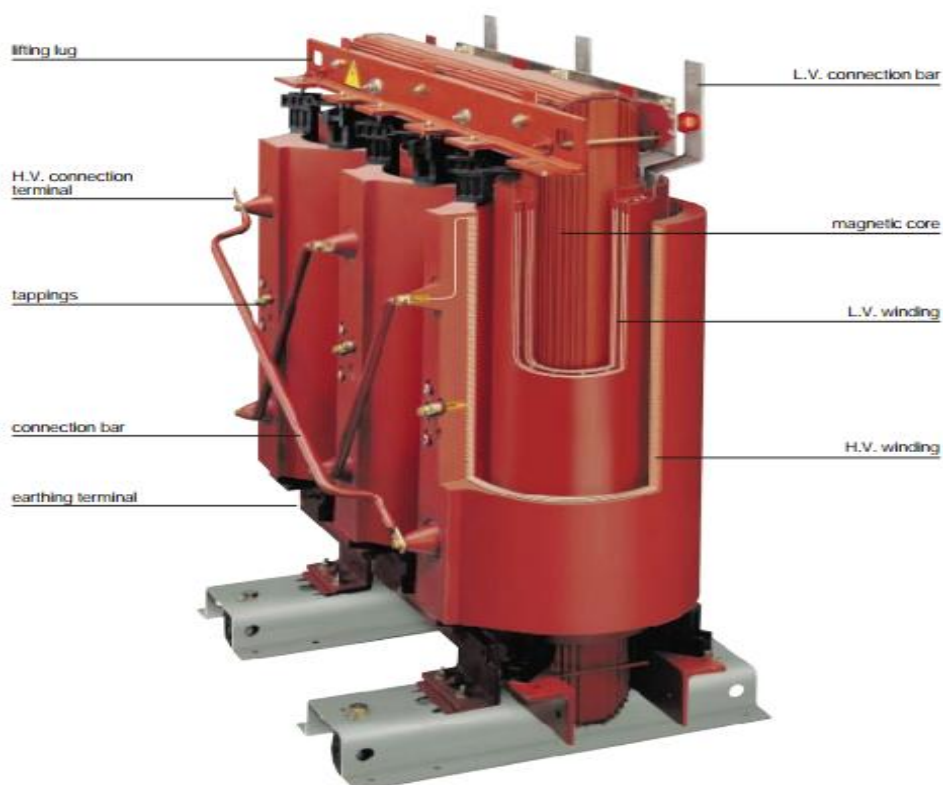
Vaihtojännitettä suurennetaan ja pienennetään muuntajilla. Muuntajien käyttö tulee edulliseksi, sillä muuntajat ovat hinnaltaan edullisia hankkia. Yksi syy muuntajien halpuuteen on se, että ne eivät vaadi jatkuvaa huoltoa. Tämä johtuu siitä, että muuntajan rakenne on varsin yksinkertainen, sillä siinä ei ole liikkuvia osia.

Muuntajia valmistetaan pienistä signaalimuuntajista aina suurvoimansiirron tehomuuntajiin saakka. Sähkölaitostekniikassa muuntajan tärkeimmät tehtävät ovat jännitteen muuntaminen jakelun ja voimansiirron kannalta edulliseen

arvoon sähköverkon eri osissa, eri jänniteportaiden galvaaninen erottaminen toisistaan sekä jakeluverkkojen oikosulkuvirran rajoittaminen./1/

5.2.1 Kuivamuuntaja

Kuivamuuntajassa rautasydän ja käämitykset ovat suoraan kosketuksissa ympäröivään ilmaan. Muuntajaa ympäröivä ilma lämpenee lämpöhäviöiden vaikutuksesta sekä lämpösäteilyn vaikutuksesta. Lämmin ilma kulkeutuu kevyesti ylöspäin synnyttäen muuntajan läheisyyteen ilmavirtauksen. Ilmavirtaus siirtää lämmön ympäristöön. Tätä ilmiötä voidaan kutsua luonnolliseksi ilmajäähdytykseksi. Jäähdytyskyky paranee, kun kiihdytetystä ilmajäähdytyksessä ilmavirtauksen nopeutta säädellään suuremmaksi puhaltimilla. Kuivamuuntajia pyritään hyödyntämään etenkin palo-, räjähdys-, ja saastumisvaarallisissa tilanteissa. /2/ Alla olevassa kuvioissa selvennetään kuivamuuntajan rakennetta.



Kuvio 3. Kuivamuuntajan rakenne

5.2.2 Muuntajan valinta ja mitoitus suorakäytölle

Muuntajaksi valittiin kuivamuuntaja, koska muuntajan sijoitetaan suunnitelmassa sisätiloihin. Muuntaja sijoitetaan pienjännitekeskuksen kanssa samaan rakennukseen, jolloin säästetään rakennuskustannuksissa. Muuntajan valintaan vaikuttavia tekijöitä oli hinta, fyysinen koko, verkon syöttämä jännite, ja mitoituslaskelmista saadut tulokset. Näiden kriteerien täytyä tutkittiin Wärtsilän alihankkijoiden tarjoamia vaihtoehtoja ja päädyttiin Trihal-merkkiseen muuntajaan, joita valmistaa ranskalainen yritys.

Muuntajan mitoittaminen aloitettiin tarkastelemalla kaasukompressorin sähkömoottorien ottamaa tehoa, huomioiden myös oheislaitteiden vaatiman tehon. Sähkömoottoreiden teho oli 500 kW yhtä sähkömoottoria kohden, tehokertoimena käytettiin 0.8. Kun tiedettiin sähkömoottorin teho ja jännite voitiin laskea kaavasta näennäisteho:

$$(1) P_{(kW)}=500 \text{ kW ja } PF=0.8$$

$$(2) S_{(kVA)} = P_{(kW)} / PF \Rightarrow 500 \text{ kW}/0.8=625 \text{ kVA}$$

Kun yhden sähkömoottorin näennäisteho teho oli selvitetty, pystyttiin laskemaan pahin mahdollinen tilanne. Kaksi sähkömoottoria käy ja kolmas käynnistyy. Yksi sähkömoottori ottaa suorassa käynnistyksessä hetkellisesti 1566 kVA. Kun kaksi moottoria on jo käynnissä, nimellisteho on 1250 kVA. Voidaan laskea:

$$(3) 2*625 \text{ kVA}= 1250 \text{ kVA} \Rightarrow 1250 \text{ kVA}+1566 \text{ kVA}=2816 \text{ kVA}$$

Tähän lisätään vielä kaikkien kaasukompressoreiden omankäytön ottamat tehot, jotka ovat 8,5 kVA yhtä kaasukompressoria kohden. Tästä voidaan laskea muuntajan kokonaistehon tarve:

$$(4) 3*8.5 \text{ kVA}=25,5 \text{ kVA} \Rightarrow 25,5 \text{ kVA}+2816 \text{ kVA}=2842 \text{ kVA}$$

Muuntajaa valittaessa Wärtsilässä mitoitetaan muuntaja 10 % lasketun tuloksen yli. Tässä tapauksessa muuntajaksi valittiin teholtaan 3500 kVA, koska se oli lähin mitoitusta vastaava muuntaja toimittajan listalla. Muuntajan mitoituksessa valitaan aina lähin koko luokka ylöspäin, ellei juuri sopivaa kokoa löydy.

Muuntajan tarkastelussa on myös tärkeitä huomioida muuntajassa syntyvä jännitteen alenema. Muuntajan kilpiarvoista saadaan kaikki tarvittava tieto, jotta voidaan laskea muuntajan jännitteen alenemaan. Valitun muuntajan kilpiarvot on esitelty alla olevassa ensimmäisessä taulukossa. Muuntaja on laskettu nimelliskuormalla, eikä varsinaisella kuormalla. Kuormitus tilanteet esitetään kappaleessa 7, jossa on simuloitu kuormitus tilannetta.

Taulukko 1. Muuntajan kilpiarvot

11000/400 V	Nimellisjännitteet
$S_n=3500$ kVA	Nimellisteho
$P_0=5$ kW	Tyhjäkäyntihäviöt
$P_k=20$ kW	Kuormitushäviöt
$Z_k=6/8$ %	Oikosulkuimpedanssi

Tämän taulukon tietojen pohjalta saatiin laskettua muuntajan käämin suhteellinen oikosulkuresistanssi alla olevalla kaavalla.

$$(5) R_k=100 \cdot P_k/S_n \Rightarrow 100 \cdot (20 \text{ kW}/3500 \text{ kVA})=0.57 \%$$

Suhteellinen oikosulkureaktanssi saatiin laskettua, kun tiedettiin oikosulkuimpedanssi muuntajan kilpiarvoista. Yllä esitettyssä laskussa on esitetty oikosulkuresistanssin vastaus, jota tarvittiin seuraavassa kaavassa.

$$(6) x_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2} \Rightarrow \sqrt{8^2\% - 0.57^2\%} = 7,97 \%$$

Muuntajan suhteellinen resistanssi laskettuna tosiossa, kun tiedettiin R_k .

$$(7) R_k = r_k \cdot U^2 / S_n \Rightarrow 0.57 \% / 100 \cdot 400V^2 V / 3500 \text{ kVA} = 0,00026 \Omega$$

Muuntajan suhteellinen reaktanssi toisiossa laskettuna:

$$(8) X_k = x_k \cdot U^2 / S_n \Rightarrow 7,97 \% / 100 \cdot 400V^2 V / 3500 \text{ kVA} = 0,0036 \Omega$$

Seuraavaksi laskettiin muuntajan tosion kuormitusvirta.

$$(9) I = S / \sqrt{3} \cdot U \Rightarrow 3500 \text{ kVA} / \sqrt{3} \cdot 400 \text{ kV} = 5051 \text{ A}$$

Tarvittavien laskelmien jälkeen voidaan laskea muuntajan tosion likimääräinen jännitteen alenema.

$$(10) U_a = IR_k \cdot \cos(25,4\text{deg}) + IX_k \cdot \sin(25,8\text{deg}) \Rightarrow \\ 5051 \text{ A} \cdot 0,00026 \Omega \cdot \cos(25,4\text{deg}) + 5051 \text{ A} \cdot 0,0036 \Omega \cdot \sin(25,8\text{deg}) = 9,1 \text{ V}$$

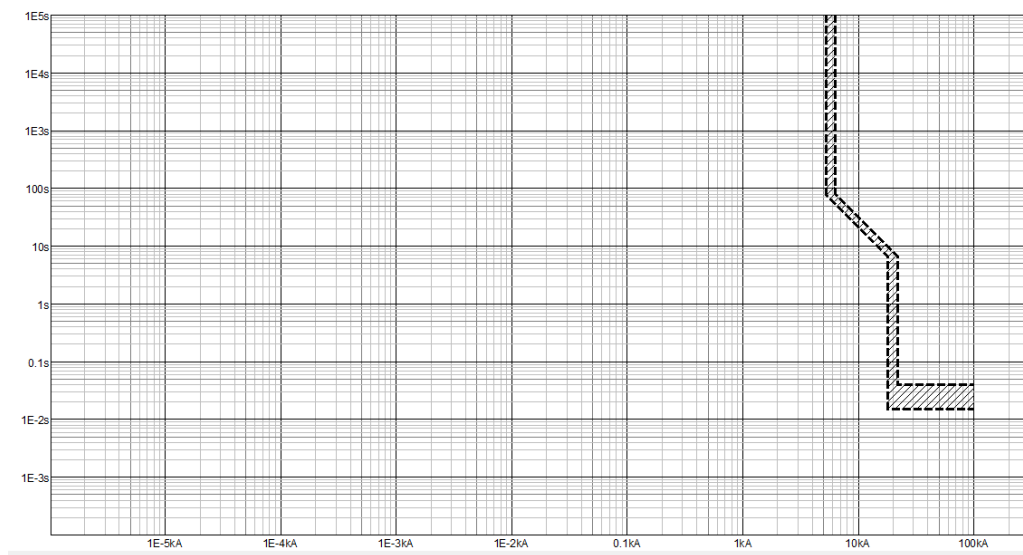
Jännitteen alenemasta laskettiin prosentuaalinen alenema, joka oli 3,95 prosenttia ilman kuormaa.

Muuntajan jännitteitä laskettaessa jännitteiden itseisarvojen erotus eli muuntajassa muodostuva jännitteen alenema on yksi tärkeimmistä huomioitavista asioista. Muuntajan jännitteen aleneman tarkastelussa on huomioitava myös kokonaisuus, johon tässä tapauksessa kuuluu muuntajan lisäksi keskijännitekatkaisijan kaapelointi muuntajalle ja muuntajalta kaapelointi pienjännitekeskukselle. Asiaa käsitellään tarkemmin seuraavassa kappaleessa, sekä kaapeloinnin valinnoissa.

5.3 Pienjännitekeskuksen suunnittelu

Pienjännitekeskukseen suunnittelu lähti liikkeelle yhteisellä tapaamisella alihankkijan kanssa, jossa suunniteltiin pienjännitekeskuksen toteuttaminen. Alihankkija esitteli heidän standardi pienjännitekeskuksia, ja kertoi mitä tietoja

he tarvitsisivat jotta voisivat suunnitella pienjännitekeskuksen. Tämän aloituskokouksen pohjalta alettiin tutkia ja suunnittelemaan, mitä tarvittaisiin Wärtsilän puolelta. Pienjännitekeskuksen mitoitus lähtee tässä tapauksessa liikkeelle muuntajan valinnalla, muuntajan nimellisteho oli 3500 kVA ja tällöin muuntajan virraksi saadaan 5000 ampeeria. Muuntajan perusteella valittiin pääkatkaisija. Pienjännitekeskuksen pääkatkaisijaksi tuli ABB:n Emax EH6 5000A. Kuviosta 4 katsottiin että laukaisukäyrä perussäädöillä kestää 10 kA 20 sekuntia. Tästä pääteltiin että se tulee olemaan riittävä.



Kuvio 4. Pienjännitekeskuksen pääkatkaisijan laukaisukäyrä

Muuntajan oikosulkuimpedanssi on 8 %, jolloin voidaan pitää pienjännitekeskuksen oikosulukestoisuus 80 kA:ssa 1 sekunnin ajan. Tällöin pystymme käyttämään standardiratkaisuja, esimerkiksi maadoituskytkimen suhteen. Aina kun pystytään käyttämään standardiratkaisuja, kustannukset eivät kasva liian korkeiksi.

Tämän jälkeen tehtiin alihankkijalle taulukko (ks. taulukko 5), jossa kerrottiin mitä oheislaitteita ja johtolähtöjä tarvitaan pienjännitekeskukseen. Taulukossa 5 kerrottiin myös oheislaitteiden lyhenteet, toiminta ja keskuksen piirtämistä varten käytettävät Wärtsilän sisäiset lyhenteet. Taulukossa alihankkijalle selviää

mitä sulakkeita pitäisi sijoittaa pienjännitekeskukseen ja samalla saadaan laskettua laitteistojen ottama teho. Taulukko toimitetaan aina kun suunnitellaan projekteihin erilaisia kokonaisuuksia. Taulukkoon on tässä tapauksessa laitettu vain kaikki tiedossa olevat tarpeet. Taulukkoa voidaan päivittää tai tarkentaa aina käytössä olevan kohdemaan tai asiakkaan tarpeiden mukaisesti.



CONSUMER LIST

VOLTAGE 400 V

FREQUENCY 50 Hz

Bus Nr	Plant Code	Description	Fuse / Base I/A	Power P / kW	Current I/A	Device P / kW			Feeder type		Notes
						Run	Stby	BSU	Phase	Type	
Fuel gas compressor, LV-house											
1	BFA 902	LV-switchgear	160 / 250	1530	2700	1500	0	0	3	FF	
	ZBA 901 M001	Fuel gas compressor, motor		500	900	500			3	DOL	
	ZBA 901 B001	Fuel gas compressor, auxiliary	63	8,5					3	FF	
	ZBA 901 B002	Fuel gas compressor, control panel	16	1,5					1+N	MCB	
	ZBA 902 M001	Fuel gas compressor, motor		500	900	500			3	DOL	
	ZBA 902 B001	Fuel gas compressor, auxiliary	63	8,5					3	FF	
	ZBA 902 B002	Fuel gas compressor, control panel	16	1,5					1+N	MCB	
	ZBA 903 M001	Fuel gas compressor, motor		500	900	500			3	DOL	
	ZBA 903 B001	Fuel gas compressor, auxiliary	63	8,5					3	FF	
	ZBA 903 B002	Fuel gas compressor, control panel	16	1,5					1+N	MCB	
1	BLQ 911	VENTILATION AND AIR CONDITIONING	32 /	9	17	9	9	0	3	MCB	
	EAA 011 M001	Outlet Ventilation Fan Motor		9	17	9	9	0	3	MCB	
1	BLJ 902	Lighting / outlet panel	25 /	7,8		7,8	7,8		3	FF	230VAC
1	BLL 901 E001	Workshop panel	63 /		40				3	FF	
1	BEY 902 E001	DC Charger 24VDC	10 /	1,5		1,5	1,5	1,5	1	MCB	230VAC
1	CFA 902	COMMON CONTROL PANEL	10 /	1		1	1	1	1	MCB	230VAC
1	BLN 903	FIRE DETECTION PANEL	10 /	0,4		0,4	0,4	0,4	1	MCB	230VAC
1	BLN 904	GAS DETECTION PANEL	10 /	0,4		0,4	0,4	0,4	1	MCB	230VAC
1		SPARE	32 /						3	MCB	
1		SPARE	16 /						3	MCB	
1		3*SPARE	10 /						1+N	MCB	

Special characters, explanation:

DOL = Direct On Line (Contactor + MPS)

FR = Forward/Reverse

YD = Star / Delta motor start

Total

P/W	VA	P/W	P/W	P/W
1550,2	2757,0	1520,2	20,2	3,4

Kuvio 5. Esimerkki taulukon laatimisesta

Taulukon laatimisen jälkeen, oli mahdollista suunnitella keskuksen rakenne ja määrittellä komponenttien sijainti pienjännitekeskuksessa. Vasemmalta ja edestäpäin katsottuna ensimmäisessä kennossa vasemmalle puolelle ja keskelle ykköskennoa sijoitettiin pääkatkaisija. Pääkatkaisija sijoitettiin vasemmalle puolelle, koska se on lähempänä muuntajahuonetta, josta tulee pienjännitekeskuksen syöttö. Syöttö tuodaan alakautta sisään, koska rakennus on valmiiksi suunniteltu niin että kaapelointi tuodaan alakautta. Asennuksen kannalta on parempi että kaapelointi suoritetaan yhtenäisesti lattian alapuolella, koska moottori lähdöt vievät myös alakautta. Ensimmäisen kennon yläpuolelle varattiin paikka mittareille, esimerkiksi teholaskentaa varten.

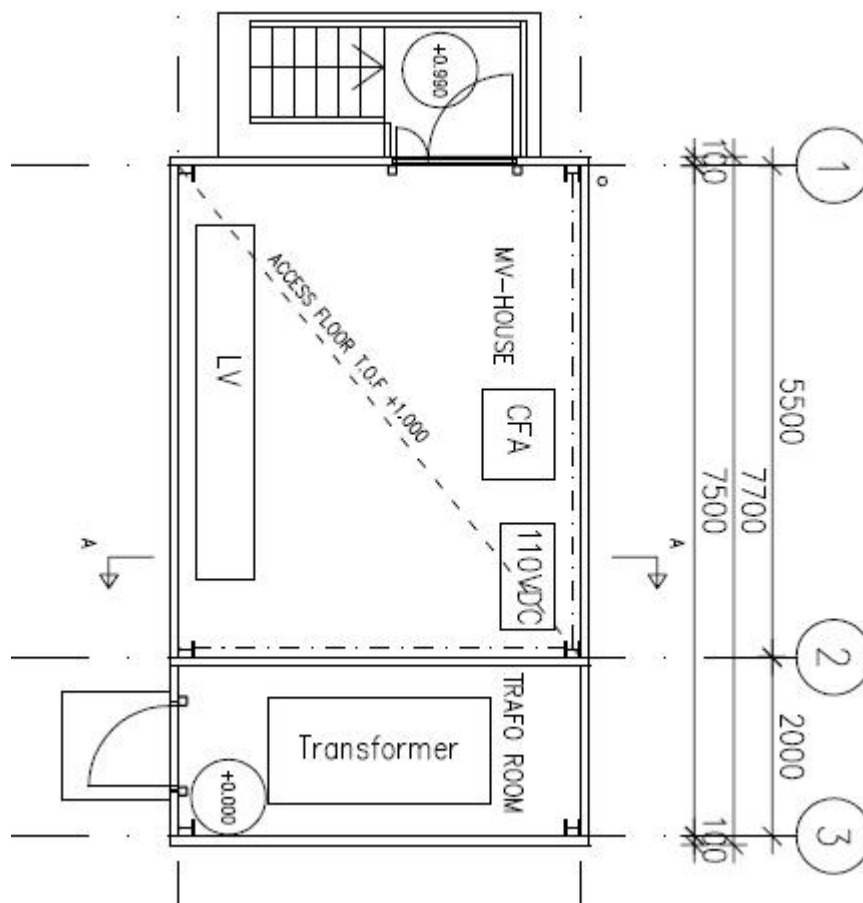
Toiseen kennoon on sijoitettu pienjännitekeskuksessa tarvittavat lähdöt. Tähän kennoon on myös sijoitettu varalähtöjä. Kolmas, neljäs ja viides kenno ovat täysin identtisiä toisiinsa nähden. Kennon yläosaan on sijoitettu kaasukompressorikontin lähdöt, josta konttikohtaisesti syötetään kompressorin oheislaitteita. Keskikennossa sijaitsee ilmakatkaisin, joka suojaa alapuolella olevaa moottorilähtöä. Moottorilähtöjen kennot sisälsivät myös maadoituserottimen. Alla olevassa kuvioista 6 ja 7 on nähtävissä kennojen sijoittelu. Kuviossa 10 on esitetty pienjännitekeskus ja muuntaja mittakaavassa valitussa rakennuksessa.

	01	02	
	INCOMER METERING	FRONT FUSE FOR MCBs 100/125A	
		MCBs 3-Pole BL0011 BL002 2xSFARE 1-Pole ZBA901B002 ZBA902B002 ZBA903B002 BEY002E001 CFAB02 BLN003 BLN004 JCSFARE	
	MAIN BREAKER 01	ZBA901B001	
		63A	
		ZBA902B001	
	5000A	63A	
	CABLE CONNECTIONS	ZBA903B001	
		63A	
		BL1001E001	
		63A	

Kuvio 6. Pääkatkaisijan kenno ja syötönlähdöt toisessa kennossa

03	04	05	
AUX. DEVICES	AUX. DEVICES	AUX. DEVICES	
EARTHING SWITCH			
DOL - 500kW ZBA901M001	DOL - 500kW ZBA902M001	DOL - 500kW ZBA903M001	
CABLE CONNECTIONS	CABLE CONNECTIONS	CABLE CONNECTIONS	

Kuvio 7. Moottorilähdöt ja oheislaitteiden lähdöt



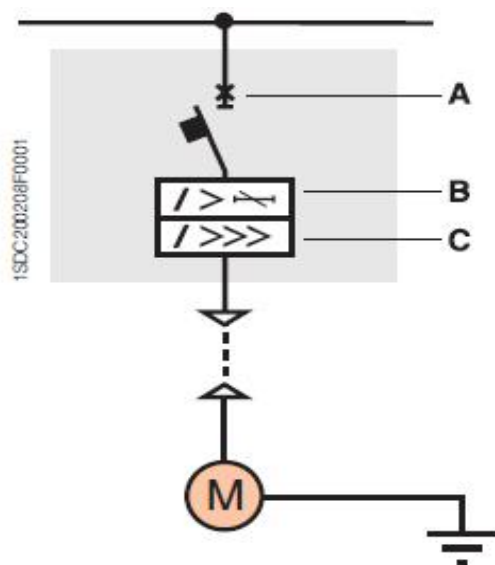
Kuvio 8. Muuntaja ja pienjännitekeskus mittakaavassa.

5.4 Kaasukompressoreiden sähkömoottorien suojaus ilmakatkaisijoilla

Pienjännitekeskukseen suoraikäytölle valittiin ilmakatkaisijat suojaamaan kaasukompressorin sähkömoottoreita. Ilmakatkaisijat valittiin projektiin niiden hyvän soveltuvuuden vuoksi. Ilmakatkaisija katkaisee kolmivaiheisesti kaikissa vikatilanteissa. Vian sattuessa, valmius kiinnitykentään on mahdollista heti vikatilanteen jälkeen. Kun projektissa on käytössä ilmakatkaisija, sulakkeiden määrää saadaan pienennettyä. Tällöin sulakkeenvaihdosta johtuvat vaaratilanteet voidaan minimoida. Katkaisijan hyviä puolia on se, että sen käytöstä ei synny vaaratilanteita kiinniohjauksissa eikä aukiohjauksissa. Myös epätavallisten kuormitustilanteiden hoitaminen on turvallisempaa. Katkaisijan

tehohäviö on pienempi kuin sulakkeessa. Tiedonsiirto voimalaitoksen valvomoon saadaan hoidettua apukoskettimien avulla. Nimellisvirta-alue ja katkaisukyky ovat riittävän hyviä tälle projektille./4/

Kaasukompressorin sähkömoottoreiden suojaukseen valittiin ilmakatkaisijat moottorikohtaisesti, ilmakatkaisijan malli on ABB SACE Emax E3H. Valittu ilmakatkasija noudattaa IEC-standardia. Valittu ilmakatkaisija on suunniteltu toimimaan sähkömoottoreille, jolloin siinä on kaikki tärkeimmät ominaisuudet katkaisukyky, ylikuormitussuoja ja oikosulkusuoja. Suojaus on selektiivinen. Alla olevassa kuvio 9:ssä on esitetty moottorin suojauksen toiminta ilmakatkaisijalla.



- A** = Circuit-breaker
- B** = Overload protection (inverse long time-delay trip)
- C** = Short-circuit protection (instantaneous)
- M** = Asynchronous motor

Kuvio 9. Moottorin suojaus ilmakatkasijalla

5.5 Kaapeleiden mitoitus projektiin

Kaapeleiden mitoitukseen liittyy useita standardeja, mitkä huomioidaan kaapeleita valitessa. Asennusolosuhteet tulee huomioida kaapeleita valittaessa. Tässä projektissa etäisyydet eivät muodostu ongelmaksi, koska etäisyydet ovat lyhyitä jolloin kaapelien jännitehäviöt ovat vähäisiä. Projektissa mitoitetaan kaapelit keskijännitekatkaisijalta muuntajalle ja muuntajalta pienjännitekeskuksen kautta kaasukompressorin sähkömoottorille.

Kaapelit valitaan ja sijoitetaan siten, ettei kaapeleiden suurin sallittu lämpötila ylity erilaisissa käyttötilanteissa. Tällaisia käyttötilanteita ovat johdineristykset, laitteiden liitetyissä liitokset, normaalikäyttö, asiakkaan kesken sovitut käyttöolosuhteet ja oikosulku. /8/

Kaapelien liittäminen tässä tapauksessa moottoriin tai katkaisijaan, ei saa aiheuttaa ennakoitavia korkeampia lämpötiloja käyttöolosuhteissa. On huomioitava mekaaniset rasitukset, jotka syntyvät kaapeliin lämpötilojen muutoksista. Tämä seikka on erityisen tärkeä kun valitaan kaapeleiden liitoksia ja päätteitä. Taipuviin kaapeleihin ei syntyä puristusta eikä kiristystä. Kaapelivaipat suojataan, ettei niihin kohdistu kiertymistä. Kaapelivaipat tehdään siten, etteivät pääse purkautumaan. /8/

5.5.1 Kaapelin valinta keskijännitekatkaisijan ja muuntajan välille

Kaapeleita valittaessa tutkittiin, mitä asennustapaa projektissa tulisi käyttää. Päätettiin sijoittaa kaapelit maahan, jolloin maahan sijoitettavat kaapelit on suojattava tarvittaessa suojaputkilla ja kaivettava riittävän syväälle. Suositeltava asennus syvyys on vähintään 0,7 metriä. Wärtsilä sijoittaa yleensä kaapelit syvemmälle, jotta välttyttäisiin kaapeli vaurioilta. Usein rakennus vaiheessa työmaalla liikkuu raskasta kalustoa, jolloin maanpainumista tapahtuu usein. Keskijännitekaapeleilla $U_m < 52$ kilovoltia suositellaan käytettäväksi metallivaipattoman pienjännitekaapelin suojaukseen liittyviä standardeja.

Suurempijännitteisten kaapeleiden mekaaninen suojaus tulee harkita erikseen. Terävät kivet, jotka voivat vahingoittaa kaapelia, tulee poistaa kaapeliojasta, mikäli kaapeli sijoitetaan maahan. /8/

Kaapeli mitoitetiin sähköisen mitoituksen mukaan. Keskijännitekatkaisija on 11 kilovoltia ja toision jännite on 400 voltia ja virta on 5000 ampeeria. Laskettiin alla olevan kaavan mukaan:

$$(11) \quad \frac{U_{n2}}{U_{n1}} * I = \frac{400V}{11000V} * 5000A = 182A$$

Tulokseksi saatiin 182 ampeeria. Valittiin asennustapa D eli yksi tai monijohdinkaapeli maassa. Projektissa asennetaan jokainen maahan menevä kaapeli erilliseen suojaputkeen. Sitten valittiin taulukosta lähin laskettua virtaa vastaava arvo ylöspäin, joka oli 190 ampeeria. Seuraavaksi edettiin valitsemalla kaapelin poikkipinta-ala, joka on tässä tapauksessa 50 mm². Taulukosta 2 voidaan selvittää kaapelin koko asennustavan vaikutuksesta virtaan.

Taulukko 2 SFS 6000-standardin kuormittavuudet virtoina eri asennustavoille /7/.

Taulukko A.52-3 (52-C2) Kuormittavuudet ampeereina asennustavoille A, B, C ja D. PEX- tai EPR-eristeiset kupari- tai alumiini-johtimet, kolme kuormitettua johdinta, Johtimen lämpötila: ilmassa 90 °C, maassa 65 °C. Ympäristön lämpötila: 25 °C ilmassa, 15 °C maassa

Nimellinen johtimen poikkipinta mm ²	Taulukon A.52-1 mukainen referenssiasennustapa			
	A	B	C	D
1	2	3	4	5
Kupari				
1,5	17	20	23	26
2,5	23	27	31	35
4	31	36	42	46
6	39	45	52	57
10	53	62	71	77
16	70	83	100	100
25	92	109	124	130
35	113	133	153	160
50	135	160	186	190
70	170	202	238	240
95	205	242	289	285
120	236	278	335	325
150	269	–	386	370
185	306	–	441	420
240	360	–	520	480
300	411	–	599	550
Alumiini				
16	57	66	79	78
25	73	87	94	100
35	90	107	116	125
50	108	129	141	150
70	136	162	181	185
95	163	195	219	220
120	187	224	255	255
150	214	–	294	280
185	242	–	336	330
240	283	–	397	375
300	325	–	458	430

Tämän jälkeen laskettiin kaapeleiden yhteispituus metreissä. Jokaisessa kaapelissa oli yksi vaihe, jolloin laskettiin kolme kaapelia kertaa yksi johdin. Tämä tulos kerrottiin kolme kertaa/metrimäärä. Etäisyys oli 150 metriä, tällöin pituudeksi tuli 450 metriä.

5.5.2 Muuntajan ja pienjännitekeskuksen välinen kaapelointi

Muuntajalta kaapelointi pienjännitekeskukselle toteutetaan valitun rakennuksen korotetun lattian alta. Kaapeloinnin voisi myös viedä yläteitse pienjännitekeskelle, jolloin kaapelin metrimäärä vähenisi ja kaapelille tulisi vähemmän taivutuksia. Kolmas vaihtoehto olisi kiskon käyttäminen, joka asennettaisiin myös yläteitse pienjännitekeskukseen. Kiskon käyttöä pitää harkita projektikohtaisesti, sillä kuparikiskon asentaminen ei onnistu joka

projektissa, koska asentaminen ja varaosien saanti voi olla hankalaa joissain maissa.






Muuntajan kaapeleiden valinnassa mitoitus tehtiin muuntajan toisioin virran perusteella joka oli 5000 ampeeria. Järkevän kokoinen kaapeli asennuksen ja tilan kannalta on poikkipinnaltaan 300 mm². Tässä tapauksessa kaapeleita tarvittiin useampia, jotta saavutetaan tarvittava virrankestoisuus. Kaapeli katsottiin taulukosta ensin poikkipinnan mukaan ja laskettiin asennustavan mukaan. Asennustavaksi valittiin F jossa kaapelit koskettavat vapaasti ilmassa toisiaan. Taulukossa 3 on eritelty kaapelien mahdolliset asennustavat. Virraksi taulukosta saatiin 765 ampeeria. Virran perusteella laskettiin, montako kaapelia tarvittaisiin jos yhden kaapelin virta olisi 765 ampeeria.

$$(12) \quad \frac{I}{l_{kaapeli}} = \frac{5000A}{765A} 6,53$$

Kaapeleita näin ollen tarvittaisiin 7 kappaletta. Asennuksen voisi toteuttaa myös suuremmalla kaapelin poikkipinta-alalla jolloin kaapelien määrän tarve tippuisi. Tässä tapauksessa asennusteknisistä syistä ei kannata suurentaa kaapelikokoa. Kaapelien pituudeksi valittiin muuntajan pienjännitekeskuksen välille 15 metriä. Kokonaismääräksi muodostuu laskemalla 15 metriä kerrottuna kolmella vaiheella ja kaapeleita jokaista vaihetta kohden tulee seitsemän kaapelia. Saadaan laskemalla kaapelin määräksi 315 metriä.

Taulukko 3 SFS 6000-asennustapojen kuormittavuudet /7/.

Taulukko A.52-6 (52-C5) Taulukon A.52-1 mukaisten asennustapojen E, F ja G kuormitettavuudet ampeereina. PEX- tai EPF-eristeiset kuparijohtimet. Johtimen lämpötila: 90 °C. Ympäristön lämpötila: 25 °C

Johtimen nimellinen poikkipinta mm ²	Taulukon A.52-1 mukainen referenssiasennustapa				
	Monijohdinkaapeli		Yksijohdinkaapeli		
	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta kolmiossa	Kolme kuormitettua johdinta tasossa		
			Koskettaen	Enilään	
			Vaakatasossa	Pystyasossa	
					
	E	F	F	G	G
1	2	3	4	5	6
1,5	24	–	–	–	–
2,5	33	–	–	–	–
4	44	–	–	–	–
6	56	–	–	–	–
10	78	–	–	–	–
16	104	–	–	–	–
25	132	140	147	189	167
35	164	176	183	235	209
50	200	215	225	286	256
70	256	279	290	367	331
95	310	341	356	447	405
120	370	398	416	520	472
150	415	462	483	600	548
185	474	530	554	687	629
240	560	631	659	812	747
300	646	731	765	938	866
400	–	856	902	1128	1048
500	–	984	1038	1303	1216
630	–	1132	1197	1512	1416

5.5.3 Pienjännitekeskuksen ja kaasukompressorin sähkömoottorin välinen kaapelointi

Pienjännitekeskuksen ja kaasukompressorin sähkömoottorin välinen kaapelointi toteutetaan kaapelihyllyillä. Kaapelit lähtevät rakennuksen pienjännitekeskuksen lattian alta hyllyillä ja kulkevat hyllyjä pitkin kaasukompressorien konteille. Konteilla kaapelit jakaantuvat hyllyjä pitkin konttikohtaisesti. Konttien välinen etäisyys on 7 metriä toisiinsa nähden ja konttien leveys on 3 metriä. Kontteja on kolme, kaapeleiden pituuden tarpeeksi saatiin 50 metriä yhtä kaapelia kohde.

Kaapelit mitoitettiin kaasukompressorin sähkömoottorin nimellisvirran mukaan, joka on 900 ampeeria. Katsottiin SFS 6000 standardista (katso taulukko 3) asennustavan G mukaan, joka tarkoittaa että kaapelit ovat vapaasti

ilmassa erillään toisista kaapeleista. Taulukosta katsottiin 900 ampeeriin kohdalta sopiva kaapeli. Kaapeliksi valittiin poikkipinnaltaan 300 mm^2 , jolloin voidaan käyttää samaa kaapelia kuin muuntajasta pienjännitekeskukselle. Näin säästetään kustannuksissa, saadaan samaan kaapelikelaan kahden työvaiheen kaapelit ja kaapelien hinta metriä kohden on halvempi. Kun kaasukompressorin sähkömoottoreita on kolme, jossa jokaisessa on kolme vaihetta, saadaan moottoreille yhdeksän kaapelia. Sen jälkeen voidaan laskea yhdeksän metriä kertaa valittu kaapeli viisikymmentä metriä. Tulokseksi saatiin laskemalla 450 metriä.

6 RAKENNUKSEN VALINTA PIENJÄNNITEKESKUKSELLE JA MUUNTAJALLE

Rakennuksen valintaan vaikuttavia tekijöitä oli kustannustehokkuus, pienjännitekeskuksen mitat, muuntajan mitat, ja kaapeloinnin asennusmahdollisuudet. Rakennus ei myöskään voi olla liian suuri, koska projektit sijaitsevat useimmiten lämpimissä paikoissa jolloin turhan tilan jäädyttäminen ei ole järkevää.

Rakennuksen valintaan vaikuttavat standardit, jotka määrittelevät rakennukseen aseteltavat sähkökojeet. Wärtsilä noudattaa Suomen SFS-standardeja, ja tarvittaessa projektin kohdemaan paikallisia standardeja.

6.1 Standardin mukaisia vaatimuksia rakennukselle

Rakennukset on tehtävä paloturvallisiksi Suomen paloturvallisuusmääräysten mukaisesti palamattomista rakennuselementeistä, pintamateriaalien on oltava vaikeasti syttyvää ja paloa levittämätöntä materiaalia. Veden pääsy sähkötiloihin on estettävä ja kosteuden kertyminen minimoitava. Seinät, katot ja pohjakerrokset on rakennettava siten että rakennuksen materiaalit eivät vaurioidu vesivuodon vaikutuksesta./8/

On huomioitava myös mekaaniset rasitukset ja mahdolliset valokaariviat. Asennuksissa välttämättömiä putkia ja muita välineitä suunniteltaessa on huomioitava, etteivät ne vaurioita sähkölaitteita. Palotilojen osastoinnissa on huomioitava kaapelien läpivientien tiivistäminen, ettei rakenne oleellisesti heikennä osastoimista paloturvallisuuden kannalta./8/

Kojeistohuoneissa kojeistotyyppi ja oikosulkuvirta määrittävät paineenpurkausakkojen ja vaadittavan tilan mitoituksen. Ilmanvaihdossa huomioitavaa on laitteiden sijoittelu, niin että tarkastukset ja huollot voidaan suorittaa kojeiston ollessa käytössä./8/

6.2 Suojaus rakennuksen sisäpuolella

Sähkötilojen sisäpuolella suojaus on mahdollista koteloinnilla tai jännitteisten osien sijoittamisella kosketusetäisyyden ulkopuolelle. Suojausta käyttäessä kotelolla kotelointi luokan pitää olla vähintään IP2X tai muu mahdollinen. Tilan luonne ratkaisee tarvittavan vesisuojaus (kotelointiluokkatunnuksen toinen numero). Ulkotiloissa koteloinnin tulee olla vähintään IP 23. Erityisiä suojaustoimenpiteitä voidaan myös tarvita valokaarivikojen aiheuttaminen vaaratilanteiden takia./8/

Toiminta-alueet ja käytävät on mitoitettava oikean kokoisiksi töiden suorittamisille, käytölle ja huollolle. Leveys käytävällä on oltava vähintään 0,8 metriä leveä. Kulkukäytävä ei saa olla kapeampi silloinkaan kun asennettu laite työntyy ulos käytävälle, esimerkiksi erotus asennossa olevat katkaisijavaunut. Kulkuteiden leveyden on kuitenkin vähintään oltava 0,5 metriä, myös silloin kun ulostyöntyvät osat tai ovet ovat auki. Suositellaan kojeiston kennojen ovien sulkeutuvan pois päin kulkutien suuntaisesti. Koteloitujen asennuksien takapuolella olevien rakentamiseen tai huoltamiseen tarkoitettujen käytävien leveydeksi riittää 0,5 metriä./8/

Lukuun ottamatta kaapelien sisään vientejä, vähimmäiskorkeus on 2 metriä koskien suojien, koteloiden ja sisäkattojen alapuolta. Kulkureittien tulee järjestyä siten, että reitin pituus on alle 40 metriä suurimman käyttöjännitteen ollessa 52 kilovolttia ja 20 metrin käyttöjännitteen arvon ollessa maksimissaan 52 kilovolttia. Käsiksi päästäviin kaapeli-, ja kiskotiloihin tätä vaatimusta ei sovelleta./8/

Yksi ovi riittää kulkureitiksi ulos ja ympäröiviin tiloihin, jos hoitokäytävän pituus on alle 10 metriä. Jos pituus taas ylittää tämän rajan, ovi tai muun poistumismahdollisuus on oltava molemmissa päissä. Ulko-ovien tulee olla materiaaliltaan vaikeasti syttyviä ja paloa levittämättömiä paitsi, jos rakennusta ympäröi 2 metriä korkea, ulkopuolinen aita. /8/

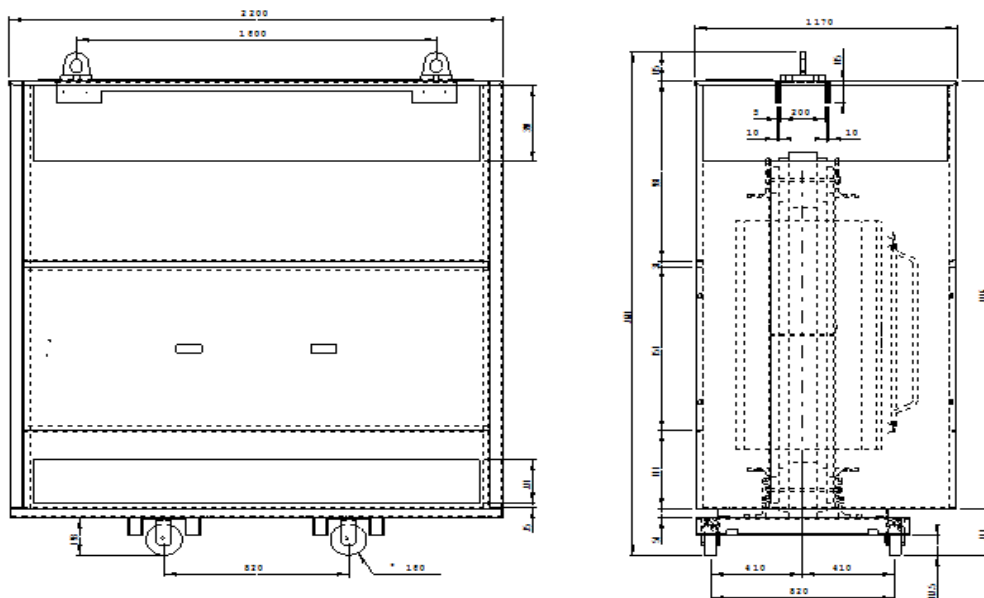
6.3 Muuntajan sijoitus rakennukseen

Muuntajan sijoituksessa rakennuksessa huomioidaan aikaisemmin esitetyt standardit. Rakennukseen oli varattu erillinen tila muuntajaa varten. Muuntajan sijoittaminen rakennukseen helpottaa rakennuspuolen töitä, sillä näin säästytään ylimääräisiltä perustustöiltä. Muuntaja on IP-luokaltaan 00, jolloin muuntaja täytyy koteloida sille varattuun huoneeseen. Koteloinnilla saadaan IP-luokaksi IP21. Kotelointi oli valmiiksi suunniteltu valitulle muuntajalle. Kotelointi nostaa muuntajan hintaa. Rakennuksen muuntajahuoneeseen kuljetaan erillisestä ulko-ovesta, joten muuntaja sijoitetaan siten että kaapelointi on helppo järjestää pienjännitekeskukselle joka sijaitsee muuntaja huoneen seinän takana. Muuntaja sijoitetaan siten, että asennus ja huoltaminen on helppoa. Mitoiltaan muuntaja mahtuu hyvin sille varattuun tilaan, sillä rakennus on mitoitettu niin että tulevaisuudessa ylimääräistä tilaa voidaan hyödyntää laajennuksissa.

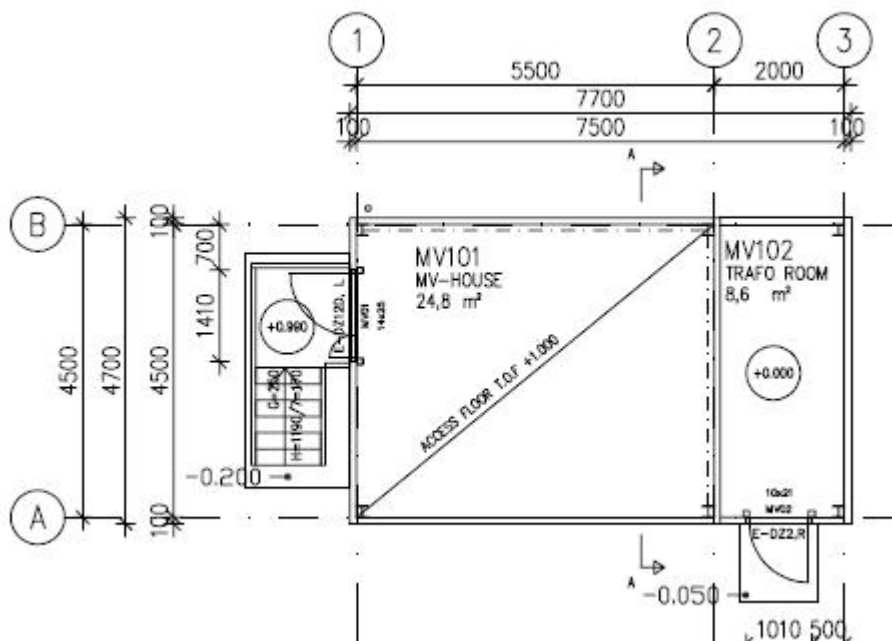
Muuntajan kaapelointi tuodaan rakennuksen lattian läpi, suoraan muuntajalle. Toisio puolelta lähtee syöttö pienjännitekojeistolle myös lattian alta. Kuvioista 10 ja 11 sekä taulukosta 4 nähdään muuntajan koteloinnin mitat ja muuntaja huoneen mitat.

Taulukko 4. Muuntajan mitat

Pituus	2500 mm
Leveys	1200 mm
Korkeus	2600 mm
paino IP22	5600 kg



Kuvio 10. Muuntajan koteloinnin mitat



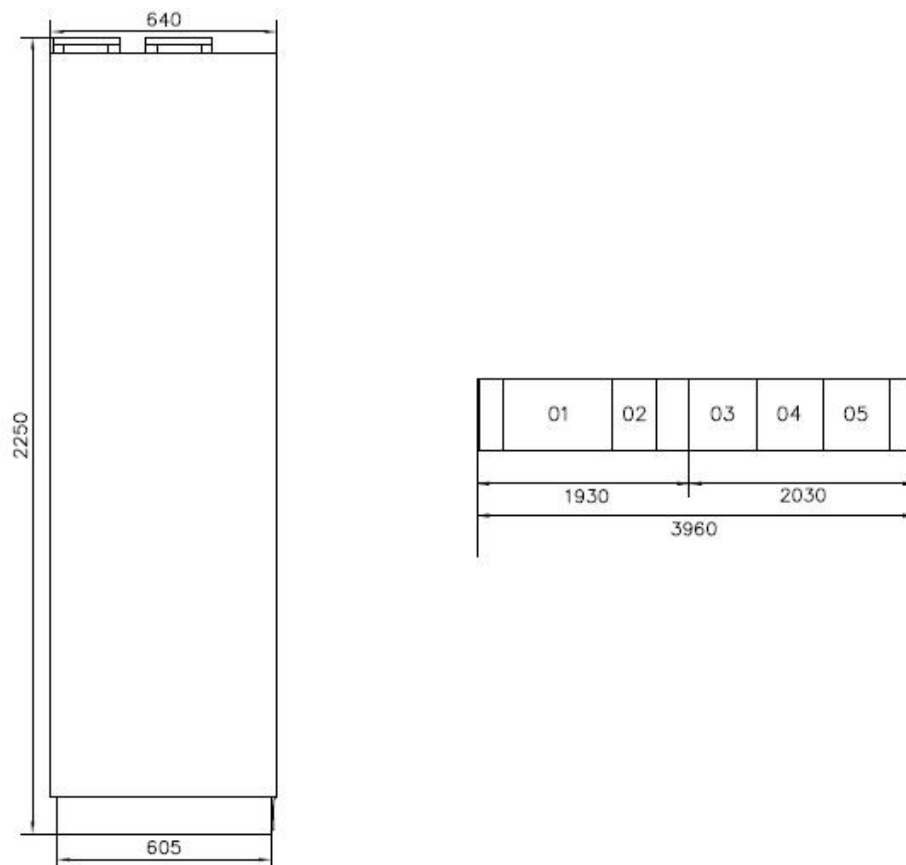
Kuvio 11. Muuntajahuoneen ja pienjännitekeskushuoneen mitat

Kuviosta 11 voitiin päätellä rakennuksen pinta-ala suureksi, $36,2 \text{ m}^2$. Tilavuudeksi saatiin 177 m^3 . Tilavuudesta pääteltiin jäähdytystarve suureksi.

Päätettiin käyttää rakennusta, sillä laajennusmahdollisuus on hyvä olla olemassa tämän kaltaisissa projekteissa.

6.4 Pienjännitekeskuksen sijoitus rakennukseen

Pienjännitekeskuksen sijoittamisessa rakennukseen tulee huomioida kuinka muuntajan kaapelointi tuodaan rakennukseen. Tässä tapauksessa kaapelit tuodaan lattian alapuolelta, jolloin kaapelointi tulee pienjännitekeskukseen lattian alapuolelta. Pienjännitekeskusta edestä katsottuna kaapelit tuodaan sisään vasemmalta puolelta. Jolloin kaapelien pituudeksi jää noin 15 metriä. Suunnitelmassa jätettiin muuntaja huoneen seinään väliä 0,5 metriä, jolloin kulkua ja huoltoa varten jää tilaa keskuksen molempiin päihin. Pienjännitekeskuksen takapuolelle jätettiin myös 1 metri asennus ja huoltotilaa. Pienjännitekeskuksen lattiaa nostettiin suunnitelmassa 0,4 metriä, jolloin asennus tilaa pienjännitekeskuksen alle jää enemmän. Alla olevassa kuvio 12:ssa on havainnoitu pienjännitekeskuksen mittoja.



Kuvio 12. Pienjännitekeskuksen mitat

7 SIMULOINTI

Tutkittiin kokonaisuutena valittujen komponenttien käyttäytymistä suorakäytöllä. Suorakäytöllä tärkeimpinä tekijöinä tutkittiin jännite alenemaa, vertailtiin muuntajaa eri impedansseilla ja tutkittiin oikosulkuvirtaa valitun pienjännitekeskuksen kannalta. Muuntaja oli mitoitettu 10 prosenttia yli mitoituksen ja lähin koko ylöspäin oli 3,5 MVA. Simulointi osoitti että muuntajaksi riittäisi myös 3,15 MVA:n muuntaja. Myös oikosulkuvirrat pienjännitekeskukselle jäivät alle 80 kA. Pienjännitekeskuksen oikosulkuvirran on pysyttävä alle 80 kA, jolloin pienjännitekeskus voidaan toteuttaa standardi komponenteilla ja kustannukset pysyvät järkevinä. Impedanssia muuttamalla muuntajassa pienemmäksi saadaan jännite alenemaa pienemmäksi. Muuntaja toimittajalta on valittavissa impedanssiksi joko 8 prosenttia tai 6 prosenttia. Kuudella prosentilla saadaan jännitteen alenema kaasukompressoreiden käynnistyksessä pienemmäksi, toisaalta oikosulkuvirrat kasvavat. 8 prosentilla jännitteen alenema on suurempi, mutta oikosulkuvirrat pienemmät. Ensin vertailtiin 3,5 MVA:an muuntajaa eri impedansseilla ja kaasukompressoreiden erilaisissa käynnistystilanteissa.

Vertailussa käytettiin Neplan simulointiohjelmaa, johon rakennettiin projektin voimalaitosta vastaava tilanne. Aseteltiin tarvittavat parametrit kaikille komponenteille, ja luotiin simulaatioon omakäyttö joka simuloi voimalaitoksen muuta tehonkulutusta. Laskettiin simulaation kahden generaattorin antama teho, josta laskettiin 33 prosenttia syötettäväksi tehoksi. Sillä kaasukompressorit käynnistetään aina vähintään 30 prosentin kuormalla. Koska diesel moottoreita ei voida siirtää ajamaan kaasulla pienemmällä kuormalla, polttoaineen vaihto tapahtuu aina kuormalla dieseliltä kaasulle. Kuviossa 14 on esitelty vastaava rakennettu simulaatio. Tarkastelussa ei voitu huomioida generaattorien magnetointisäädön vaikutuksia, koska tarkkaa mallinnusta ei ollut. Magnetointisäädön vaikutukset saattavat vaikuttaa hiukan jännitteen alenemaan. Moottorien asetelut simuloinnissa olivat suuntaa antavia, jotka

olivat lähellä todellisia arvoja, koska todelliset arvot määräytyvät tarkemmin projektikohtaisessa suunnittelussa. Kuviossa 13 on esitetty moottorin parametrit, joita käytettiin simuloinnissa.

Parameters

Name: M2

Type: []

No of motors: 1 Input Ir

Units: MW; kgm2
 HP; lbf2
 kW; kgm2

Ur .. kV: 0,4 r/min: 1455

Ir .. A: 893,7 Rated slip sr ... %: 3

Sr .. kVA: 619 Cosphi at Sr and sr: 0,85

Pr mech .. kW: 500 Efficiency at Sr and sr: 0,95

la / Ir: 6 Pole pairs of stator: 2

Ma / Mr: 3 ANSI factor: 3 Calculate

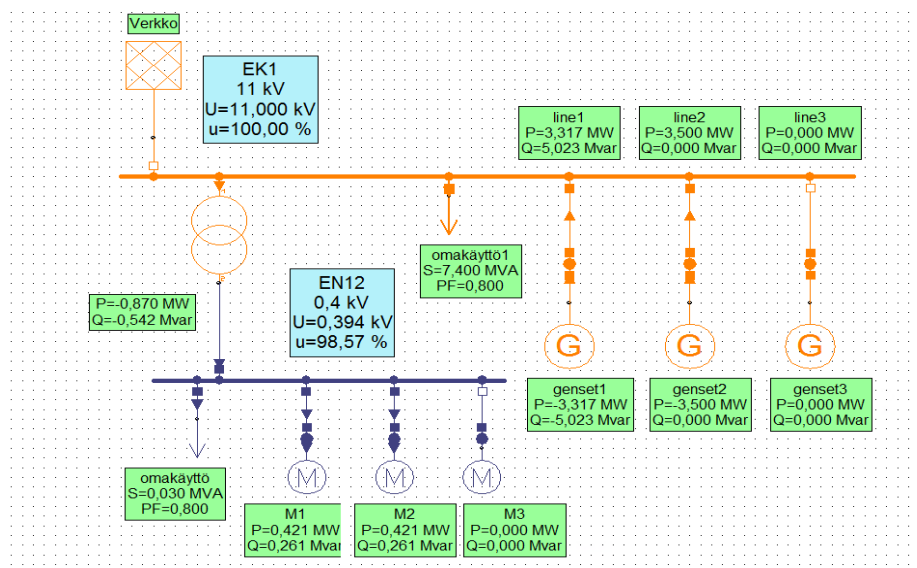
Mk / Mr: 3 Rm ... Ohm: 0,03844! Rs/Rr: 1

Cosphi start: 0,3 X/R: 0,5

Ext. R rotor .. Ohm: 0 Converter fed drive Reversible

Double fed ASM

Kuvio 13. Moottorin parametrit simuloinnissa.



Kuvio 14. Rakennettu simulaatiokuva.

Ensimmäisessä simulaatiossa kaksi generaattoria käy, omakäyttö on tehosta 33 prosenttia ja yksi kompressori käynnistyy. Taulukossa 5a on esitelty ensimmäisen simulaation tuloksia. Tarkasteltiin jännitteen alenemia laskettiin prosentuaaliset jännitteen alenemat. Jännitteen palautumisaika moottorin käynnistytyn jälkeen on noin 5 sekuntia, jolloin jännite palautuu normaalille tasolle.

Taulukko 5a. Jännitteen aleneman vertailu

	impedanssi 6 %	impedanssi 8 %
jännite startissa	360,738	354,297
Jännitteen alenema startissa %	9,8	11,4
jännite startin jälkeen	397	396
jännite % startin jälkeen	99,15	99,01

Toisessa simulaatiossa kaksi generaattoria syöttää verkkoon. Yksi kompressori käy ja toinen käynnistyy. Tämä on yleisin tilanne, koska usein kolmas kompressori on varalla, omakäyttö tehosta on 30 prosenttia. Toisen simulaation tulokset on esitelty taulukossa 5b.

Taulukko 5b. Jännitteen aleneman vertailu.

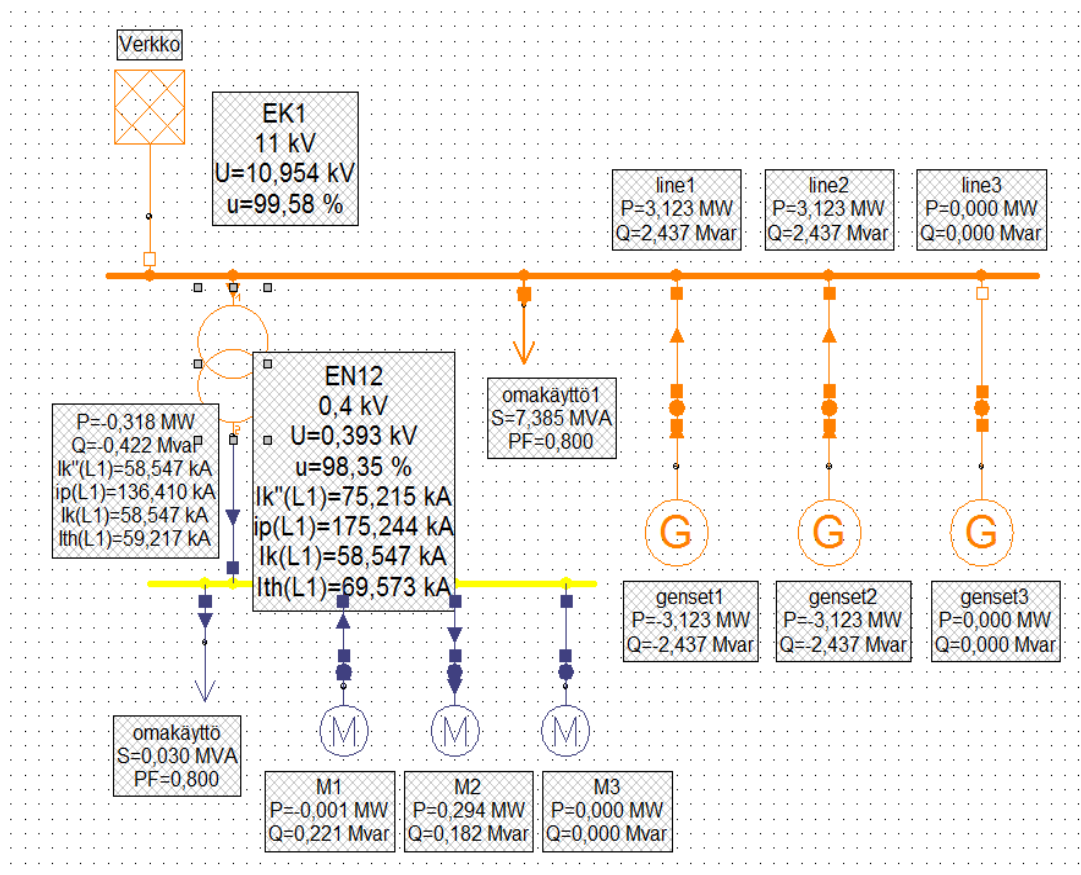
	Impedanssi 6 %	impedanssi 8 %
Jännite startissa	358,631	351,573
Jännitteen alenema startissa %	10,34	12,1
jännite startin jälkeen	395	394
jännite % startin jälkeen	98,68	98,4

Kolmas simulaatio on pahin mahdollinen, kaksi moottoria käy ja kolmas käynnistyy. Kaksi generaattoria syöttää tehoa ja omakäyttö on 33 prosenttia. Tässä tapauksessa myös oikosulkuvirrat on huomioitu muuntajan molemmilla impedansseilla, koska tässä tapauksessa virran kulutus on isoin. Kolmannen simulaation tuloksia esitellään alla olevassa taulukossa 5c.

Taulukko 5c. Jännitteen aleneman vertailu.

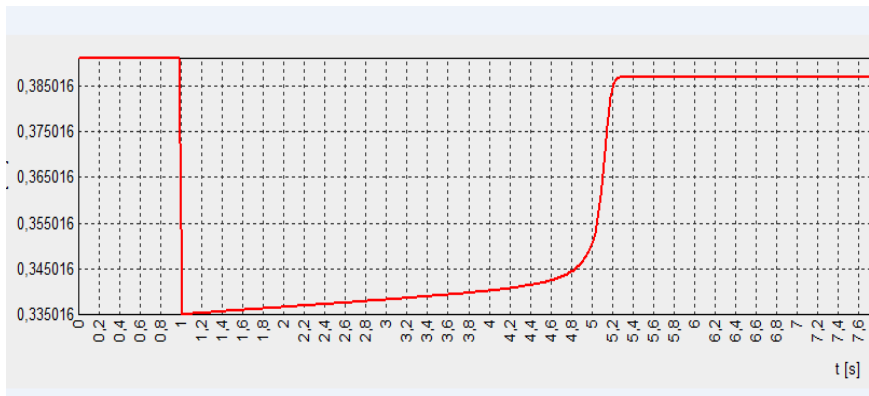
	impedanssi 6 %	impedanssi 8 %
Oikosulkuvirrat	79,4	62,64
jännite startissa	356,474	348,763
Jännitteen alenema startissa %	10,88	12,8
jännite startin jälkeen	393	391
jännite % startin jälkeen	98,2	97,78

Kerätyn informaation ja laskelmien jälkeen analysointiin tuloksia. Tärkeimpänä tutkittiin pahinta mahdollista tilannetta, kaksi moottoria käy ja kolmas käynnistyy. Jännitteen alenema pysyy paremmin sallituissa rajoissa 6 prosentin impedanssilla verrattuna 8 prosentin impedanssiin. Mutta vastaavasti oikosulkuvirrat 6 prosentilla menevät lähelle sallittua rajaa, kun taas 8 prosentin impedanssilla oikosulkuvirrat pysyvät huomattavasti matalammalla. Teoriassa oikosulkuvirrat pysyvät pahimmassa tapauksessa sallitun 80 kA:n alla, jonka mukaan pienjännitekeskus on mitoitettu. Teoriassa tai simuloinnissa ei pystytä huomioimaan kaikkia olosuhteita, mutta suojauksella voidaan tarvittaessa asetella turvalliset rajat. Simuloinnin jälkeisten tulosten perusteella päätettiin vielä tarkastella ylimitoitettun ja lähimmän lasketun muuntajan oikosulkuvirtojen eroja. Lähin muuntaja ilman 10 prosentin ylimitoitusta oli 3,15 MVA. Simuloitiin molemmilla valittavissa olevilla impedansseilla muuntajat ja tarkasteltiin oikosulkuvirtoja.

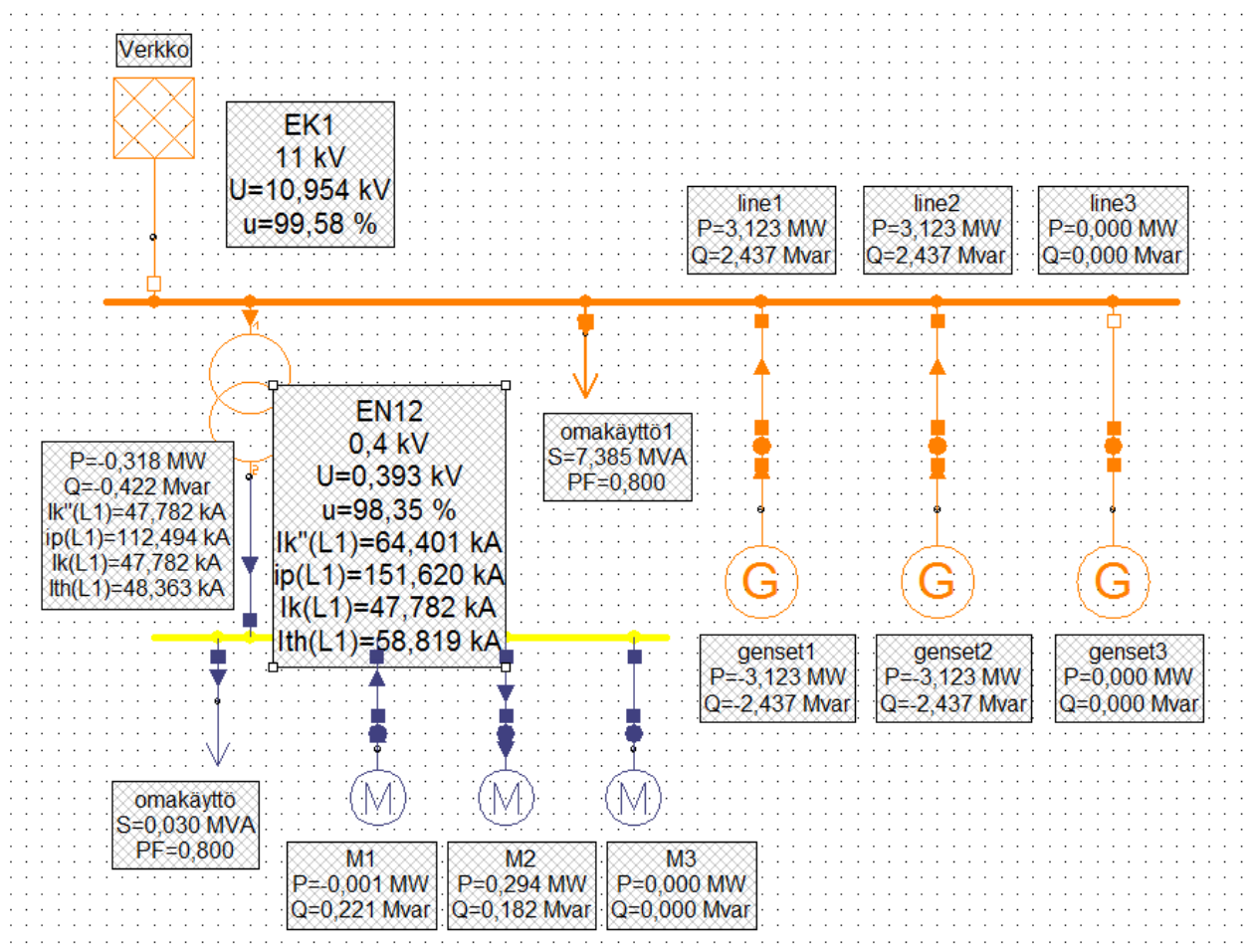


Kuvio 15. Oikosulkuvirrat, impedanssi 6 %, muuntaja 3,15 MVA.

Yllä olevassa kuviossa 15 on esitetty simulointi oikosulkuvirroista pienemmällä muuntajalla. Pienemmällä muuntajalla 6 prosentin impedanssilla oikosulkuvirrat jäävät teoriassa pienemmiksi kuin 3,5 MVA:an muuntajalla (katso kuva kahdeksan $I_k''=75,215$ kA, vertaa viidennen taulukon oikosulkuvirtoihin). Jännitteen alenemissa ei ollut merkittävää eroa verrattuna isompaan muuntajaan. Kuviossa 16 on esitetty jännitteen alenema ajanfunktiona moottorien käynnistyksessä. Jännitteen palautuminen käynnistyksen jälkeen kestää noin 5 sekuntia normaalille tasolle.



Kuvio 16. Jännitteen alenema pienjännite kiskossa



Kuvio 17. Oikosulkuvirrat impedanssilla 8 %, muuntaja 3,15MVA.

Pienemmän muuntajan oikosulkuvirrat 8 prosentilla ovat lähes samat kuin 3,5 MVA:an muuntajalla (katso kuvion yhdeksän $I_{k''}=64,401$ ja vertaa taulukon

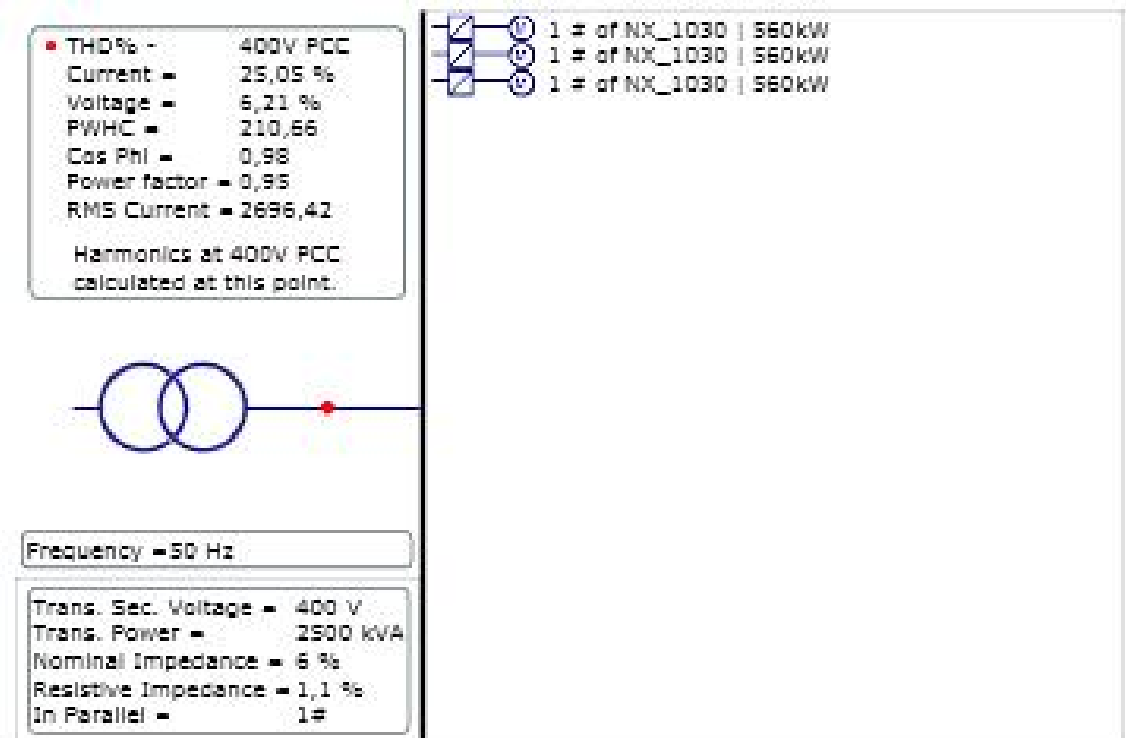
viisi oikosulkuvirtoihin). Jännitteen alenemassa ei tapahdu merkittäviä muutoksia isompaan muuntajaan verrattuna. Kuviossa 17 on esitetty simulointi eri impedanssilla.

Tästä voidaan päätellä, että pienemmällä muuntajallakin selvittäisiin, jolloin kustannuksissa säästetään. Pienjännitekeskuksen kokoluokka ei kuitenkaan muutu pienemmäksi, laskelmien jälkeen virraksi saatiin alla olevalla kaavalla 4546 ampeeria. Pienjännitekeskus on mitoitettu 5000 ampeerille.

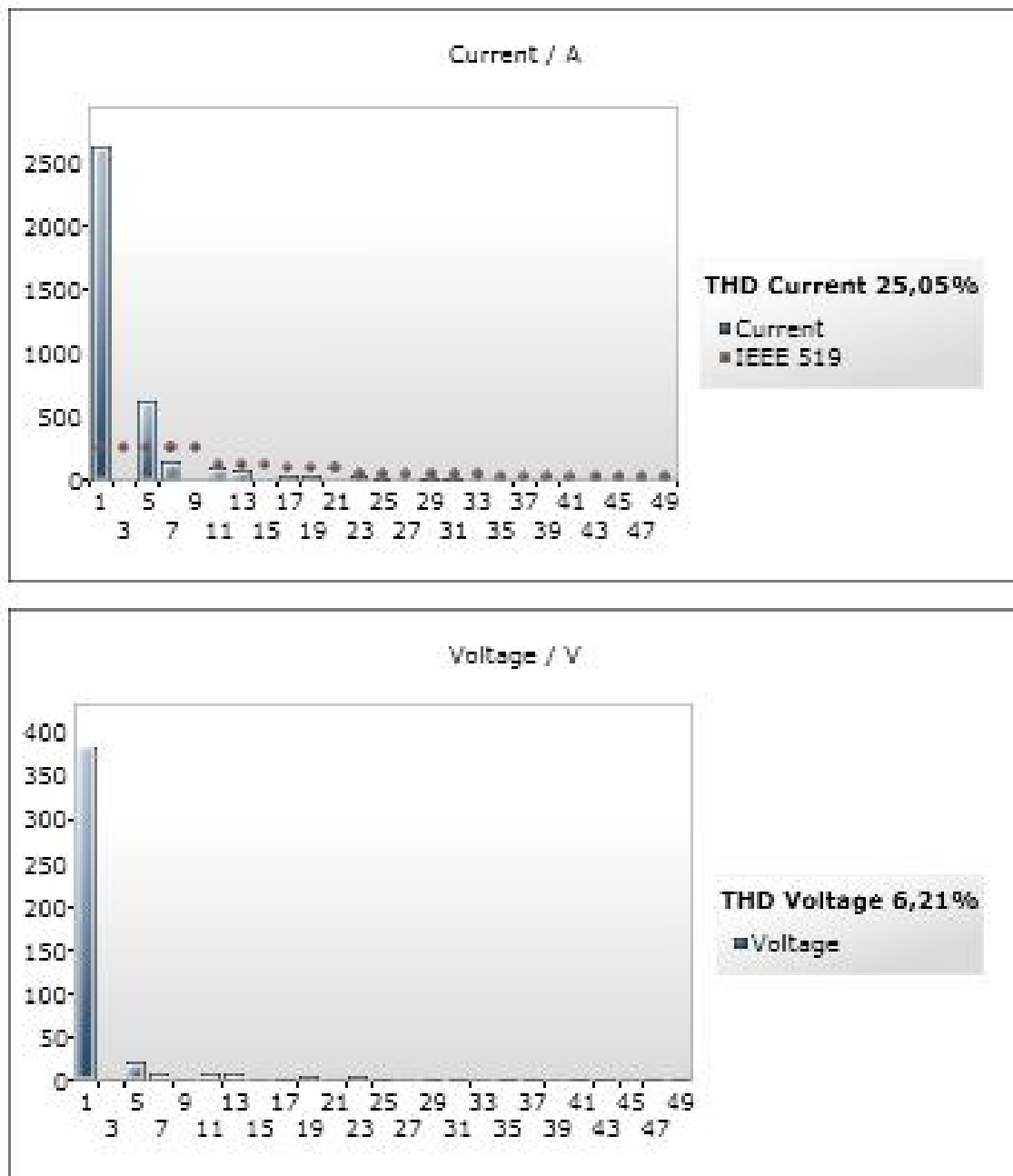
$$(13) I_{(A)} = 1000 \times S_{(kVA)} / (\sqrt{3} \times V_{L-L(V)})$$

7.1 Yliaaltojen käyttäytyminen muuntajalla taajuusmuuttajakäytössä

Taajuusmuuttaja käytössä tarkasteltiin simuloimalla yliaaltojen merkitystä valitulle muuntajalle. Kuvioista 18 voidaan nähdä harmonisten yliaaltojen simuloinnin yhteenveto ja lähtötiedot. Kuvion tietoja on käytetty muuntajan tarkasteluun taajuusmuuttajakäytöllä. Kuvioista 19 ja 20 nähdään simuloinnin tarkat tulokset.



Kuvio 18. Harmonisten yliaaltojen simulointi



Kuvio 19. Simuloinnin tulos graafisessa muodossa.

Harmonic	Frequency	Current / A	Phase / Degrees	Voltage / V
1	50	2615,6	12,0	382,6
3	150	0,1	45,8	0,0
5	250	627,3	114,6	20,9
7	350	140,7	126,7	6,5
9	450	0,4	124,9	0,0
11	550	93,7	142,7	6,9
13	650	72,1	138,0	6,2
15	750	0,5	131,7	0,1
17	850	24,2	94,0	2,7
19	950	23,8	53,1	3,0
21	1050	0,4	40,1	0,1
23	1150	20,1	32,2	3,1
25	1250	13,0	12,3	2,2
27	1350	0,3	7,1	0,1
29	1450	11,3	49,5	2,2
31	1550	10,9	64,2	2,2
33	1650	0,5	75,3	0,1
35	1750	6,5	101,6	1,5
37	1850	6,0	135,6	1,5
39	1950	0,4	158,9	0,1
41	2050	5,8	168,6	1,6
43	2150	4,8	171,9	1,4
45	2250	0,4	147,0	0,1
47	2350	3,8	119,5	1,2
49	2450	4,0	97,2	1,3

THD% = 400V PCC
 Current = 25,05 %
 Voltage = 6,21 %
 PWHC = 210,66
 Cos Phi = 0,98
 Power factor = 0,95
 RMS Current = 2696,42
 Harmonics at 400V PCC calculated at this point.

Kuvio 20. Simuloinnin tulos tarkoilla arvoilla

Simulointi suoritettiin Vaconin Harmonics 4.0 simulointi ohjelmalla jota käytetään yliaaltokartoituksessa. Simuloinnin tulokset annetaan sähkösuunnittelijan käyttöön, jolloin yliaallot voidaan huomioida muuntajan valinnassa ja mitoituksessa. Valitun taajuusmuuttajan simuloinnin tuloksista voidaan arvioida muuntajan näkemää yliaaltopitoisuutta. Yliaallot vaikuttavat

muuntajan kuormitushäviöihin. Simuloidut arvot olivat tyypillisiä 6-pulssi taajuusmuuttajalle olevia arvoja. Viides ja seitsemäs yliaalto näkyy suurimpana, kuten teoriassa tuleekin olla. Kuviossa 18 on yksiviivaesitys kytkennöistä sekä tarkastelun yhteenveto tulokset. Virran arvoksi tuli 25,05 %. Kuviossa 19 on graafisessa muodossa yliaallot ja niiden esiintyminen eri kerrannaisilla. Grafiikasta tulee hyvin esille kuinka suuret kerrannaiset vaimenevat tai eivät esiinny merkittävästi. Kuviossa 20 on tarkempi numeerinen raportti kaikista yliaalloista aina 49 yliaaltoon asti. Simuloinnin perusteella muuntajan koko oli sopiva taajuusmuuttajakäytössä, koska virran arvoksi tuli 25,5 %. Ei ole olemassa mitään standardia, mutta saatu arvo on suhteellisen matala, sillä tämän kokoluokan käytössä arvo saattaa olla jopa 40 %, Lopputulos ei vaikuta muuntajan kokoon millään tavoin. Tarkemmin asiaa tutkittiin toisessa opinnäytetyössä, jossa tutkittiin taajuusmuuttajakäyttöä.

8 VERTAILU

Vertailtiin taajuusmuuttajan ja suorankäytön eroja, sisältäen kustannusten ja teknisten komponenttien vertailua. Keskijännitekatkaisija pysyy samana molemmissa tapauksissa ja kaapelointi pysyy vakiona keskijännitekatkaisijan ja pienjännitekeskuksen välillä. Kaapelin kokoa ei yleensä pienennetä, sillä projektissa on kustannustehokkaampaa käyttää mahdollisemman paljon samaa kaapelia. On kalliimpaa vaihtaa kaapeli lyhyelle matkalle, kuin käyttää vähän ylimitoitettua kaapelia. Vertailtiin muuntajia suorankäytöllä ja taajuusmuuttajakäytöllä, pienjännitekeskuksen ja kaasukompressorien välistä kaapelointia, tarpeita suorakäytölle taajuusmuuttajakäytöllä. Lisäksi tutkittiin pienjännitekeskuksen eroja ja vertailtiin suojausja.

8.1 Muuntajan valinta suorakäytöllä ja taajuusmuuttajalla

Muuntajan vaihtoehdot suorakäytölle ovat 3,5 MVA tai 3,15 MVA. Niillä ei ole juuri hintaeroa. Taajuusmuuttajalle valittiin 2,5 MVA:n muuntaja jolloin kustannuksista säästetään muuntajan kohdalla enemmän kuin suorakäytöllä. Muuntaja on taajuusmuuttajakäytössä pienempi, koska taajuusmuuttaja rajoittaa virtaa käynnistyksessä. Molemmissa tapauksissa käytetään Wärtsilän käyttämiä muuntajia, koska Wärtsilä on neuvotellut alihankkijan kanssa kilpailukykyiset hinnat. Taajuusmuuttajan muuntajalla pienemmästä koosta huolimatta ei säästetä tilaa sillä kotelointi pysyy samana molemmissa kokoluokissa. Suorakäytöllä ei tarvitse huomioida muuntajan kohdalla harmonisia yliaaltoja. Taajuusmuuttajan muuntajalle ei ole huomioitu tässä valinnassa taajuusmuuttajan harmonisia yliaaltoja. Yliaaltojen vaikutuksista valitulle muuntajalle täytyy keskustella muuntajan valmistajan kanssa, jos päädytään valitsemaan taajuusmuuttajakäyttö. Muuntajan ensiöpuolella kaapelit pysyvät samoina käytöstä riippumatta. Myös kaapelikustannukset ensiöpuolella pysyvät samoina. Suorakäytön ja taajuusmuuttajakäytön jännitteen alenemaa tarkasteltiin lähemmin kappaleessa 7.

8.2 Pienjännitekeskusten vertailu

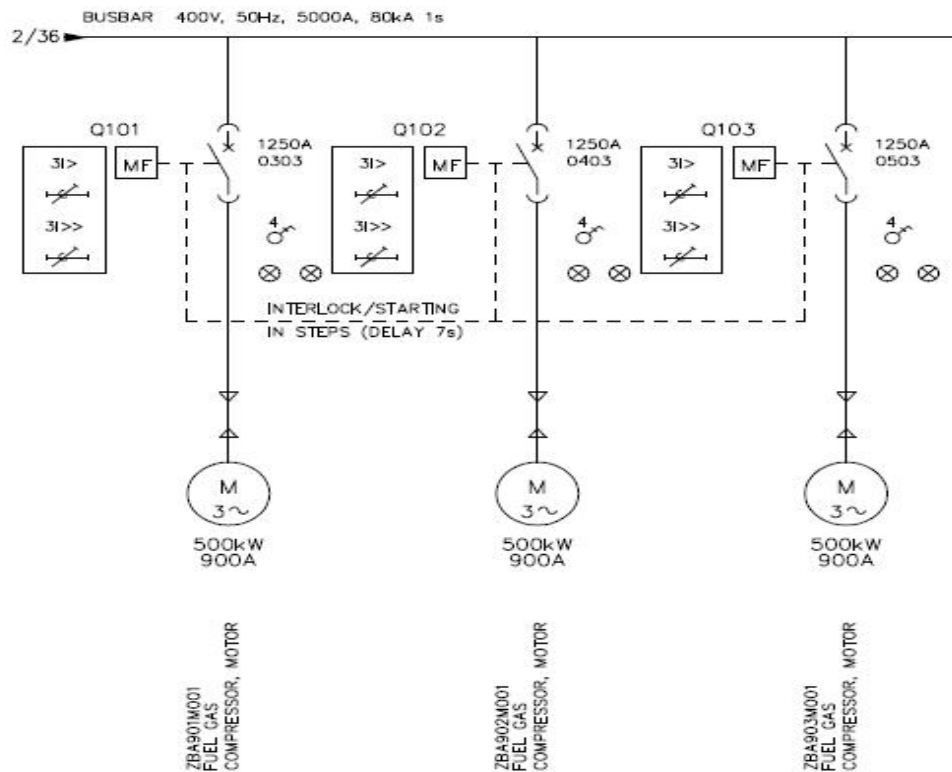
Pienjännitekeskuksen valinnassa saatiin Vaasa Engineer yhtiöltä molempiin ratkaisuihin tarjous. Molempien pienjännitekeskusten runko on toteutettu VEDA 5000 keskusrakenteen pohjalta. Pienjännitekeskuksen kustannukset tulivat kalliimmaksi taajuusmuuttajakäytöllä, koska taajuusmuuttajakäytössä on enemmän elektroniikka käytössä kuin suorakäytössä. Tällöin kustannukset nousevat. Muuntajalla säästettiin kustannuksissa taajuusmuuttajakäytöllä verrattuna suorakäyttöön. Kustannuksissa taajuusmuuttaja ja sen vaatima keskus toivat hintaeron suorakäyttöön. Suorakäytöllä ratkaisu pysyy yksinkertaisempana, mutta taajuusmuuttajakäytöllä saadaan lisäarvoa säädettävyyteen. Mitoiltaan taajuusmuuttajan vaatima pienjännitekeskus on isompi kuin suorakäytöllä. Taajuusmuuttajakäytön pienjännitekeskukseen joudutaan sijoittamaan myös oheislaitteille oma kennosto. Suorakäytöllä oheislaitteiden lähdöt sijoitetaan kaasukompressoreiden sähkömoottoreiden lähtöjen yläpuolelle (katso kappale 5.3).

Taajuusmuuttaja säästää kompressorin mekaniikka momentti iskuilta, koska taajuusmuuttajassa on kiihdytys ja hidastuvuus ajat. On myös mahdollista käyttää s-rampia nopeuden muutoksissa jolloin askelmaiset muutokset menevät ramppi-generaattorista aina pyöristettynä moottorin liikkeeksi. S-ramppi nimitys tulee käyrän mallista, joka kuvaa nopeuden muutosta. Myös monipuolinen säädettävyys on suuri etu varsinkin, kun kyseessä on suuret massat ja kalliit mekaniikat. Taajuusmuuttajalla voidaan valvoa monia asioita ja taajuusmuuttaja kykenee välittämään monia tapahtumia kenttäväylän avulla suoraan valvomoon yhden liitännä pisteen kautta. Taajuusmuuttajalla voidaan myös suorittaa monia turvatoimintoja esimerkiksi ATEX hyväksytty termistoritulo.

Suorakäytön suurin etu on kustannustehokkuus. Yksinkertainen ratkaisu on joissain projekteissa ainoa vaihtoehto. Prosessin hallitseminen käyttäjätasolla ei

joka paikassa ole sillä tasolla että hyvistä säätöominaisuuksista olisi hyötyä. Suorakäytöllä huoltaminen on yksinkertaisempaa, sillä elektroniikka on huomattavasti taajuusmuuttajakäyttöä vähemmän. Tämän kaltaiset projektit sijaitsevat usein vaikeiden kulkuyhteyksien päässä, jolloin varaosien saanti on huomattavasti vaikeampaa ja prosessin pysäyttäminen on kallista.

Suorakäytöllä suojataan kaasukompressoreiden sähkömoottorit pienjännitekeskuksessa. Suojaukseen käytetään ilmakatkaisijoita (katso luku 5.4). Taajuusmuuttajakäytössä taajuusmuuttaja toimii säätämisen lisäksi suojauksena sähkömoottoreille. Kuviossa 21 on esitetty pääkaavio suorankäytön moottorilähtöjen suojauksesta.



Kuvio 21. Pääkaavio suorankäytön moottorilähdöistä.

8.3 Kaapeleiden vertailu

Kaapeloinnissa käytetään samoja kaapeleita suorakäytöllä ja taajuusmuuttajakäytöllä pienjännitekeskukselle asti. Taajuusmuuttajassa suositeltu minimikaapelointi on kuparilla $5 \cdot (3 \cdot 150 + 70\text{Cu})$ alumiinilla $6 \cdot (3 \cdot 185 + 57\text{Cu})$. Kaapelointi ohje on pätevä syöttö- ja moottorikaapeleille. Korjauskerroin on 0,7. Kaapelit vedetään kaapelitikkaille rinnakkain, kolme tikasta päällekkäin. Ympäristön lämpötila on 30 astetta C EN6024-1 ja IEC60364-5-523. Taajuusmuuttaja kaapeli häviöihin vaikuttaa käytetty kytkentätaajuus sekä moottorin kuorma ja käytettävä syöttöjännite, koska taajuusmuuttaja soveltuu 380-500V alueelle jolloin nimellisvirran vaihtelu on varsin suurta./9/

Jos noudatetaan taajuusmuuttajan kaapelointiohjeistusta, tulee huomioida isomman kytkentäkotelon tarve sähkömoottorilla. Tällöin kaapelit saadaan mahtumaan sähkömoottorin kytkentäkoteloon. Moottorin valmistajalle tulee ilmoittaa, jos kytkentäkotelo pitää muuttaa taajuusmuuttaja käytössä.

Suorakäytölle mitoitus on yksinkertaisempi, (katso kappale 5.5) sillä suorakäytöllä ei tarvitse huomioida vastaavia häviöitä kuin taajuusmuuttajalla. Kaapeloinnissa suorakäytöllä voidaan käyttää samaa kaapelointia muuntajalta asti. Tällöin kustannuksissa säästetään verrattuna taajuusmuuttaja käyttöön.

9 YHTEENVETO

Tavoitteena oli luoda konseptiratkaisu, joka palvelisi tulevia projekteja. Tämä onnistui hyvin. Projekti tehtiin yleisellä tasolla, koska projektin oli tarkoitus palvella kaikkia GD-moottorilla toteutettuja projekteja. Opinnäytetyöhön valittiin 500 kilowatin kaasukompressori. Tarkastelussa luotiin toimivat ratkaisut suorakäytölle ja taajuusmuuttajakäytölle.

Vertailtiin kustannuksia komponentti tasolla ja kokonaisuutena. Komponentti tasolla suurin kustannusero syntyi pienjännitekeskuksessa. Pienjännitekeskuksen hinta taajuusmuuttajakäytöllä oli käytännössä taajuusmuuttajien vaatiman keskuksen verran kalliimpi verrattuna suorakäyttöön. Muuntajien ja kaapeloinnin hintaerot tämän kokoisessa projektissa eivät olleet merkittäviä, suorakäytöllä muuntajan hinta oli hiukan kalliimpi. Kokonaiskustannuksissa suorakäyttö oli halvempi ratkaisu kuin taajuusmuuttajakäyttö. Tuleviin projekteihin, joihin sovelletaan taajuusmuuttaja konseptia tai suorakäyttö konseptia, vaikuttaa projektin budjetti ja asiakkaan toiveet.

Taajuusmuuttaja käytöllä voidaan saavuttaa asiakkaalle säästöjä. Se tulisi huomioida, kun ehdotetaan asiakkaalle taajuusmuuttaja käyttöä. Taajuusmuuttajat maksavat itsensä takaisin noin vuodessa riippuen sähkön myyntihinnasta. Suorakäyttö on silloin parempi vaihtoehto, kun asiakas haluaa mahdollisimman yksinkertaisen ratkaisun käytön kannalta. Tälle konseptille on laskettu hinta-arvio, jonka perusteella tulevaisuudessa voidaan projektia tarjota asiakkaille. Jokainen projekti on ainutlaatuinen, sillä olosuhteet ja standardit ovat erilaisia jokaisessa maassa. Tämä konsepti on siis suuntaa antava. Konseptin avulla säästetään suunnittelukustannuksissa, sillä tätä pohjaa voidaan hyödyntää kaikissa projekteissa.

Projekti oli kokonaisuudessa haastava, mutta mielenkiintoinen. Tiedonkeruu oli aikaa vievää ja kontaktiverkoston luominen yrityksen sisällä haastavaa. Projekti oli kuitenkin oman osaamisen ja uuden oppimisen kannalta hyvin kehittävä. Koska tässä opinnäytteessä aiheeseen perehdytään suunnittelijan silmin, saatiin aikaiseksi täysin uusia näkökulmia omaan ajatteluun ja työhön. Projektissa kohdattiin monia haasteita, joita oli mielenkiintoista tutkia ja selvittää sekä huomata oma kehitys.

LÄHTEET

- /1/ Korpinen L. 1998 Sähkövoimaopus. Viitattu 29.4.2014.
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf
- /2/ Korpinen L. 1998 Sähkövoimaopus. Viitattu 29.4.2014.
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf
- /3/ Korpinen L. 1998. Sähkövoimaopus. Viitattu 3.5.2014.
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/5sahkoverkon_automaatio_ja_suoja.pdf
- /4/ Koski J. Sähkölaitostekniikka kurssimateriaali. 2012. Viitattu 15.5.2014
- /5/ Mäkinen O. 2014. Relesuojaus. Viitattu 3.5.2014.
<https://portal.puv.fi/course/view.php?id=3683>
- /6/ Mäkinen O. 2012. Sähköverkonkojeet. Viitattu 29.4.2014
https://portal.puv.fi/file.php/3213/Maekinen_Olavi_-_Sahkoelaitokset_-_luku_9-1.pdf
- /7/ Niemelä J. Opinnäytetyö 2010. 20 kV kojeiston suunnittelu sähkövoimalaboratorioon. Viitattu 28.4.2014.
http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/21394/Niemela_Jarmo.pdf?sequence=1
- /8/ SFS-käsikirja 601. Suurjännite sähköasennukset ja ilmajohdot. SFS 2009. 1. PAINOS.
- /9/ Vacon. Viitattu 12.5.2014. Käyttöohjekirja DPD01267B
- /10/ Vamp. Viitattu 2.5.2014. <http://www-fi.vamp.fi/Suomeksi/Tuotteet/Suojareleet/VAMP%2050%20Ylivirta-%20ja%20maasulkurele/Default.aspx>
- /11/ Vierikko R. Opinnäytetyö 2013. Keski-jännitekojeistoprojektinhallinta Viitattu 29.4.2014
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/57996/Keskijannitekojeistoprojektin%20hallinta.pdf?sequence=1>

/12/ Wärtsilä. 2014. Viitattu 30.4.2014. www.wartsila.com