



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mika Åkerfelt

# KONSEPTIRATKAISU KAASUKOMP- PRESSORIASEMALLE

Vacon taajuusmuuttaja ratkaisu

Tekniikka ja liikenne  
2014

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Mika Åkerfelt
Opinnäytetyön nimi	Konseptiratkaisu kaasukompressori asemalle
Vuosi	2014
Kieli	suomi
Sivumäärä	68
Ohjaaja	Kari Jokinen

---

Opinnäytetyön aiheena oli Wärtsilän GD-moottorin kaasukompressoriaseman myynnin helpottaminen konseptiratkaisulla. Tavoitteena oli luoda konseptimalli taajuusmuuttajarakaisulle, jota voidaan käyttää apuna tarjottaessa kaasukompressori asemaa asiakkaalle. Työ tehtiin Wärtsilä Finland Oy:lle yhteistyössä Vacon Oyj:n kanssa. Tästä työstä on tehty vertaileva tutkimus suorakäynnisteisellä kaasukompressoriasemalla. Tämä työ keskittyy taajuusmuuttajakäyttöiseen kompressoriin. Ongelmana on ollut konseptin puuttuminen GD-moottorien myynniltä, joka on vaikeuttanut nopeiden projektikohtaisten tarjouksien tekoa. Tämän työn tarkoituksena olisi hahmottaa tarvittavia tilavarauksia, pääkomponentteja sekä antaa suuntaa projektin kustannuksista.

Teoriaosuudessa on vertailtu ja tutkittu eri komponenttien ominaisuuksia ja soveltuvuutta kaasukompressoriasemaan. Lähtötietoina käytettiin olemassa olevaa tietoa Wärtsilältä ja Vaconilta. Lisäksi tutkittiin simuloimalla ja laskemalla esimerkiksi jännitteen alenemaa, Neplan-ohjelmalla ja sähköverkon säröisyyttä Vacon harmonic 4.0-ohjelmalla. Työn keskeisiä kohtia oli oikeiden ja kustannustehokaiden komponenttien käyttö.

Tärkeimpänä tietona työstä saatiin projektin kustannusrakenteeseen pääkomponenttien hinnat ja toimitusajat. Myös tarvittavat tilavaraustiedot tulivat selville, mikä vaikuttaa suoraan tarvittavien sähkötilojen kokoon sekä jäähdytysilman tarpeeseen. Kompressorin kasvaessa suureksi, havaittiin suoralla käytöllä olevan ongelmia jännitteen aleneman kanssa. Tämä ilmiö ei ollut taajuusmuuttajakäytöllä ongelma. Komponentit tulee valita kokonaisuuden toimivuuden kannalta.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

## ABSTRACT

Author	Mika Åkerfelt
Title	Concept for a Gas Compressor Station
Year	2014
Language	Finnish
Pages	68
Name of Supervisor	Kari Jokinen

---

The subject of the thesis was to design a concept for a gas compressor station. The background for the thesis was Wärtsilä sales engineers' problem to sell gas compressor station for the GD-motors. The main point was to create a frequency converter solution for a gas compressor station. The thesis defines needed main components and documents needed electric rooms and cabinets.

Information on all main components and costs and component selections was collected into one easy-to-read document. The direct on line and frequency converter version of gas compressor station were also compared. Master data came from Wärtsilä and Vacon. Various issues were also studied by calculating and simulating. The biggest problem was found out. How the supply voltage react to different types of motor starter. The main point was to avoid a black out on the starting sequence.

The thesis gives a lot of good information, such as cost, dimensioning, and different ways to do gas compressor station. Every selected component was chosen to serve the whole project as well as possible.

---

Keywords                      Concept,    GD-motor    and    frequency    converter

## SISÄLLYS

SISÄLLYS .....	4
1. JOHDANTO .....	10
2. YRITYS ESITTELYT.....	11
2.1 Wärtsilä.....	11
2.2 VACON OYJ .....	12
3. GD-MOOTTOREILLA TOTEUTETTU VOIMALAITOS .....	14
3.1 Konseptin tarve .....	14
3.2 Prosessi.....	15
3.3 GD-Moottori .....	15
3.4 GD-kompressori.....	16
3.5 Järjestelmän periaate .....	17
4. TAAJUUSMUUTTAJAKÄYTTÖ .....	20
4.1 Taajuusmuuttaja kompressori käytössä.....	20
4.2 Tavoiteltava hyöty.....	20
4.3 Vertaus suoraan käyttöön .....	21
4.4 Käynnistysvirrat / Jännite alenemat .....	24
5. TARKASTELTAVAN KOHTEEN ESITTELY .....	27
5.1 Kokojärjestelmän kuvaus .....	27
5.2 Käyttö 3*500kW .....	28
5.3 Yleinen kompressorin säätö.....	29
6. TEKNISTEN ASIOIDEN LÄPIKÄYNTI .....	31
6.1 Komponenttien valinnat .....	31
6.2 Hintatiedot .....	31
6.3 Rakennuksen valinta pienjännite keskukselle.....	31
6.4 Standardin mukaisia vaatimuksia rakennukselle .....	31
6.5 Suojaus rakennuksen sisäpuolella .....	32
6.6 Muuntajan sijoitus rakennukseen.....	33
6.7 EX-Alue.....	36
6.8 Muuntaja.....	36

6.8.1 Muuntajan valinta ja mitoitus taajuusmuuttajakäytölle .....	37
6.9 LV-keskus.....	45
6.10 Taajuusmuuttaja .....	46
6.11 Moottori.....	50
6.12 Kaapelit.....	51
6.12.1 Kaapelin valinta keskijännitekatkaisijan ja muuntajan välille ....	52
6.12.2 Kaapelin asennus maahan .....	55
6.12.3 Muuntajan ja pienjännitekeskuksen välinen kaapelointi .....	56
6.12.4 Keskuksen ja taajuusmuuttajan väli.....	56
6.12.5 Taajuusmuuttajan ja moottorin väli .....	57
6.13 Suojaus .....	57
6.14 Suojarele .....	58
6.15 Ohjaus.....	60
7. VAIHTOEHTOJEN VERTAILU .....	63
7.1 Suorakäynnisteinen järjestelmä .....	63
7.2 Taajuusmuuttaja ohjattu järjestelmä.....	63
8. YHTEENVETO .....	65
LÄHTEET .....	67

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> GD-laitoksen havainnekuva	14
<b>Kuva 2.</b> GD-moottorin kaasukompressori	17
<b>Kuva 3.</b> Voimalaitoksen yleiskuva	19
<b>Kuva 4.</b> Ferriitin asennus oikeaoppisesti	22
<b>Kuva 5.</b> Erityyppisiä laakerivirtoja	22
<b>Kuva 7.</b> Heijastunut kulkuaalto moottorinkäämillä	23
<b>Kuva 8.</b> Kaapelin pituuden vaikutus kulkuaaltoon	24
<b>Kuva 9.</b> Jännitteen alenemasimulointi suoralla käynnistyksellä	25
<b>Kuva 10.</b> Simuloitavan moottorin parametrit	25
<b>Kuva 11.</b> Jännitteen alenema 400V-kiskoilla	26
<b>Kuva 12.</b> Järjestelmän sähkönjakelun yleiskuva	28
<b>Kuva 13.</b> Kaasukompressoriasema	30
<b>Kuva 14.</b> Muuntajan ulkomitat edestä katsottuna	34
<b>Kuva 15.</b> Muuntajan koteloinnin mitat	35
<b>Kuva 16.</b> Muuntajahuoneen ja pienjännitekeskushuoneen mitat	35
<b>Kuva 17.</b> Tyypillinen kuivamuuntaja ip00	37
<b>Kuva 18.</b> Lähtötiedot harmonics-simulointiin	43
<b>Kuva 19.</b> Virran THD %	44
<b>Kuva 20.</b> Jännitteen THD %	44
<b>Kuva 21.</b> Vacon NXP ip00 moduuli	46
<b>Kuva 22.</b> OPT-AF-kortin ATEX-termistoritulo	47
<b>Kuva 23.</b> OPT-AF-kortin turvatoiminto	48
<b>Kuva 24.</b> Vacon-lajimerkkiavain	49
<b>Kuva 25.</b> Sähkömoottori VEM	51
<b>Taulukko 1.</b> Simuloinnin tulokset	26
<b>Taulukko 2.</b> Muuntajan kilpiarvotiedot	40
<b>Taulukko 3.</b> Vacon harmonics-simulaattorin tulokset	45

<b>Taulukko 4.</b> SFS 6000-standardin johtojen kuormitus	53
<b>Taulukko 5.</b> Suojareleen käytettävät suojaustoiminnot	59
<b>Taulukko 6.</b> Modbus-viesti laitteelta masterille	61
<b>Taulukko 7.</b> Status Wordin bitit aukikoodattuna	61

**LIITELUETTELO**



**KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT**

GD	Gas Diesel
MVA	Megavolttiampeeri
kV	Kilovoltti
MV	Medium voltage / keskijännite
LV	Low voltage / pienjännite
V	Voltti/Jännite
kVA	Kilovolttiampeeri
kW	Kilowatti
bar	Paine
MW	Megawatti
Hz	Taajuus
Plc	Ohjelmoitava logiikka
A	Amppeeri / Virta
cos	Hyötysuhde
ATEX	Räjähdyksvaarallisten tilojen standardi
IEC	Standardi

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Wärtsilä Oyj Abp Vaasan voimalaitosyksikön 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 myyjiä varten. Tämä tapa vaati enemmän resursseja ja aikaa. Vanha toimintamalli ei vastannut tämän päivän hektisiä markkinavaatimuksia eikä ollut kustannustehokasta toimintaa.

Työn tarkoituksena oli mallintaa myyntikonsepti GD-moottorien kaasukompressoreille. Konsepti sisältää MV-keskuksen, 11kV/400V-muuntajan suojausineen, LV-keskuksen suojausineen, taajuusmuuttajat, moottorilähdöt, moottorin ja kaapelit. Konsepti pyrkii hyödyntämään mahdollisimman paljon jo olemassa olevia rakennuksia, keskuksia, suojausmalleja ja kaapeleita. 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-moottorivoimalaitoksia. Opinnäytetyö tuottaa malliratkaisun tarvittavine liitteineen tulevia myyntiprojekteja varten.

## 2 YRITYS ESITTELYT

### 2.1 Wärtsilä

Wärtsilä on kansainvälinen, johtava merenkulun ja energiamarkkinoiden voimaratkaisujen toimittaja. Wärtsilä tukee asiakasyrityksiä tuotteiden koko elinkaaren ajan. Wärtsilän tavoitteena on maksimoida alusten ja voimalaitosten ympäristöhokkuus ja taloudellisuus keskittymällä kokonaishyötysuhteeseen ja teknologisiin innovaatioihin. /6/

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, insinöörin osaamisen, laivat ja voimalaitokset. Wärtsilä panostaa teknologiaan ja yrityksen tavoitteena on nähdä vaivaa, jotta tuotteet ovat mahdollisimman toimivia ja asiakkaan tarpeita vastaavia. /6/

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. /6/

Kansainvälinen yritys Wärtsilä työllistää noin 18 000 ammattilaista. Wärtsilällä on toimipisteitä 170 eri maassa. Suomessa Wärtsilä työllistää noin 3600 henkilöä. Suomen sisällä Wärtsilällä on toimipisteitä Vaasassa, Helsingissä ja Turussa. /6/

#### 2.1.1 Power Plant

Wärtsilä toimii hajautetun energiatuotannon markkinoiden joustavien voimalaratkaisujen toimittajana. Wärtsilä pyrkii tarjoamaan luotettavia ja kilpailukykyisiä ratkaisuja asiakkailleen. Nämä kattavat sähköverkon vakaan toiminnan, perus-

voimatuotannon, voimalaitokset, jotka on suunniteltu kuormitushuippuja tasamaan, teollisuudelle suunnatun energiatuotannon sekä kaasu- ja öljyteollisuuden tarpeet. /6/

Energiaratkaisujen tulee olla hajautettuja, tehokkaita, joustavia ja ympäristöystävällisiä. Tämä mahdollistaa kansainvälisen siirtymisen kohti kestävää, uudenai-kaista energiainfrastruktuuria. /6/

## **2.2 VACON OYJ**

Vacon on globaali vain taajuusmuuttajien kehittämiseen, valmistukseen ja myyntiin keskittynyt yhtiö. Vacon valmistaa maailman parhaita taajuusmuuttajia kaikille teollisuuden sektoreille joita ovat rakennusautomaatio, nosturit ja nostimet, laiva- ja meriteollisuus, kaivos- ja metalliteollisuus, elintarvike- ja juomateollisuus, öljy- ja kaasuteollisuus, aurinkovoima sekä tuulivoimateollisuudessa.

Vacon pitää pääpaikkanaan Vaasassa sijaitsevaa tehdasta, joka on myös Vaconin suurin yksikkö. Vaconilla työskentelee noin 1600 henkilöä maailman laajuisesti, josta tehtaalla työskentelee noin puolet henkilöistä.

Tuotekehitystä on Euroopaan alueella Suomessa ja Italiassa. Italiassa valmistetaan ja suunnitellaan vaativiin olosuhteisiin suunniteltua Vacon X-sarjan tuotteita joita voidaan asentaa myös ulkoasennuksiin. Aasiassa tuotekehitystä on Kiinassa jossa tehdään tuotteita Aasian markkinoille. Pohjois-Amerikassa tuotekehitysyksikkö suunnittelee keskijännitetaajuusmuuttajaa sekä valmistaa pienjännitetaajuusmuuttajia Amerikan markkinoille. Myyntiyhtiöitä löytyy 30 maasta. Lisäksi myynti- ja huoltoedustusta lähes 90 maassa.

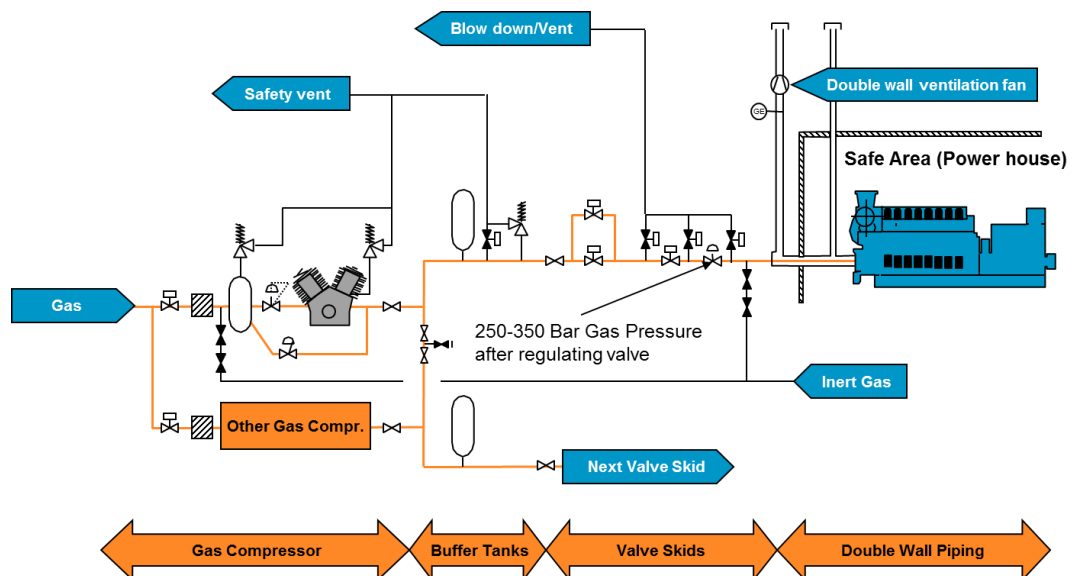
Vuonna 2013 liikevaihto oli 403 miljoonaa euroa. Vacon Oyj osakkeet (VAC1V) noteerataan Helsingin pörssissä (NASDAQ OMX Helsinki) päälistalla. /11/

Vacon on perustettu 1993 Vaasa Control nimellä. 1995 avattiin tehdas Vaasan Runsoriin sekä Saksan ja Ruotsin tytäryhtiöt, jotka ovat olleet alusta asti Vaconin

tärkeimpiä tytäryhtiöitä. 1995 lanseerattiin Vacon CX-tuoteperhe jota valmistettiin vuoteen 2013 asti. Vuonna 2000 nimi lyhennettiin Vaconiksi, kun yrityksestä tuli julkinen pörssiyhtiö. Vuonna 2000 Vacon NX-tuotesarja lanseerattiin markkinoille. Vaconin tuoteperhe laajeni kattamaan jänniteluokat 110-230Vac, 380-500Vac sekä 525-690Vac. Vastaavasti tehoalue laajeni 5MW asti. Saman sarjan hienouteen kuului myös Vaconin nestejäähdytteiset taajuusmuuttajat, joilla oli helpompi tehdä suuritehoisia tuotteita. Vuonna 2002 Vacon valitaan Wärtsilän vuoden toimittajaksi. Vuonna 2009 Vacon lanseeraa kolmannen tuotesukupolven Vacon 100. Uuteen sarjaan on liitetty paljon uusia ominaisuuksia niin vakiosovellusten kuin lisäoptioiden kautta. /11/

### 3 GD-MOOTTOREILLA TOTEUTETTU VOIMALAITOS

GD-moottoreilla toteutettu voimalaitos käyttää polttoaineena dieseliä ja korkeaan paineeseen puristettua kaasua. Voimalaitos koostuu monesta osa-alueesta, jotka muodostavat toimivan kokonaisuuden. Standardivoimalaitokseen kuuluvat polttoainejärjestelmät, pienjännitekeskuksen huone, keskijännitehuone, valvomo, jäähdytysjärjestelmä ja akustotila. Poikkeuksena GD-moottorilla standardivoimalaitokseen on kaasukompressor, jolla tehdään moottorille korkea kaasunpaine (kuva 1.) Tästä johtuen tarvitaan kaasukompressorille oma keskijännitekatkaisija suojauksineen, muuntaja suojauksineen ja erillinen pienjännitekeskus ja taajuusmuuttajakeskus taajuusmuuttajineen. Taajuusmuuttajalla voidaan säätää kompressorin virtausta lähes portaattomasti. Taajuusmuuttajat valvovat ja suojaavat sähkömoottoreita, koska taajuusmuuttajissa on sisäänrakennettu monta eri suojausfunktiota.



**Kuva 1.** GD-laitoksen havainne kuva

#### 3.1 Konseptin tarve

Konseptin tarve lähti liikkeelle Wärtsilän voimalaitosyksikön tarpeista saada myyntikonsepti GD-moottorien kaasukompressorille. Aikaisemmin konseptimalli puuttui tästä ratkaisusta kokonaan. Konseptin rakentaminen myyntiä varten auttaa

ymmärtämään paremmin toimitukseen tarvittavat komponentit sekä havainnollistaa valmiiden piirustusten avulla 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, ylläpitoa sekä elinkaariajattelua. Tässä opinnäytetyössä vertaillaan taajuusmuuttajaohjattun kompressorin ja suorakäynnisteisen kompressoriaseman eroja.

### **3.2 Prosessi**

GD-moottori tarvitsee käynnistyäkseen dieselöljyä, jonka jälkeen asiakas voi valita jatkaako dieselöljyllä vai siirtykö ajamaan kaasulla. GD-moottoria voidaan ajaa myös kaasun ja öljyn seoksella. Kaasulla ajettaessa kaasua puristetaan mäntäkompressorilla korkeaan paineeseen (350 bar). Kompressorin pyörii sähkömoottorilla, joka voi olla suorakäyttö- tai taajuusmuuttajaohjattu. Ohjaus tapahtuu aina valvomosta kenttäväylien välityksellä.

### **3.3 GD-Moottori**

GD-moottori kehitettiin 1980-luvun lopulla. Moottori kehitettiin voimanlähteeksi kaasua ja öljyteollisuuteen. GD-moottoria käytetään pääsääntöisesti öljy- ja kaasukentillä, jonne se soveltuu ominaisuuksiltaan parhaiten, käyttökohteina sähköntuotto. Joskus GD-moottoria on käytetty suoraan pumpun ja kompressorin voimakoneena. 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 on saatavilla öljynporauksen yhteydessä. Normaalisti ilman GD-moottoria, huonolaatuinen kaasua poltettaisiin soihdussa, josta kukaan ei hyötyisi mitään. 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, koska vastaavaa tuotetta ei löydä kilpailijoilta. GD-moottorilla on korkea hyötysuhde, mikä merkitsee maksimaalista hyötyä asiakkaalle, joita ovat järkevä sähköntuotto ja vähentynyt päästöjen määrä. 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, jolloin GD-moottorilaitoksen rakentaminen on monesti paras ratkaisu kokonaisuuden kannalta. Öljykenttien prosessien katkeaminen aiheuttaa usein asiakkaalle isoja kustannuksia. Tällöin omakäyttöinen polttomoottorivoimalaitos on hyvä ratkaisu, koska asiakas ei ole riippuvainen ulkoisesta sähköntuottamisesta.

### **3.4 GD-kompressori**

GD-kompressori on kolmisylinterinen mäntäkompressori (kuva 2.) Joka männällä on tarkoitus nostaa paine noin kolminkertaiseksi edellisestä tilanteesta. GD-kompressoriin tulee pienipaineista kaasua jota imetään eteenpäin imuventtiilin kautta ja puristetaan venttiilin kautta seuraavalle sylinterille, jossa sitä puristetaan lisää. GD-kompressorissa on kolme tasoa, jossa paine nostetaan askeleittain haluttuun paineeseen. Ensimmäisellä tasolla paine korotetaan 70 baariin, toisella tasolla paine korotetaan 150 baariin ja viimeisellä tasolla paine korotetaan yli 300 baariin. Korkeimmat paineet tässä kokoluokassa on 350 baaria. Laitoksen koko määritellään sähkömoottorin mukaan, joka jaksaa pyörittää kompressoria ja millä saadaan aikaan tarvittava kaasun tuotto GD-moottorille. GD-kompressoreita on 300 kW aina 1,6 MW asti. GD-kompressori on tällä hetkellä ainoa tuote Wärtsilällä, jolla saadaan puristettua kaasu tarpeeksi korkeaan paineeseen.





**Kuva 2.** GD-moottorin kaasukompressori

Kompressoriyksikössä on venttiilit omakiertoa varten jotta kompressori on mahdollista ajaa huippuarvoonsa. Myös varoventtiilit ja säätöventtiilit ovat olennaisia komponentteja kompressoriasemalla. Juurikin näihin venttiileihin taajuusmuuttajan käyttö voi vaikuttaa siten, että jostain päästään eroon tai säätöventtiilien käyttö jää vähäiseksi.

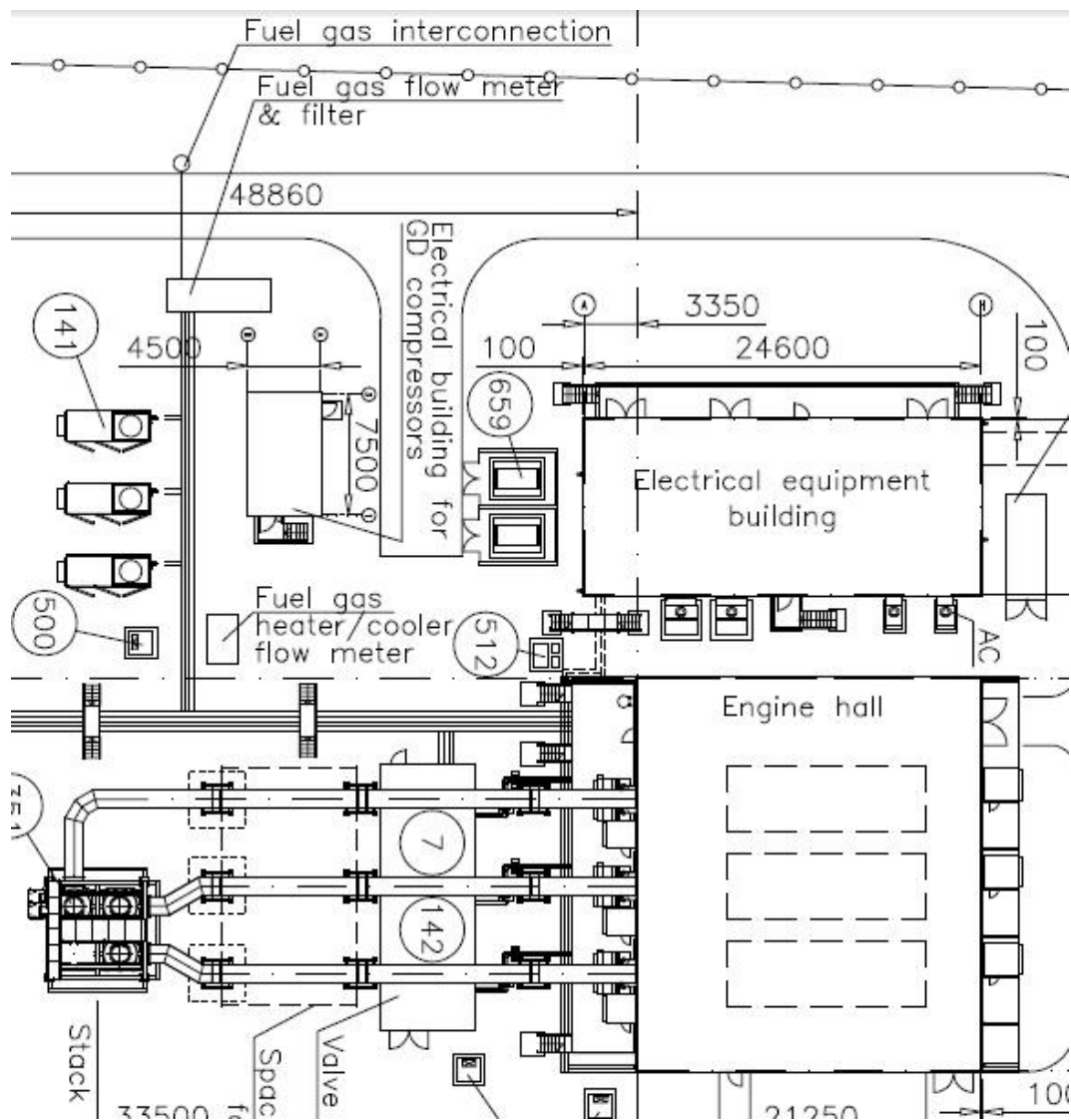
### 3.5 Järjestelmän periaate

Opinnäytetyö antaa pohjan sekä suoraan käyttöä, että taajuusmuuttajaratkaisulle, keskijännitesyötöstä kaasukompressorille asti. Komponentteja varten suoritettiin tarjouskyselyt tarvittavilta tahoilta, jotta saatiin vertailupohjaa yleisestä komponenttien hinta tasosta.

Yksiviiva esitys järjestelmän sähköpääkomponenteista (kuva 12.) Keskijännitekeskus sisältää katkaisijan sekä tarvittavan suojauskeskityksen. Keskijännitekeskus sijaitsee keskijännitehuoneessa josta syötetään 11kV/0,4kV muuntajaa. Muuntaja 11kV/0,4kV keskijännitekeskuksen ja muuntajan väli syötetään kaapelilla. Muuntajasta jatketaan kaapeleilla pienjännitekeskukseen.

Pienjännitekeskus sisältää katkaisijat sekä syötöt taajuusmuuttajille tai suorille moottorilähdöillä suojauksineen. Pienjännitekeskukselta lähdetään kaapeleilla taajuusmuuttajalle. Taajuusmuuttajalta lähdetään kaapeleilla turvakytkimelle, josta jatketaan kaapeleilla sähkömoottorille. Sähkömoottori 400/690 V, 500kW, 839/487A, 993rpm, 50 Hz, ja  $\cos 0,8$ . Moottori sopii myös 690V syötölle jos jatkossa tulee tarvetta suuremmalle käyttöjännitteelle. Sähkömoottorin ja kompressorin välissä on kytkin.

Laitoksen yleiskuva on esitetty (kuva 3.) Kaasukompressorikontit ovat positiolla 141. Niiden edessä oikealla sijaitsee sähkörakennus jossa sijaitsee muuntajat ja pienjännitekeskukset. Voimalaitoksen sähkötilassa sijaitsee keskijännitekeskus, josta jaetaan 11kV jännite koko laitokselle. Myös kaasukompressoriaseman 11kV syöttö tulee sieltä. Sähkötila sisältää myös laitoksen valvomon josta ohjataan voimalaitoksen toimintaa. Myös PLC-järjestelmät ovat samassa tilassa.



**Kuva 3.** Voimalaitoksen yleiskuva

## **4 TAAJUUSMUUTTAJAKÄYTTÖ**

### **4.1 Taajuusmuuttaja kompressori käytössä**

Tarkoituksena oli tutkia konseptin kannalta oleellisia asioita, eri osa-alueiden järkevää sovittamista kokonaisuudeksi, kaasukompressorin toiminnan tutkimista ja kompressorin toimintaan perehtymistä. Kaasukompressori on projektin kannalta tärkein osa, koska kaasukompressori on jo valittuna projektiin. Tarkoitus oli valita toimivat ja kustannustehokkaat ratkaisut kaasukompressorin ympärille. Opinäytetyössä tutkittiin taajuusmuuttajakäytön soveltumista konseptiin. Taajuusmuuttaja on yleensä 6-pulssi syötöllä varustettu tehopuolihoiteisiin perustuva sähkökone. Taajuusmuuttaja pystyy säätämään oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta portaattomasti ja tarkasti prosessin vaatimusten mukaan. Tällä tavoin on mahdollista päästä kalliista ohitus-/säätöventtiileistä eroon. Taajuusmuuttajalla on myös mahdollista hallita käynnistyksessä aiheutuvia ongelmia, jotka tulevat esille suoralla käynnistyksellä, kuten paineiskut putkistoissa sekä mekaaniset momenttiiskut akseleihin / kytkimiin. Taajuusmuuttajan muita hyötyjä on helppo liittäminen ylempään ohjausjärjestelmään, koska taajuusmuuttajaan on mahdollista valita kaikki yleisemmät kenttäväylät. Taajuusmuuttajan muita hyötyjä on hyvät suojaustoiminnot vakiona, jotka auttavat prosessin käyttöasteen parempaa arvoa. Nykypäivän trendien mukaan myös energiatehokkuus paranee usein taajuusmuuttajakäytössä, koska moottoria voidaan ajaa tarvittavalla teholla ilman kuristussäätöä, jolloin sähkönkulutus on optimi. Tässäkin kohteessa kompressoria on mahdollista ajaa osateholla tarvittavan kaasun kulutuksen mukaan, jolloin sähköenergiaa säästyy verkkoon ajettavaksi enemmän, varsinkin kun kaasukompressorin tehot ovat suuria, 300kW-1600kW.

### **4.2 Tavoiteltava hyöty**

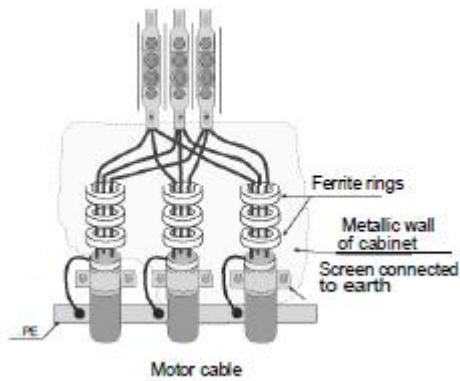
Tutkimuksessa mietittiin, mitä lisäarvoa taajuusmuuttajakäyttö toisi kaasukompressorin käyttöön ja kannattaisiko asiakkaalle tarjota suoraikäytön sijasta taajuusmuuttajakäyttöä. Kun asiakkaalla on useampi kuin yksi vaihtoehto valittavana

kaasukompressorikäyttöön, asiakas voi valita omaan käyttöönsä sopivan ratkaisun. Useat vaihtoehdot antavat myös markkinointiin ja myyntityöhön lisäarvoa. Tässä osuudessa tarkasteltiin kaasukompressorin taajuusmuuttajakäyttöä, jolloin itse kaasukompressorin säätö tapahtuu venttiileillä tai taajuusmuuttajalla antaen prosessin hoitajalle enemmän säätömahdollisuuksia. Kaasukompressoria ohjataan PLC-sekvenssillä valvomosta kenttäväylän kautta. Taajuusmuuttajalla tavoitellaan mahdollisten paineiskujen pienentämistä sekä mekaniikan säästämistä suorankäytön verrattavilta momentti-iskuilta.

Myös energian säästö on suuri kysymys. Energian säästö on itsessään monimutkainen kysymys, koska säästön hyöty näkyy vasta loppukäyttäjälle, joten tämä perustelu pitää osata tehdä jo myyntivaiheessa. Muita saavutettuja hyötyjä on taajuusmuuttajalta saatava tieto prosessin tilasta, esimerkiksi hälytykset, viat ja mahdolliset lukitukset huoltotöiden ajalle. Nämä kaikki on mahdollista ottaa valvomon näytölle eikä erillistä johdotusta tai muuta laitteistoa tarvita. Taajuusmuuttajassa on lukuisia valmiita arvoja joita voidaan lukea valvomoon kuitenkin niin, että maksimi kerralla luettavien arvojen määrä on rajattu 8 signaaliin. Yleensä nämä riittävätkin kaiken oleellisen tiedon tuomiseen yhdestä kohteesta. prosessista tulee kuitenkin vielä lukuisia muita signaaleja joiden avulla plc-ohjelma muodostaa valvomon ruudulle tilannetta kuvaavan esityksen jolloin sekvenssi tai operaattori osaa toimia vaaditulla tavalla laitoksen toiminnan kannalta.

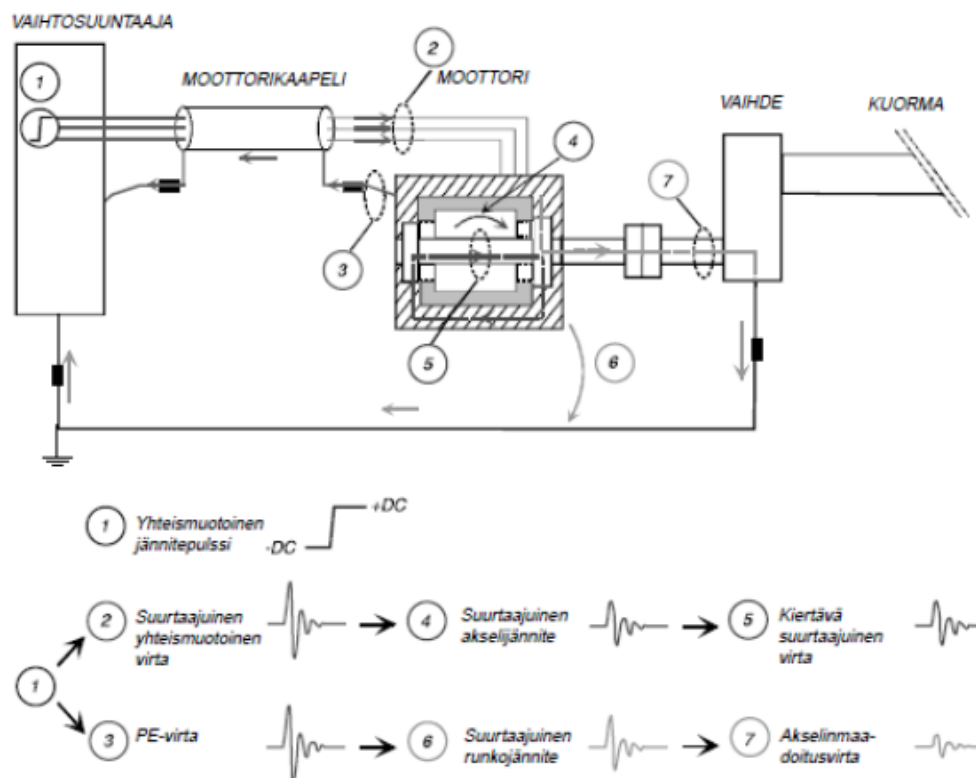
### **4.3 Vertaus suoraan käyttöön**

Laakerivirtoihin on syytä kiinnittää erityisesti huomiota kun taajuusmuuttajan koko kasvaa suuremmaksi kuin 100kW.



**Kuva 4.** Ferriitin asennus oikeaoppisesti

Yleisin keino välttää ongelmilta on tehdä asennukset valmistajan suositusten mukaan sekä käyttää valmistajan suositusten mukaisia kaapeleita ja läpivientejä. Lisäksi tarvitaan ferriittirenkaita jotka ehkäisevät tehokkaasti laakerivirtojen syntyä. Ferriittirenkaiden oikea asennustapa (kuva 4.) Yleensä taajuusmuuttajakäyttöisessä moottorissa on eristettylaakeri ja toisinaan eristys pitää olla vielä työkoneneen laakeroinnissa.



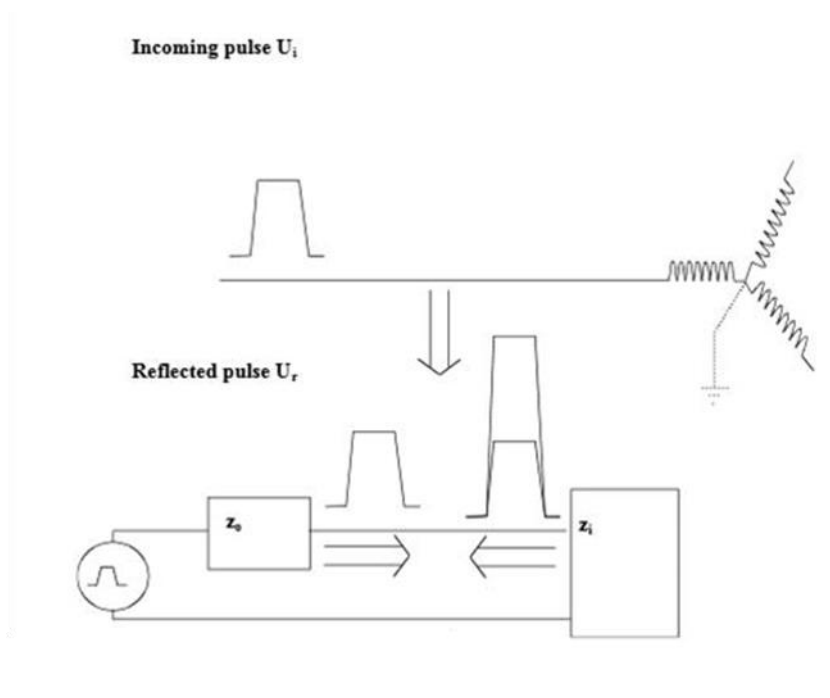
**Kuva 5.** Erityyppisiä laakerivirtoja

Suurimmat erot syntyvät kaapeleissa ja muuntajissa sekä keskuksissa. Myös moottorissa on huomioitava taajuusmuuttajakäyttö. Taajuusmuuttajakäytöllä esiintyviä virtoja (kuva 5.) Taajuusmuuttaja rasittaa moottorin eristeitä suoraa

syöttöä enemmän. Taajuusmuuttajakäyttöisen moottorin eristyksen on oltava parempi kuin suoraikäyttöisen. Lähes kaikki nykyaikaiset moottorit ovat 400/690 Vac-moottoreita joissa on jo huomioitu taajuusmuuttajakäyttö. /12/

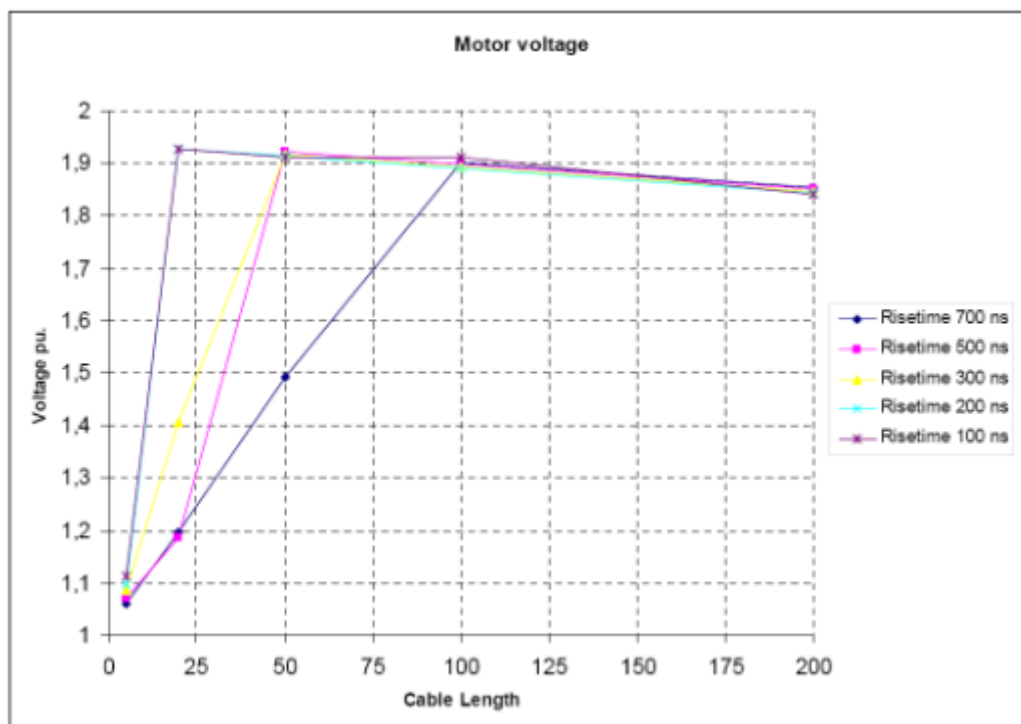
IGBT-transistoria käyttävät taajuusmuuttajat toimivat yleensä korkealla kytkentätaajuudella jolloin jännitteen nousunopeus on todella suuri 4-6kV/us. Suuri kytkentänopeus tietyn edellytyksin, voi johtaa suureen jännite rasituksiin moottorin eristyksille. Suuri jännitteen nousunopeus voi aiheuttaa kulkuaallon moottorikaapelissa, mikä pahimmillaan heijastuu takaisin kaksinkertaisena. Tämä kulkuaalto lyö sitten moottorin eristeestä läpi ajan myötä. Kulkuaallon jännitteen suuruus voi olla välipiirin  $U_{dc} \cdot 2$ . Pulssi lähtee kulkemaan kaapelia pitkin ja heijastuessaan takaisin kasvaa kaksinkertaiseksi (kuva 6.) /12/

$$U_{dc} = 2,34 \cdot 230V = 538U_{dc} \rightarrow 2 \cdot 538U_{dc} = 1076V. \quad (1)$$



**Kuva 6.** Heijastunut kulkuaalto moottorinkäämillä

Kaapelin pituudella on merkitys kulkuvaallon muodostumiseen sekä sen suuruuteen. Kuvassa 8 on tyypillisiä kaapelipituuksia ja niiden vaikutus kulkuvaalloon./12/

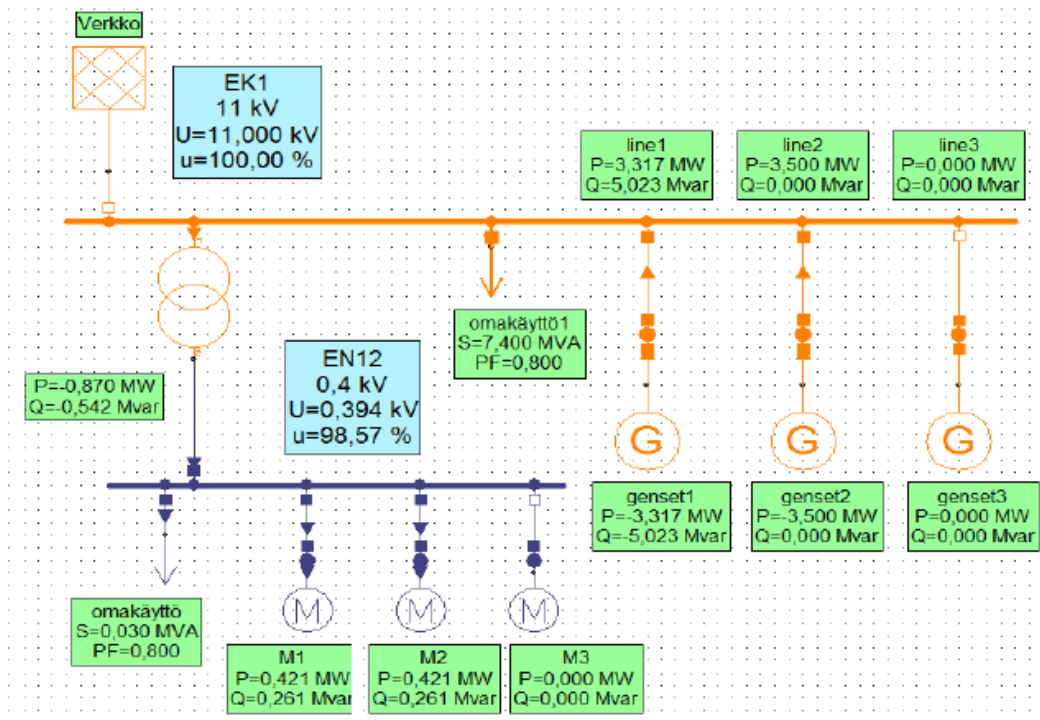


**Kuva 7.** Kaapelin pituuden vaikutus kulkuvaalloon

#### 4.4 Käynnistysvirrat / Jännitealenemat

Taajuusmuuttajakäytöllä ei esiinny suuremmin riskejä jännitealeneman suhteen. Taajuusmuuttajalla voidaan rajoittaa käynnistysvirtaa  $0.1x I_n - 2x I_n$  välillä (taajuusmuuttajan  $I_n$ ). Simulointi kytkentä suorallakäytöllä (kuva 8.) Simuloinnin parametrit moottorille suorallakäytöllä (kuva 9.) Suoralla käytöllä jännitealenema oli suurehko, simulointi laskelmat (kuva 10) tai (taulukko 1.) Kuvaajalta luettuna jännite laski käynnistyksessä noin 58V. Tämä on aika suuri pudotus jolloin vaara voi olla että saman muuntajan takana olevat releet ja kelat voivat päästää, kun pito jännite käy alle alarajojen ja näin syntyy tilanteita joihin ei ole varauduttu. Pahimmassa tapauksessa voi tulla jopa black out-tilanne.

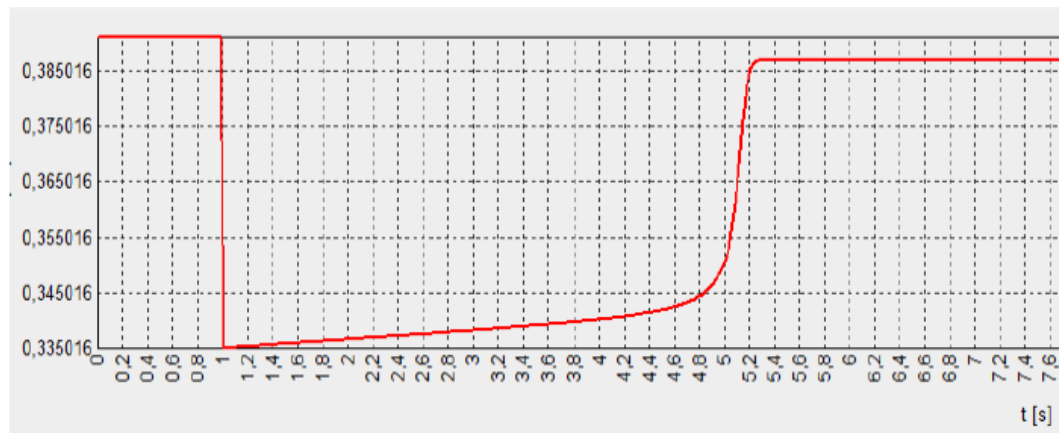




Kuva 8. Jännitteenalenema, simulointi suoralla käynnistyksellä

Parameters	
Name:	M2
Type:	
No of motors:	1
Ur .. kV:	0,4
Ir .. A:	893,7
Sr .. kVA:	619
Pr mech .. kW:	500
la / Ir:	6
Ma / Mr:	3
Mk / Mr:	3
Cosphi start:	0,3
Ext. R rotor .. Ohm:	0
<input type="checkbox"/> Input Ir	
r/min:	1455
Rated slip sr ... %:	3
Cosphi at Sr and sr:	0,85
Efficiency at Sr and sr:	0,95
Pole pairs of stator:	2
ANSI factor:	3
Rm ... Ohm:	0,03844
X/R:	0,5
<input type="checkbox"/> Converter fed drive	<input type="checkbox"/> Reversible
<input type="checkbox"/> Double fed ASM	
Units	<input type="radio"/> MW; kgm2 <input type="radio"/> HP; lbft2 <input checked="" type="radio"/> kW; kgm2
Calculate	
Rs/Rr:	1

Kuva 9. Simuloitavan moottorin parametrit



**Kuva 10.** Jännitteenalenema 400V kiskoilla

**Taulukko 1.** Simuloinnin tulokset

	impedanssi 6 %
Oikosulkuvirrat	79,4
jännite startissa	356,474
Jännitteen alenema startissa %	10,88
jännite startin jälkeen	393
jännite % startin jälkeen	98,2

## 5 TARKASTELTAVAN KOHTEEN ESITTELY

### 5.1 Koko järjestelmän kuvaus

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 etäohjauskaapelit. Kaasukompressorin säätö- ja oheislaitteiden sähköntehon tarve on 60 kVA:ria jokaista kaasukompressorin konttia kohden.

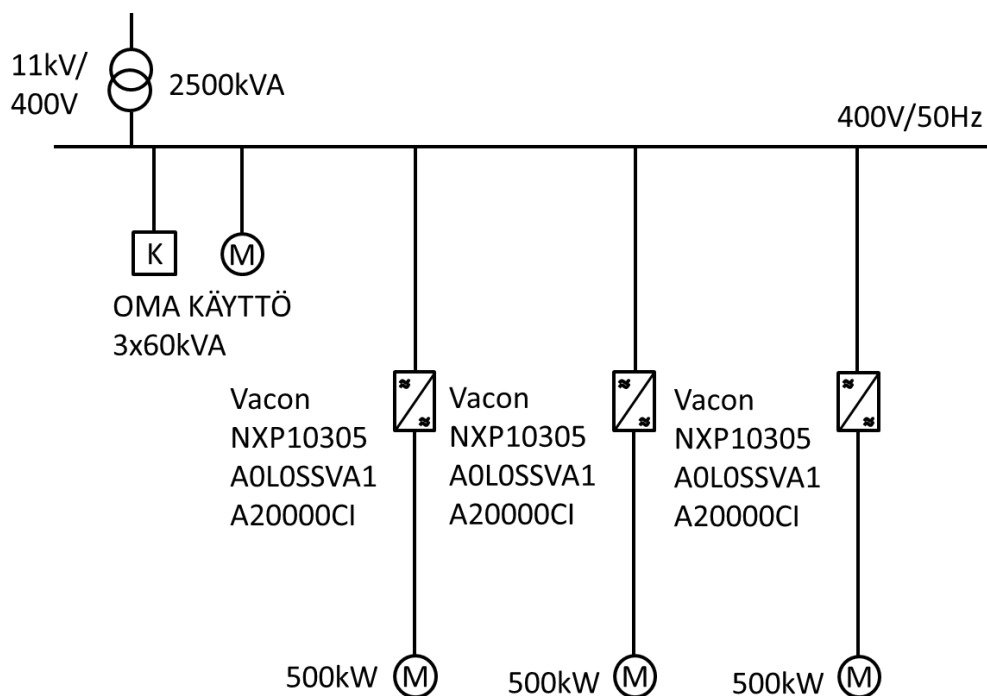
Kaasukompressorissa on käynnistyssekvenssi, jossa tarkistetaan tarvittavat ehdot, jotta kompressorin on turvallista käyttää. Sekvenssi toteutetaan plc-ohjauksen avulla. Sekvenssin alussa tarkistetaan kompressorin öljynpaine ja jäähdytyspumppun toiminta. Kun öljynpaine on saavuttanut tarvittavan painetason, aukaisee plc-ohjaus sisääntulevan kaasuventtiilin. Tämän jälkeen plc-ohjaus antaa käynnistyskäselyn, jolloin kompressorin moottori lähtee pyörimään. Kompressorin käydessä plc-ohjaus säätelee venttiilien avulla paineen halutulle alueelle.

Hallitussa kompressorin pysäytyksessä, joka voidaan toteuttaa plc-ohjauksella valvomosta tai paikallisella painonapilla kompressorin ohjausyksiköstä. 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 sammumisrajat joihin plc-ohjaus reagoi nopeasti, esimerkiksi liian suureksi kasvanut kaasun paine. 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 kosketin tieto. 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 sähkön pienjännitteeksi. Tästä jännite kulkee pienjännitekeskuksen kokoojakiskolle, joka jakaa sähkön kaasukompressorien sähkömoottoreille.



**Kuva 11.** Järjestelmän sähkönjakelun yleiskuva

## 5.2 Käyttö 3\*500kW

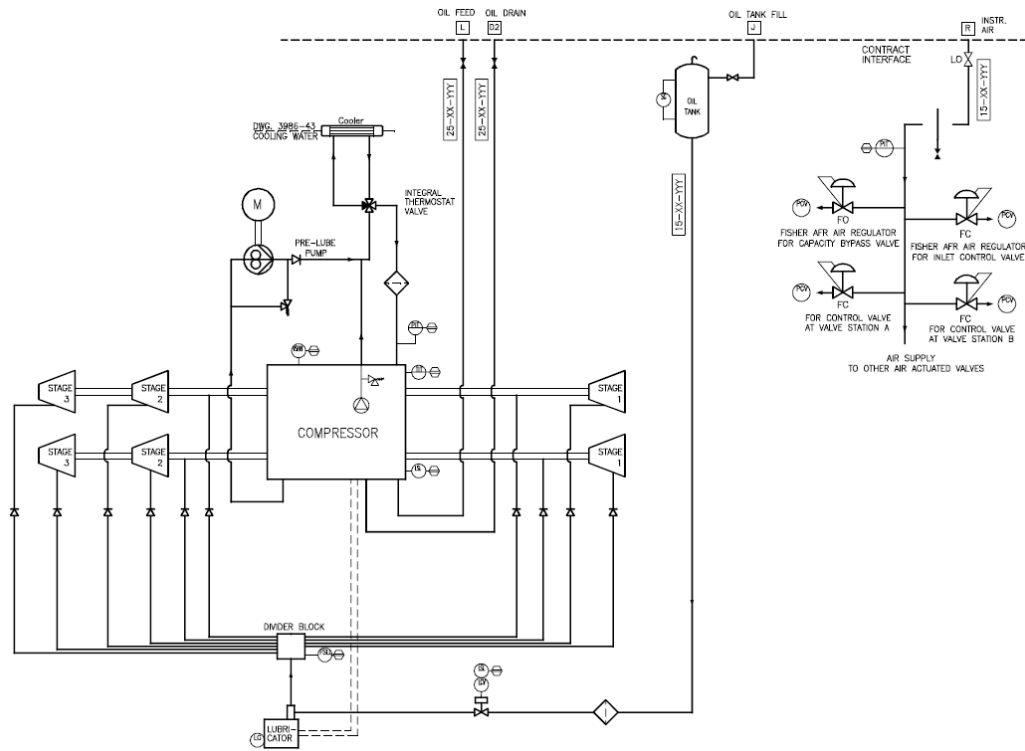
Projektissa kaasukompressorin ajaminen suoritetaan siten, että yksi kaasukompressorin ajetaan ylös nimelliselle pyörimisnopeudelle. Tämän jälkeen

käynnistetään toinen, joka jää tarvittaessa säädölle. Kolmas kompressori on varalla. On mahdollista, että kolmatta joudutaan joskus käyttämään kahden olemassa olevan rinnalla, mutta tämä on sitten jokin erikoistilanne, vika, huolto tai jotain muuta.

### **5.3 Yleinen kompressorin säätö**

Perinteisellä tavalla ajettaessa kompressori ajaa täydellä teholla ja säätö tehdään takaisinsyöttöperiaatteella, kierrättämällä ylijäämäkaasu takaisin kompressorin imupuolelle. Tällä tavalla moottorit ottavat koko ajan täyden sähkötehon verkosta.

Taajuusmuuttajalla voidaan takaisinsyöttö pitää kiinni ja säätöä voidaan suorittaa moottorin kierroksia pienentämällä taajuutta muuttamalla jolloin myös sähkötehoa saadaan pienennettyä ja energiaa säästettyä. Myöhemmin, kun kokemuksia on saatu kerättyä lisää käytössä, mahdollisesti voidaan jotain säätöventtiilejä jättää pois putkistoista, mikä lisää kustannustehokkuutta (kuva 12.)



Kuva 12. Kaasukompressoriasema

## **6 TEKNISTEN ASIOIDEN LÄPIKÄYNTI**

Työn oleellisin osa on valita parhaimmat mahdolliset komponentit konseptin kannalta. Tämän seikan valossa huomio pitää olla komponenttien saatavuudessa, yksinkertaisuudessa, kustannustehokkuudessa sekä luotettavuudessa.

### **6.1 Komponenttien valinnat**

Valinnoissa käytettiin apuna vanhoja ratkaisuja sekä simulointiohjelmiä, ja itse puhdasta teoreettista laskentaa. Lopullinen valinta pohjautuu tarjouskilpailuihin komponentteihin.

### **6.2 Hintatiedot**

Työssä on liite jossa on hinnat taajuusmuuttajalla ohjatusta ratkaisusta. Tämä liite ei ole julkinen.

### **6.3 Rakennuksen valinta pienjännitekeskukselle**

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

Rakennuksen valintaan vaikuttavat standardit, jotka määrittelevät rakennukseen aseteltavat sähkökojeet. Wärtsilä noudattaa IEC-standardeja, ja tarvittaessa projektin kohdemaan paikallisia standardeja. Järkevintä on hyödyntää Wärtsilän valmiita sähkötilarakennuksia kustannusten optimoinnissa./1/

### **6.4 Standardin mukaisia vaatimuksia rakennukselle**

Rakennukset on tehtävä paloturvallisiksi Suomen paloturvallisuusmääräysten mukaisesti. Palamattomissa rakennuselementeissä, 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. Standardina on käytetty Suomen SFS-standardia joka on monesti vaatimus tasoltaan varsin kattava riittämään muidenkin maiden sähköturvallisuus määräykset. Tietenkin on aina tarkistettava erikseen kulloisenkin kohdemaan määräykset erikseen./7/

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./7/

Kojeistohuoneissa kojeistotyyppi ja oikosulkuvirta määrittävät paineenpurkausakojen ja vaadittavan tilan mitoituksen. Ilmanvaihdossa huomioitavaa on niiden sijoittelu niin, että tarkastukset ja huollot voidaan suorittaa kojeiston ollessa käytössä./7/

## **6.5 Suojaus rakennuksen sisäpuolella**

Sähkötilojen sisäpuolella suojaus on mahdollisella suojauksella, koteloinnilla tai jännitteisten osien sijoittamisella kosketusetäisyyden ulkopuolelle. Suojausta käyttäessä kotelolla kotelointiluokan pitää olla vähintään IP2X tai muu mahdollinen. Tilan luonne ratkaisee tarvittavan vesisuojauksen (kotelointiluokkatunnuksen toinen numero). Ulkotiloissa koteloinnin tulee olla vähintään IP 23. Erityisiä suojaustoimenpiteitä voidaan myös tarvita valokaarivikojen aiheuttamien vaaratilanteiden takia./7/

Toiminta-alueet ja käytävät on mitoittava oikean kokoisiksi töiden suorittamisille, käytölle ja huollolle. Käytävän leveyden on oltava vähintään 0,8 metriä. Kulkukäytävä ei saa olla kapeampi silloinkaan kun asennettu laite työntyy ulos käytävälle, esimerkiksi erotusasennossa olevat katkaisija vaunut. Kulkuteiden leveyden



on kuitenkin oltava vähintään 0,5 metriä, myös silloin kun ulostyöntyvät osat tai auki olevat ovet tulevat. Suositellaan kojeiston kennojen ovien sulkeutuvan pois-päin kulkutien suuntaisesti. Koteloitujen asennuksien takapuolella olevien raken-tamiseen tai huoltamiseen tarkoitettujen käytävien leveydeksi riittää 0,5 metriä./7/

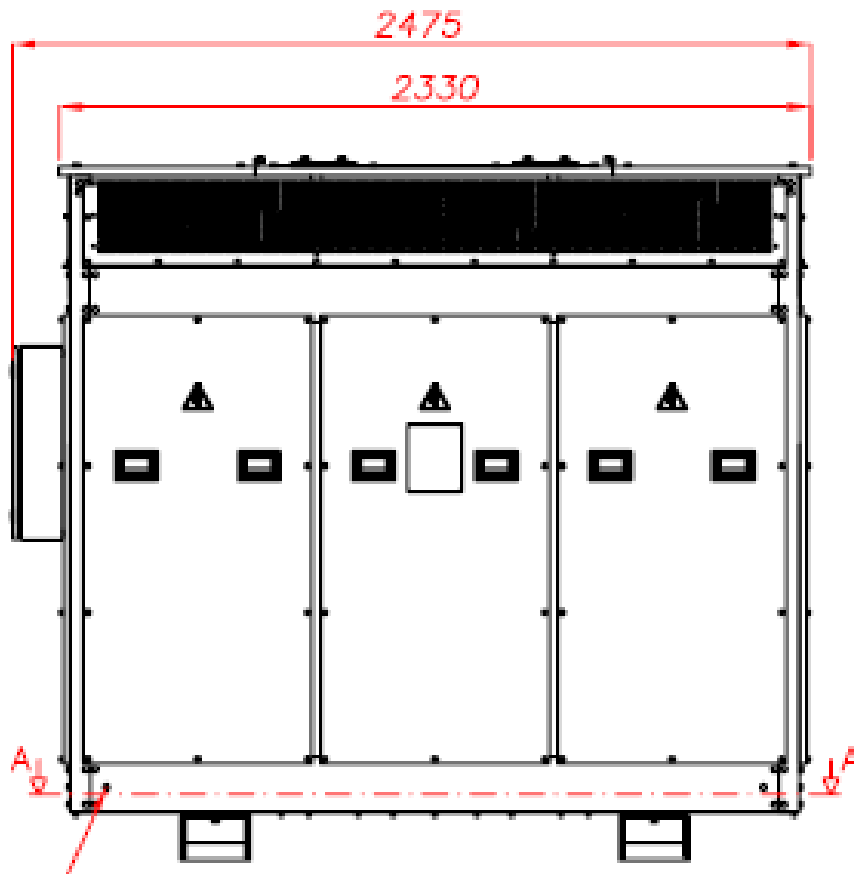
Lukuun ottamatta kaapelien sisäänvientien vähimmäiskorkeuden on oltava 2 met-riä koskien suojiin, koteloiden ja sisäkattojen alapuolta. Kulkureittien tulee järjes-tyä siten, että reitin pituus on alle 40 metriä suurimman käyttöjännitteen ollessa 52 kilovolttia ja 20 metrin käyttöjännitteen arvon ollessa maksimissaan 52 kilovolt-tia. Käsiksi päästäviin kaapeli- ja kiskotiloihin tätä vaatimusta ei sovelleta./7/

Yksi ovi riittää kulkureitiksi ulos ja ympäröiviin tiloihin, jos hoitokäytävän pituus on alle 10 metriä. Jos pituus taas ylittää tämän rajan, ovi tai muu poistumismah-dollisuus on oltava molemmissa päissä. Ulko-ovien tulee olla materiaaliltaan vai-keasti syttyvää ja paloa levittämättömiä paitsi, jos rakennusta ympäröi 2 metriä korkea ulkopuolinen aita. /7/

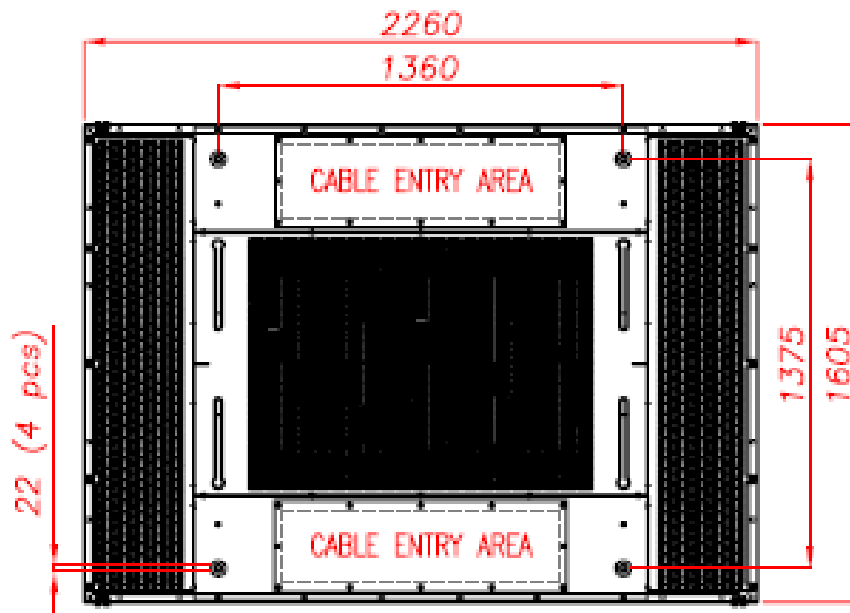
## **6.6 Muuntajan sijoitus rakennukseen**

Muuntajan sijoituksessa rakennuksessa huomioidaan aikaisemmin esitetyt stan-dardit. Rakennukseen oli varattu erillinen tila muuntajaa varten. Muuntajan sijoit-taminen rakennukseen helpottaa rakennuspuolen töitä, sillä näin säästytään yli-määräisiltä perustustöiltä. Muuntaja on IP-luokaltaan 23. Rakennuksen muuntaja-huoneeseen 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 laa-jennuksissa.

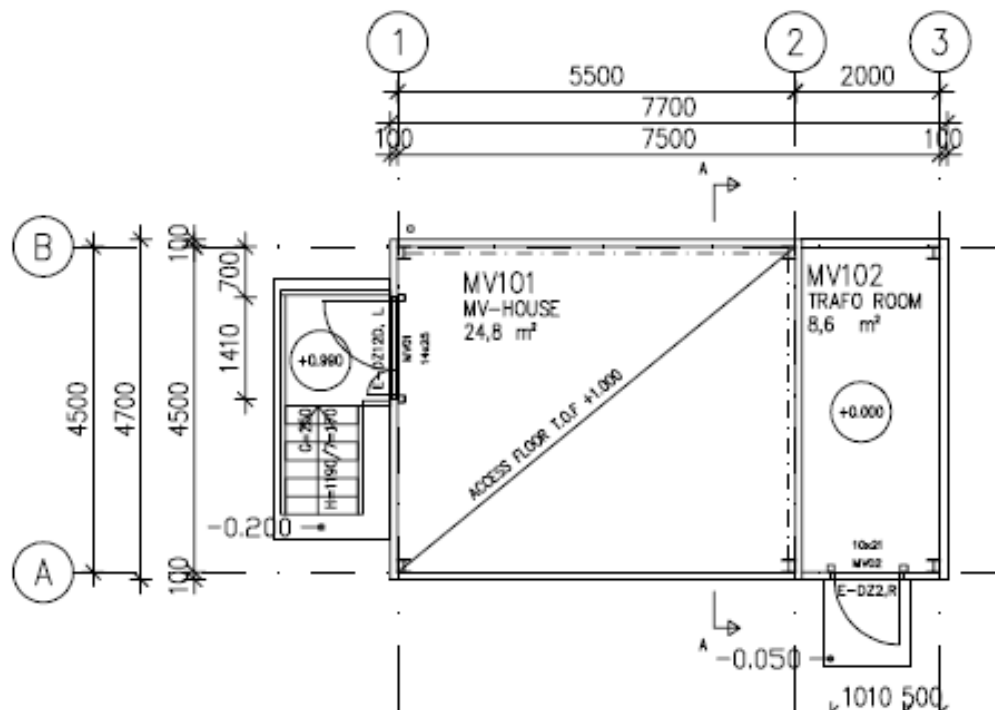
Muuntajan kaapelointi tuodaan rakennuksen lattian läpi, suoraan muuntajalle. Toisipuolelta lähtee syöttö pienjännitekojeistolle myös lattian alta. Kuvista 13-15 nähdään muuntajan koteloinnin mitat ja muuntaja huoneen mitat.



**Kuva 13.** Muuntajan ulkomitat edestä katsottuna



Kuva 14. Muuntajan koteloinnin mitat



Kuva 15. Muuntajahuoneen ja pienjännitekeskushuoneen mitat

Kuvasta 15 voitiin päätellä rakennuksen pinta-ala suureksi 36,2 m<sup>2</sup>. Tilavuudeksi saatiin 177 m<sup>3</sup>. Tilavuudesta pääteltiin jäähdytystarve suureksi, mutta päätettiin käyttää rakennusta sillä laajennusmahdollisuus on hyvä olla olemassa tämän kaltaisissa projekteissa.

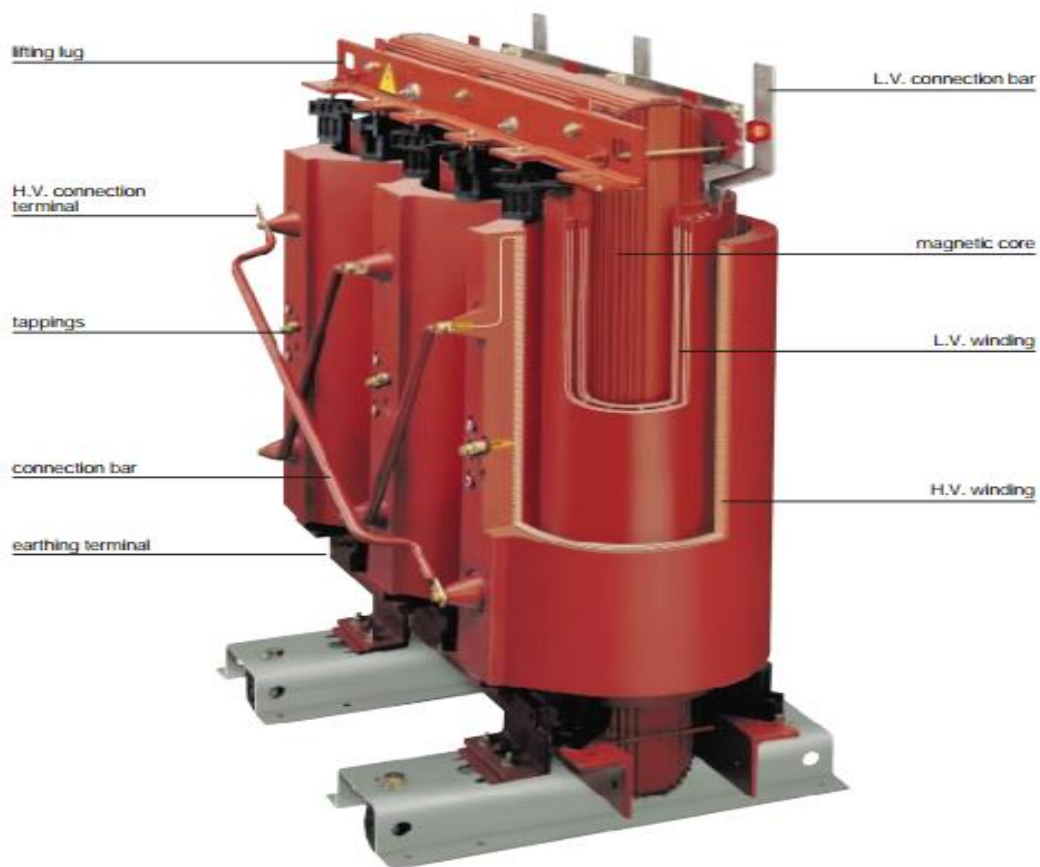
## 6.7 EX-Alue

Kompressori on EX-alueella, koska kompressorilla pumpataan kaasua. Alueen kokoon vaikuttaa moni tekijä mm. kaasun paine, kaasun laatu, ympäröivän tilan tuuletus. Joten tarkempi määrittäminen on tehtävä aina tapauskohtaisesti. Vacon taajuusmuuttajat voidaan varustaa ATEX hyväksytyllä termistori tulolla jolloin ei tarvita erillistä EX-barrieria termistorin ja taajuusmuuttajan väliin. Tämä säästää asennuskuluissa ja tekee järjestelmästä yksinkertaisemman kun komponentteja tulee vähemmän.

## 6.8 Muuntaja

Muuntaja on tarpeellinen komponentti sovittamaan kaksi eri jännitetasoa olevaa verkkoa yhteen. Tässä esimerkissä 11kV ja 400V. Muuntaja on varsin edullinen komponentti vaikka painoa on runsaasti. Muuntajan tärkeimpiä tehtäviä sähköverkossa on eri jänniteportaiden erottaminen toisistaan sekä oikosulkuvirtojen rajoittaminen. Tyypillinen kuivamuuntaja (kuva 16.) /5/

Kuivamuuntajassa rautasydän ja käämitykset ovat suoraan kosketuksissa ympäröivään ilmaan. Muuntajaa ympäröivä ilma lämpenee lämpöhäviöiden vaikutuksesta. Lämmin ilma kulkeutuu kevyesti ylöspäin synnyttäen muuntajan läheisyyteen ilmavirtauksen. Ilmavirtaus siirtää lämmön ympäristöön. Tätä ilmiötä voidaan kutsua luonnolliseksi ilmajäähdytykseksi. Jäähdytyskyky paranee kun kiihdytettyssä ilmajäähdytyksessä ilmavirtauksen nopeutta säädellään suuremmaksi puhaltimilla. Kuivamuuntajia pyritään hyödyntämään etenkin palo-, räjähdys-, ja saastumisvaarallisissa tilanteissa./3/



**Kuva 16.** Tyypillinen kuivamuuntaja ip00

### 6.8.1 Muuntajan valinta ja mitoitus taajuusmuuttajakäytölle

Tarkasteluissa pätee seuraavat asiat. Taajuusmuuttajan syöttö ottaa vain perusaaltona moottorin pätövirran, mutta tässä tarkastelussa lasketaan moottorin nimellisvirralla  $I_n=839\text{A}$ . Muuntajaksi valittiin kuivamuuntaja, koska muuntaja sijoitetaan suunnitelmassa sisätiloihin. Muuntaja sijoitetaan pienjännitekeskuksen kanssa samaan tilaan, jolloin säästetään rakennuskustannuksissa. Muuntajan valintaan vaikuttavia tekijöitä oli hinta, fyysinen koko, verkon syöttämä jännite, ja mitoituslaskelmista saadut tulokset. Konseptiin sovelletaan kuivamuuntajaa joka on kooltaan 2,5 MVA ja valmistaja on Wärtsilän käyttämä muuntajatoimittaja.

Muuntajan mitoittaminen aloitettiin tarkastelemalla kaasukompressorin sähkömoottorien ottamaa tehoa, huomioiden myös oheislaitteiden vaatiman tehon.

Muuntajanmitoituksessa ei tarvitse huomioida käynnistys, koska niiden vaikutus on varsin lyhytaikaista. Suureen muuntajaan tällä kuormitus huipulla ei ole vaikutusta lämpenemää tarkasteltaessa. Taajuusmuuttajakäytöllä muuntajan mitoituksessa pitää huomioida virran yliaaltopitoisuus. Yliaallot on otettu huomioon tarkastelussa seuraavalla yhtälöllä.

Taajuusmuuttajan virran yliaaltopitoisuus on simuloitu Vacon Harmonics-ohjelmalla ja tulokset on esitetty taulokossa 3.

$$a_1 = 0,04 \cdot \frac{S_n}{U} \rightarrow 0,04 \cdot \frac{2,5}{0,4} = 0,25 \quad (2)$$

$$\sum_{n=1}^{19} \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2 \quad (3)$$

$$\Rightarrow 1 + (595/2541)^2 + (113/2541)^2 + (0,2/2541)^2 + (97/2541)^2 + (66/2541)^2 + (0,1/2541)^2 + (23/2541)^2 + (26/2541)^2 = 1,059 \quad (4)$$

$$\frac{I_1}{I_N} \leq \sqrt{\frac{1 + a_1}{\sum_{n=1} \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2 + a_1 \sum_{n=1} n^q \cdot \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}} \quad (5)$$

q kerroin 1,7 pätee lankakäämimuuntajalle, foliokäämimuuntajalla kerroin on 1,5.

$$\sum_{n=1}^{19} n^q \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2 \quad (6)$$

$$\Rightarrow 1 + 5^{1,7} (595/2541)^2 + (113/2541)^2 + (0,2/2541)^2 + (97/2541)^2 + (66/2541)^2 + (0,1/2541)^2 + (23/2541)^2 + (26/2541)^2 = 1,849 \quad (7)$$

Sijoitetaan yhtälöiden 3 ja 4 tulokset kaavaan 5.

$$\frac{I_1}{I_n} \leq \sqrt{\frac{1 + 0,25}{1,059 + 0,25 \cdot 1,849}} = 0,89 \quad (8)$$

$$I_1 = 3 \cdot I_{pn} = 3 \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n \rightarrow 3 \cdot 839 \cdot 0,9 = 2265A \quad (9)$$

Oletetaan taajuusmuuttajan ottavan verkosta likimäärin virran perusaallon, joka on likimäärin moottorien ottaman virran pätökomponentti. Oletetaan moottorin  $\cos(\varphi)$  0,9 ja näin ollen hyötysuhteeksi saadaan 0,95.

Näillä oletusarvoilla laskettuna muuntajan vähimmäisnimellisvirraksi saadaan arvo 2650A.

$$\text{eli muuntajan } I_n \geq I_1/0,89 = 2359 / 0,89 = 2650\text{A} \quad (10)$$

Huomioimalla taajuusmuuttajien hyötysuhde ja kommutoinnin aiheuttama pieni vaihesiirto, saadaan perusaallolle likimain seuraava arvo:

$$I_1 = 2665\text{A} / 0,96 = 2359 \text{ A} \quad (11)$$

eli taajuusmuuttajaa kohti 786 A, koska taajuusmuuttajia on yhteensä 3.

$$S_n = \sqrt{3} * U_n * I_n = \sqrt{3} * 400\text{V} * 2650\text{A} + 3*60\text{kVa} = 2016 \text{ kVA} \quad (12)$$

Muuntajalta vaadittavaksi tehoksi tuli  $S_n = 2016 \text{ kVa}$ . Tässä tapauksessa muuntajaksi valittiin teholtaan 2,5 MVA, koska se oli lähin mitoitus vastaava muuntaja toimittajan listalla. Samalla saatiin myös laajennusvaraa, kun muuntaja ei ole ihan tiukalle mitoitettu. Muuntajan mitoituksessa valitaan aina lähin kokoluokka ylöspäin, ellei juuri sopivaa kokoa löydy.

Yleensä muuntajan tarkastelussa on myös tärkeitä huomioida muuntajassa syntyvä jännitteen alenema. Taajuusmuuttajakäynnistyksessä ei ole niin merkittävä asia, koska kompressorin käynnistys on hallittu ja sähköarvoja voidaan rajoittaa. Muuntajan kilpiarvoista saadaan kaikki tarvittava tieto, jotta voidaan laskea muuntajan jännitteen alenema. Valitun muuntajan kilpiarvot (taulukko 2.)

**Taulukko 2.** Muuntajan kilpiarvo tiedot

11000/400V	Nimellisjännitteet
$S_n=2500$ kVA	Nimellisteho
$P_0=4,0$ kW	Tyhjäkäyntihäviöt
$P_k=17,5$ kW	Kuormitushäviöt
$Z_k=6\%$	Oikosulkuimpedanssi

Tämän pohjalta saatiin laskettua muuntajan käämin suhteellinen oikosulkuresistanssi kaavalla:

$$r_k = 100 \cdot P_k / S_n \Rightarrow 100 \cdot (17,4 \text{ kW} / 2500 \text{ kVA}) = 0,7 \% \quad (13)$$

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

$$x_k = \sqrt{(Z_k)^2 - (r_k)^2} \Rightarrow \sqrt{(6\%)^2 - (0,7\%)^2} = 5,96 \% \quad (14)$$

Muuntajan suhteellinen resistanssi laskettuna kun tiedettiin  $r_k$ .

$$R_k = r_k \cdot (U^2 / S_n) \Rightarrow 0,7\% \cdot ((400 \text{ V})^2 / 2500 \text{ kVA}) = 0,448 \text{ m}\Omega \quad (15)$$

Muuntajan suhteellinen reaktanssi laskettuna.

$$X_k = x_k \cdot (U^2 / S_n) \Rightarrow 5,96\% \cdot ((400 \text{ V})^2 / 2500 \text{ kVA}) = 3,81 \text{ m}\Omega \quad (16)$$

Seuraavaksi lasketaan muuntajan virta, kun kaksi kompressoria käy nimellisvirralla ja yksi käynnistyy 1,5 In suuruisella virralla lisäksi omakäyttökuorma  $3 \cdot 60$  kVA. Laskuissa käytetty oletuksena vain pätövirran suuruinen perusaalto. Laskelmissa käytetty seuraavia arvoja  $\cos(\varphi) = 0,98$  sekä  $\sin(\varphi) = 0,2$ . Taajuusmuut-



tajan verkkovirran perusaaltona käytetään edellä olevien tarkastelujen pohjalta  $I_{\text{tamu}}=786\text{A}$ .

$$\text{Virta } I = (3,5 * 786\text{A}) + (3 * 60\text{kVa})/\sqrt{3}/400\text{V} = 3010\text{A} \quad (17)$$

$$\Delta U = I * R_k * \cos \varphi + I * X_k * \sin \varphi$$

$$\Rightarrow 3010\text{A} * 0,000448\Omega * 0,98 + 3010\text{A} * 0,00381\Omega * 0,2 = 3,6\text{V} \quad (18)$$

$$\Delta U/U_v \rightarrow 3,6/230 * 100 = 1,6\% \quad (19)$$

Suhteellinen jännitteen alenema % taajuusmuuttajakäytöllä.

Vastaavasti tarkasteltaessa tilannetta suoralla käynnistyksellä, saadaan:

$$\text{Virta} = (6 * 839\text{A}) + (2 * +839) + (3 * 60\text{kVa})/\sqrt{3}/400\text{V} = 6712\text{A} \quad (20)$$

Lasketaan vaikutukset jännitteen alenemaan erikseen, huomioimalla käyvät moottorit ja käynnistyvämoottori siihen lisäksi. Näin jännitteen alenema on pyritty laskemaan mahdollisimman todenmukaisesti. Laskuissa on käytetty seuraavia arvoja moottorin  $I=I_n=839\text{A}$  ja  $\cos(\varphi)=0,9$  ja  $\sin(\varphi)=0,44$  käyville moottoreille. Käynnistyvälle moottorille  $I=6*839\text{A}$  ja  $\cos(\varphi)=0,3$  ja  $\sin(\varphi)=0,95$ .

Käyvät moottorit

$$\Delta U_1 = 2 * I_n * R_k * \cos \varphi + 2 * I_n * X_k * \sin \varphi \quad (21)$$

$$\Rightarrow 1678\text{A} * 0,000448\Omega * 0,90 + 1678\text{A} * 0,00381\Omega * 0,44 = 3,4\text{V} \quad (22)$$

Käynnistyvä moottori

$$\Delta U_2 = 6 * I * R_k * \cos \varphi + 6 * I * X_k * \sin \varphi \quad (23)$$

$$\Rightarrow 5034\text{A} * 0,000448\Omega * 0,30 + 5034\text{A} * 0,00381\Omega * 0,95 = 18,9\text{V} \quad (24)$$

Molemmat yhteensä

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 = 3,4V + 18,9V = 22,3V \quad (25)$$

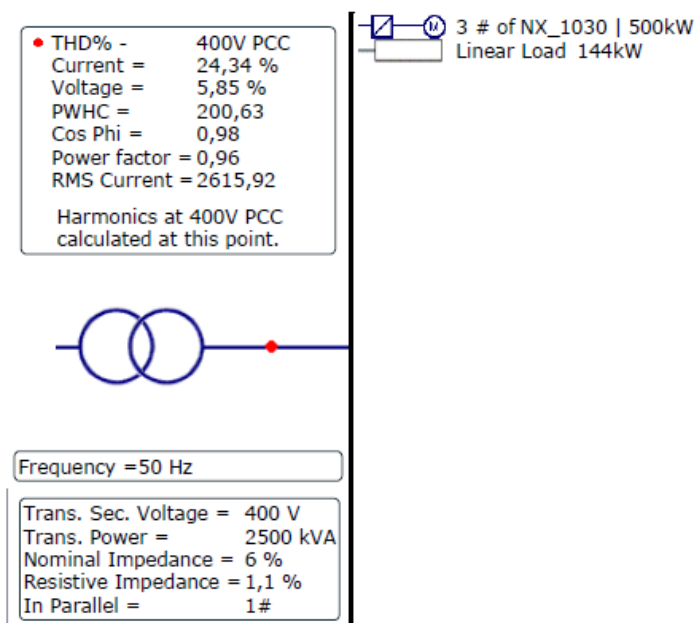
Pahimmillaan jännitealenema voi olla 22,3V luokkaa, joka jakaantuu kaavoissa 22 ja 24 esitetyillä arvoilla.

Suhteellinen jännitteen alenema % suoralla käytöllä.

$$\Delta U / U_v \rightarrow 22,3V / 230V * 100 = 9,6 \% \quad (26)$$

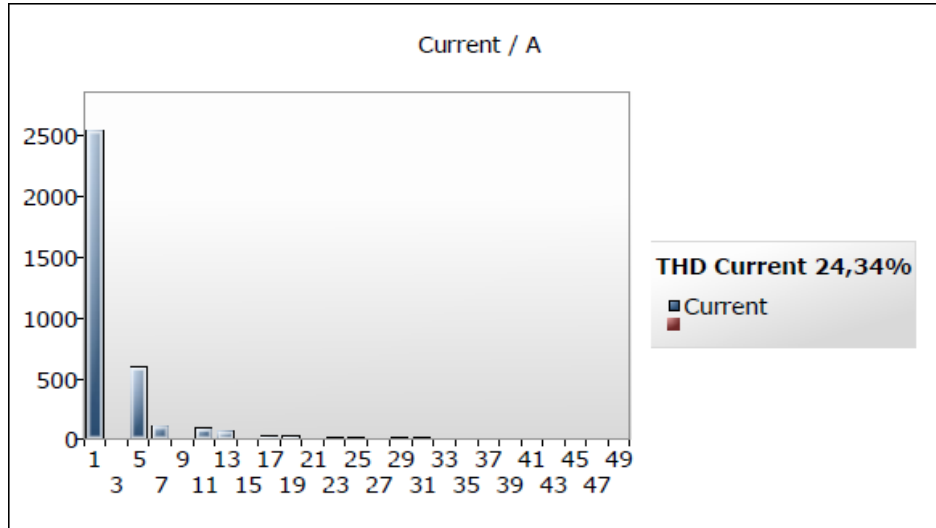
Vertailutuloksista tuli selvästi esille taajuusmuuttajan ja suoran käynnistyksen ero jännitealenemassa. Koska käynnistysvirtaa voidaan rajoittaa taajuusmuuttajakäytöllä  $1,5 \times 839A = 1259A$  ja suorallakäytöllä virtaa tarvitaan noin  $6 \times 839A = 5034$ .

Muuntajan jännitteitä laskettaessa jännitteiden itseisarvojen erotus eli muuntajassa muodostuva jännitteen alenema on yksi tärkeimmistä huomioitavista asiasta. 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. Taajuusmuuttajakäytössä on tarkasteltava myös harmonisia yliaaltoja. Suuret yksittäiset käytöt aiheuttavat ylimääräisiä rasituksia muuntajalle. Näitä harmonisia yliaaltoja on mahdollista myös mitata verkkoanalysointilaitteilla jos on tarvetta epäillä verkon oudon käyttäytymisen johtuvan siitä, että muuntaja olisi ajan saatossa jäänyt pieneksi kun taajuusmuuttajakuormaa on kasvatettu.

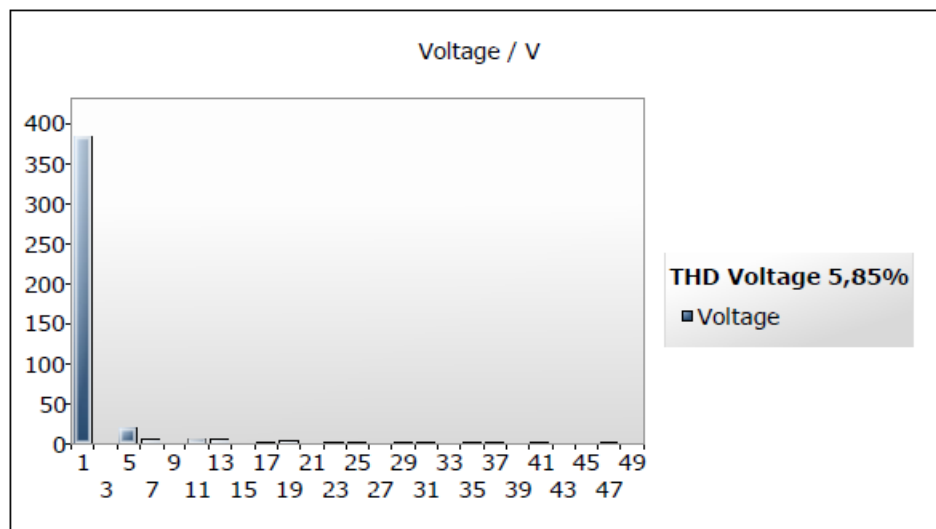


**Kuva 17.** Lähtötiedot harmonics simulointiin

Kuvassa 18 ja 19 on esitetty simuloinnilla saadut tulokset, aiemmin muuntajan mitoituksessa esillä olleiden taajuusmuuttajakäyttöjen yliaaltovirrat ja yliaaltojännitteet.



**Kuva 18.** Virran THD %



**Kuva 19.** Jännitteen THD %

**Taulukko 3.** Vacon harmonics simulaattorin tulokset

Harmonic	Frequency	Current / A	Phase / Degrees	Voltage / V
1	50	2541,7	10,6	383,1
3	150	0,3	55,7	0,0
5	250	595,0	117,3	19,8
7	350	113,7	137,5	5,3
9	450	0,2	47,8	0,0
11	550	97,0	132,1	7,1
13	650	66,6	127,5	5,8
15	750	0,1	112,8	0,0
17	850	23,1	59,6	2,6
19	950	26,2	29,4	3,3
21	1050	0,1	134,1	0,0
23	1150	16,5	6,3	2,5
25	1250	10,4	29,4	1,7
27	1350	0,2	165,0	0,0
29	1450	11,6	83,8	2,2
31	1550	9,2	96,9	1,9
33	1650	0,2	74,1	0,0
35	1750	5,8	160,7	1,3
37	1850	6,2	174,9	1,5
39	1950	0,1	1,0	0,0
41	2050	4,4	141,0	1,2
43	2150	3,5	107,6	1,0
45	2250	0,1	16,3	0,0
47	2350	3,7	58,1	1,2
49	2450	3,1	41,4	1,0

(Kuva 17) Sisältää simulointi esityksen kytkennästä ja (taulukko 3) sisältää simulointi tuloksen numeroina. Tulokset ovat oletetun kaltaisia 6-pulssi taajuusmuuttajalla. Ohjelmana oli käytössä Vacon Harmonics simulator 4.0 versio.

## 6.9 LV-keskus

Taajuusmuuttajan pienjännitekeskus tarjous otettiin VEO:lta. Keskus on mallia VEDA5000, joka soveltuu erikoisen hyvin Vacon taajuusmuuttajan kanssa. VEDA5000 on avaimet käteen ratkaisulla toteutettu taajuusmuuttajakeskus, jota on saatavilla ip21, ip31 tai ip54 kotelointiluokalla, sisältäen kaikki tarvittavat komponentit ja suunnittelun sekä dokumentoinnin.

## 6.10 Taajuusmuuttaja

Vacon taajuusmuuttaja on tyypillinen PWM-taajuusmuuttaja, jonka jännite alue alkaa 230Vac-690Vac asti, pienimpien mallien ollessa 250W ja suurimmat neste- jäähdytteiset laitteet ovat 5.5MW. Vacon valmistaa teollisuuskäyttöön soveltuvia tuotteita NXS ja NXP sarjaa Vaasassa niin neste- kuin ilmajäähdytteisenä. Vaconilla on myös yksi tuotesarja valmiiksi kaapitetulla ja kustannustehokkaalla standardi ratkaisulla jossa on kuitenkin valittavana kattava valikoima tyypillisiä lisäoptioita. Tämä NXC-sarja olisi muuten sopinut hyvin käytettäväksi tähän kohteeseen, koska keskusohjaksi oli valittu VEDA5000 niin Vacon-taajuusmuuttajaksi valittiin ip00 luokan Vacon NXP-laite.



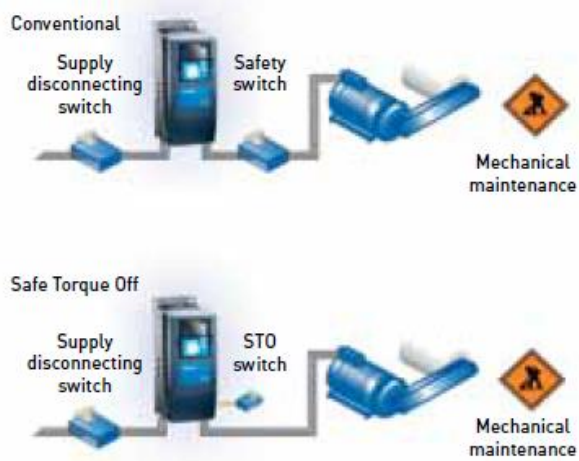
**Kuva 20.** Vacon NXP ip00-moduuli

Vacon NXP-sarjan taajuusmuuttaja oli sopivin ratkaisu tähän tilanteeseen, koska kohdemoottori oli EX-alueella ja Vacon NXP-sarjan taajuusmuuttajan saa varusteltua helposti OPT-AF-lisäkortilla jolloin taajuusmuuttajaan tulee mukaan ATEX hyväksytty termistori tulo. (Kuva 21) havainnollistaa hyvin kuinka säästöjä syntyy muutaman komponentin jäätyä pois.



**Kuva 21.** OPT-AF-kortin ATEX-termistori tulo

Samalla kortilla on myös SIL2 hyväksytty STO-toiminto tai SS1-toiminto. Tämä säästää kustannuksissa, varsinkin isoissa käytöissä joissa turvakytkin on suurikokoinen (kuva 22.)



**Kuva 22.** OPT-AF kortin turva toiminto



Tähän kohteeseen valittu Vacon malli oli NXP 1030 5 A 0 N 0 SSN  
A1AF0000CI.

NXC 0520 5 A 2 L 0 S S F A1 A2 00 00 00 + IFD											
<b>NXC</b>	Product Range	NXP = wall-mounted / standalone / module NXC = cabinet									
<b>0520</b>	Nominal current voltage	0520 = 520 A									
<b>5</b>	Nominal mains voltage	2 = 208-240 V 5 = 380-500 V 6 = 525-690 V									
<b>A</b>	Control keypad	A = standard alphanumeric B = no local keypad F = dummy keypad G = graphic display									
<b>2</b>	Enclosure class	5 = IP 54, FR4-10; NXC FR9-FR14; AF9-14 2 = IP 21, FR4-11; NXC FR9-FR14; AF9-14 0 = IP 00, NXP FR10-14									
<b>L</b>	EMC emission levels	C = category C1, EN 61800-3 H = category C2, EN 61800-3 L = category C3, EN 61800-3 T = for IT networks N = enclosure required (FR10-FR14)									
<b>0</b>	Brake chopper	0 = no brake chopper 1 = integrated brake chopper									
<b>S</b>	Supply	S = 6-pulse T = 12-pulse 0 = 6-pulse + load switch (standalone) R = Low-harmonic									
<b>S</b>	Cooling	S = standard air-cooled T = through-hole mounting FR4-FR9									
<b>F</b>	Control	S = standard FR4-FR8 F = standard FR9 and NXC A = standard NXP FR10-FR12 N = standard IP00 FR10 & NXC with IP54 control unit enclosure V = as S, but varnished G = as F, but varnished boards O = as N, but varnished boards B = as A, but varnished boards									
<b>A1</b>	Option boards; each slot is represented by two characters: Ax = basic I/O boards, Bx = expander I/O boards Cx = fieldbus boards, Dx = special boards										
<b>A2</b>											
<b>00</b>											
<b>00</b>											
<b>00</b>											
<b>+</b>											
<b>IFD</b>	NXC options, see tables p. 22										

Kuva 23. Vacon-lajimerkkiavain

Tähän malliin päädyttiin, koska moottori oli 500kW ja käyttökompressori. Kompressorit luokitellaan yleensä raskaaksikäyttöksi jolloin tämän kyseisen taajuusmuuttajan on oltava 500kW raskaankäytön mukaisella mitoituksella. Vacon taajuusmuuttaja sopeutuu 380-500Vac-syöttöverkkoon ja syöttötaajuuskin voi olla 50/60 Hz. NXP-mallissa on myös paljon monipuolisemmat ohjelmistot sekä laajempi tuki eri lisäkortteihin, myös laskentateho laitteen ohjainkortilla on moninkertainen verrattuna kevyempään NXS-malliin. Tarkemmat tiedot laitteesta löytyvät liitteestä 6.

Taajuusmuuttajan ohjaus tapahtuu kenttäväylän kautta ja tyyppillinen protokolla on Modbus TCP. Nykyään industrial ethernet-verkot ovat yleistymässä nopeaa tahtia varsinkin uusilla teollisuuden alueilla. Ethernet pohjaisten verkkojen hyötynä voidaan pitää kustannus tehokasta verkonrakennusta sekä suurta väylä nopeutta. Perinteinen teollisuus luottaa vielä vanhaan tuttuun profibus-väylään.

Taajuusmuuttajan käyttö tässä kohteessa tuo säästöä ja säädettävyyttä pitkällä aikavälillä. Myöhemmin voi olla mahdollista jopa karsia joitakin komponentteja pois koko laitoksesta, koska taajuusmuuttaja itsessään sisältää vastaavat toiminnot tai sitten jotkin venttiileistä jäävät tarpeettomiksi.

Taajuusmuuttajissa on hyvät ja monipuoliset suojaustoiminnot niin taajuusmuuttajaa itseään varten kuin moottoria varten sekä tietenkin itse prosessia varten. Vacon-taajuusmuuttajaan on ladattavissa lukuisia sovelluksia joista löytyy varmasti sopiva kohteeseen kuin kohteeseen. /14/

## **6.11 Moottori**

Moottori tarjous otettiin VEM Motors Finlandilta, joka on Vaconin suurin jakelija Suomessa. VEM ja Vaconin yhteistyöllä on pitkät juuret ja matkan varrella monia VEM-moottoreita ja Vacon-taajuusmuuttaja paketteja onkin tutkittu ja testattu yhteistyönä, vaikka tämä moottori ei ole VEM valmistama, mutta on VEM partneri verkoston kautta saatavilla. Moottorin valmistaja on Cantoni group. Moottorin

tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 3 ja 4. Moottorin kilpiarvotiedot ovat: Teho = 500kW, virta = 839/487A, jännite = 400/690V, rpm = 993, taajuus = 50Hz ja momentti = 4808Nm ja  $\cos\varphi = 0,9$ .



Kuvio 24. Sähkömoottori VEM.

## 6.12 Kaapelit

Kaapelien mitoitukseen liittyy useita standardeja mitkä huomioidaan kaapeleita valittaessa. Asennusolosuhteet tulee huomioida kaapeleita valittaessa, mihin asennetaan ja kuinka asennetaan. Tässä projektissa etäisyydet eivät muodostu ongelmaksi, koska etäisyydet ovat lyhyitä jolloin kaapelien jännitehäviöt ovat vähäisiä. Projektissa mitoitetaan kaapelit keskijännitekatkaisijalta muuntajalle ja muuntajalta pienjännitekeskukselle ja pienjännitekeskukselta kaasukompressorin sähkömoottorille.

Kaapelit valitaan ja sijoitetaan niin, että kaapelien suurin sallittu lämpötilan nousu ei ylitä, johdineristyksissä, laitteiden liittämässä liitoksissa ja normaalikäytössä eikä asiakkaan kesken sovituissa käyttöolosuhteissa eikä oikosulussa./7/

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 kaapelien liitoksia ja päätteitä. Taipuviin kaapeleihin ei saa syntyä puristusta eikä kiristystä. Kaapelivaipat suojataan niin ettei niihin kohdistu kiertymistä ja kaapelienvaipat päätetään siten etteivät kaapelit pääse purkautumaan./7/

### 6.12.1 Kaapelin valinta keskijännitekatkaisijan ja muuntajan välille

Kaapeli mitoitettiin sähköisen mitoituksen mukaan. Keskijännitekatkaisija on 11 kilovolttia ja toisiojännite on 400 volttia ja virta on 4000 ampeeria. Laskettiin alla olevan kaavan mukaan:

$$I = S/\sqrt{3} * U_1 \Rightarrow 2500 \text{ kVA}/\sqrt{3} * 11 \text{ kV} = 131 \text{ A} \quad (27)$$

Esimerkissä käytetty korjauskerrointa 0,85 -> minimi vaatimus maassa 30°C on noin 154 A , jolloin valitsin D-asennustavan ja päädyin alla esitettyyn ratkaisuun.

Tulokseksi saatiin 131 ampeeria. Valittiin asennustapa D eli yksi- tai monijohdin-kaapeli maassa. Sitten valittiin taulukosta lähin laskettua virtaa vastaava arvo ylöspäin, joka oli 160 ampeeria. Seuraavaksi edettiin valitsemalla kaapelin poikkipinta-ala, joka on tässä tapauksessa 50 mm<sup>2</sup> , kaapeli esimerkki AHXMK-W3x50Al+35Cu20k. Lopullisen kaapeli määrityksen tekee paikallinen saatavuus ja muissa vastaavissa käytössä oleva kaapeli tyyppi.

**Taulukko 4.** SFS 6000-standardin johtojen kuormitus

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

(Taulukko 4.) SFS 6000-standardin kuormitettavuudet ampeereina eri asennustavoille. Tämän jälkeen laskettiin kaapeleiden määrä metreissä. Etäisyys oli 150 metriä.

## Taulukko 5. Kaapelien kuormitettavuus taulukko

**Taulukko B.52.2 Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla A, B, C ja D. PVC-eristeiset kupari- tai alumiinijohtimet, yleensä kolme kuormitettua johdinta, pienillä poikkipinnoilla myös kaksi kuormitettua johdinta. Johtimen lämpötila: 70 °C. Ympäristön lämpötila: 25 °C ilmassa, 15 °C maassa**

Johtimen nimellinen poikkipinta mm <sup>2</sup>	Taulukon B.52.1 mukainen referenssiasennustapa						
	A		B		C		D
	kolme kuormitet- tua johdinta	kaksi kuormitet- tua johdinta	kolme kuormitet- tua johdinta	kaksi kuormitet- tua johdinta	kolme kuormitettua johdinta	kaksi kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Kupari</b>							
1,5	14	15	16	17,5	18,5	20	26
2,5	19	20	21	24	25	29	35
4	24	27	29	32	34	38	46
6	31	34	36	40	43	49	57
10	41	46	49	55	60	67	77
16	55	60	66	73	80	90	100
25	72	79	85	95	102	119	130
35	88	97	105	118	126	146	160
50	105		125		153		190
70	133		158		195		240
95	159		190		236		285
120	182		218		274		325
150	208		–		317		370
185	236		–		361		420
240	278		–		427		480
300	316		–		492		550
<b>Alumiini</b>							
16	43		51		62		78
25	56		66		77		100
35	69		82		95		125
50	83		97		117		150
70	104		123		148		185
95	125		147		180		220
120	143		170		209		255
150	164		–		240		280

## Taulukko 6. Korjauskertoimet ympäröivän maan mukaan

Taulukko B.52.15 Korjauskertoimet ympäröivän maan muulle lämpötilalle kuin 15 °C

Maan lämpötila °C	Korjauskerron johtimen eristeen mukaan	
	PVC	PEX ja EPR
0	1,13	1,10
5	1,09	1,06
10	1,05	1,03
15	1,00	1,00
20	0,95	0,96
25	0,90	0,93
30	0,85	0,89

Taulukko B.52.16 Korjauskertoimet ympäröivän maan muulle lämpöresistiivisyydelle kuin 1,0 K·m/W


Lämpöresistiivisyys, K·m/W	0,7	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
Korjauskerron	1,1	1,0	0,92	0,85	0,75	0,69	0,63

## Taulukko 7. Korjauskertoimet rinnakkaisille asennuksille

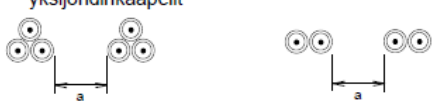
Taulukko B.52.18 Korjauskertoimet useammalle kuin yhdelle monijohdinkaapelille tai yksijohdinkaapelien ryhmälle, kaapelit on asennettu suoraan maahan – (Taulukoiden B.52.2 – B.52.3 mukainen asennustapa D, yksi- tai monijohdinkaapelit)

Kaapelien välinen etäisyys a mm	Vierekkäisten kolmijohdinkaapelien tai vierekkäisten yksijohdinkaapeliryhmien lukumäärä						
	2	3	4	5	6	8	10
0	0,79	0,69	0,63	0,58	0,55	0,50	0,46
70	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53
250	0,87	0,79	0,75	0,72	0,69	0,66	0,64

\* Monijohdinkaapelit



\* yksijohdinkaapelit



### 6.12.2 Kaapelin asennus maahan

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 asennussy-

vyys on 0,7 metriä. Keskiännitekaapelilla  $U_m < 52$  kilovoltia suositellaan käytettäväksi metallivaipattoman pienjännitekaapelin suojauksessa käytettäviä standardeja. Suurempijännitteisten kaapelien mekaaninen suojaus tulee harkita erikseen. Terävät kivet, jotka voivat vahingoittaa kaapelia, tulee poistaa kaapeliojasta, mikäli kaapeli sijoitetaan maahan. /7/

### 6.12.3 Muuntajan ja pienjännitekeskuksen välinen kaapelointi

Muuntajalta kaapelointi pienjännitekeskukselle toteutetaan valitun rakennuksen korotetun lattian alta. Kaapeloinnin voisi myös viedä yläteitse pienjännitekiskolle, jolloin kaapelin metrimäärä vähenisi ja kaapelille tulisi vähemmän taivutuksia. Kolmas vaihtoehto olisi kiskon käyttäminen, joka asennettaisiin myös yläteitse pienjännitekeskukseen. Mutta kiskon käyttöä pitää harkita projektikohtaisesti, sillä kuparikisko on kallista materiaalia.

Muuntajan kaapelien valinnassa kaapelien mitoitus tehtiin muuntajan toisiovirran perusteella joka oli 3608 ampeeria. Järkevän kokoinen kaapeliasennuksen ja tilan kannalta on poikkipinnaltaan 185-300 mm<sup>2</sup>. Tässä tapauksessa kaapeleita tarvitaan useampia jotta saavutetaan tarvittava virrankestoisuus. Syöttökaapelina voidaan käyttää samaa kuin moottori puolellakin jolloin saamme seuraavat vaihtoehdot, MCMK tai vastaava kuparilla  $4 * (3 * 185\text{mm}^2 + 95\text{mm}^2)$  tai alumiinilla  $4 * (3 * 300\text{mm}^2 \text{ Al} + 88\text{mm}^2 \text{ Cu})$  tämä mitoitus perustuu seuraaviin valintoihin. Korjauskerroin on ollut 0,7 jossa on huomioitu seuraavat seikat. Kaapelit vedetään kaapelitikkaille rinnakkain, kolme tikasta päällekkäin. Ympäristön lämpötila on 30°C.

### 6.12.4 Keskuksen ja taajuusmuuttajan väli

VEDA5000-keskuksessa on sisäänrakennettu varsin erinomainen kuilu kiskoja varten. Tuohon kuiluun mahtuu niin AC-kuin DC-kiskotkin kulkemaan määräysten mukaan. Keskuksen sisällä jokaiselle taajuusmuuttajalle virta siirtyy kokoajakiskoa pitkin.



Koska keskus on avaimet käteen periaatteella, VEO suunnittelee keskuksen kulloistakin tarvetta varten ja tekee mitoitus tarpeen mukaan. Jos virrat kasvavat suuriksi ja keskuksat kasvavat suureksi niin silloin kannattaa jakaa syöttö kahteen osaan ja syöttää esim. keskuksien päistä, niin kuparin määrä putoaa puoleen. Sama efekti saadaan aikaiseksi jos syöttö laitetaan keskelle ja lähdetään siitä sitten kahteen suuntaan. Keskuksessa käytetään tinattua kuparia siten, että neliömillimetrit tulevat täyteen. Keskuksen pääkiskosto sijaitsee omassa tilassaan johon haettu tietyt hyväksynät vakio portain (500A), jolloin jokainen räätälöity ratkaisu on kuitenkin luokiteltu ja hyväksytty.

### **6.12.5 Taajuusmuuttajan ja moottorin väli**

Taajuusmuuttaja kaapeloidaan valmistajan suositusten mukaan. MCMK tai vastaava, mikä tarkoittaa tässä tapauksessa kuparilla  $4 * (3 * 185\text{mm}^2 + 95\text{mm}^2)$  tai alumiinilla  $4 * (3 * 300\text{mm}^2 + 88\text{mm}^2$  kupari). On myös hyvä huomata, että maadoitus on tehtävä aina kuparilla. Valmistajan suosituksissa on käytetty 0,7 korjauskerrointa sekä oletuksena kaapelihyllyasennus jossa kaapelit ovat vierekkäin ja hyllyjä on päällekkäin, ympäristön lämpötilan ollessa  $+30^{\circ}\text{C}$ . Kuvaavat aika normaalia teollisuus ympäristöä, mutta aina kannattaa tarkistaa mikä on todellinen tilanne, koska varsinkin suurilla taajuusmuuttajilla ylimääräinen kaapelin käyttö maksaa paljon. Tuossa on helposti havaittavissa kuparin ja alumiinin ero. Taajuusmuuttajan ja moottorin välille tarvitaan turvalaite, joka tässä tapauksessa on turvakytin.

### **6.13 Suojaus**

Wärtsilän suojaus ohjeistuksen mukaisesti. Projektissa suojataan keskijännitekatkaisijan ja muuntajan väli relesuojauksella jossa käytetään suojaukseen Vamp 50-tyyppistä suojarelettä. Suojarele asennetaan keskijännitekatkaisijan toisiokojetilaan niin että näyttöä on mahdollista katsoa myös keskijännitekojeistossa. Suojarelettä luetaan väylää pitkin voimalaitoksen valvomoon, minne tulevat tarvittavat ilmoitukset suojareleiltä.

Keskuksen syöttöä suojaa 4000A-katkaisija joka voidaan kalustaa myös etäluominaisuuksilla. Kompaktikatkaisija asennetaan pienjännitekeskukseen kiinteästi. Kompaktikatkaisijan pystyy paikallisesti erottamaan pienjännitekeskuksessa tarpeen vaatiessa. Kompaktikatkaisija korvaa nykyaikana ennen käytetyt suuret sulakkeet.

Taajuusmuuttajilla on omat kytkinvarokkeet ja syöttösulakkeet 6 kpl 1250A, jotka suojaavat laitetta mahdollisessa vikatapauksessa tai ainakin rajoittavat vahinkoja.

Kaasukompressorien sähkömoottorien suojaus ei tarvitse erillisiä laitteita, koska taajuusmuuttajassa itsessään on riittävän kattavat suojausominaisuudet mm. ylivirta-, ylijännite-, jumisuoja-, ylijämpö-, alikuorma- ja maasulkusuojat.

#### **6.14 Suojarele**

Vamp 50-suojarelettä käytetään voimalaitosten pien- ja keskijännitejärjestelmien suojauksiin. Vamp 50-suojareleeseen on tarvittaessa helppo saada lisämoduuleita. Esimerkiksi erilaisia digitaalituloja ja digitaalilähtöjä eri kommunikaatioliittymillä./8/

Katkaisijoiden ohjaamiseen käytetään suojareleitä, jotka tarkkailevat sähköverkon tilaa. Verkon vikaantuessa suojareleet antavat niihin asetettujen asetteluarvojen ylittyä ja lähettävät laukaisusignaalin katkaisijalle tai hälytykset varustetaan katkaisijoilla, jotta vioittunut verkonosa saadaan erotettua muusta verkosta. Relesuojaus on mahdollinen keskijänniteverkossa ja sitä suuremmilla jännitetasoilla. Varokkeita ja varokeautomaatteja käytetään pienjänniteverkkojen suojauksessa. /9/

Relesuojausta ohjaa tietyt vaatimukset, joita kuuluu noudattaa. Vaatimusten mukaan toiminnan tulee olla selektiivistä, jotta mahdollisimman pieniosa verkosta jää pois toiminnasta vian sattuessa. Toiminnan pitää tapahtua riittävän nopeasti ja herkästi siten, että vauriot, häiriöt, haitat ja vaarat jäävät mahdollisimman pieniksi. Verkon stabiilisuden tulee säilyä kaikissa olosuhteissa. Vaatimusten mukaan

suojauksen tulee kattaa täydellisesti koko suojattava järjestelmä ja sen tulee olla käyttövarma ja mahdollisimman yksinkertainen. Vaatimuksissa esitetään kriteereiksi myös hyvä käytettävyys, suojauksen testattavuus käyttöpaikalla sekä hankintakustannusten kohtuullisuus. Tässä projektissa suojareleessä käytettiin ylivirtasuojauksia, oikosulkusuojauksia ja maasulkusuojauksia. Releessä on sisäinen hälytys, joka ilmoittaa, jos suojareleessä on jotakin vikaa./9/

Taulukossa 8 on eritelty suojareleen tässä projektissa käytetyt suojaustoiminnot. Eri standardeilla käytetään eri tunnuksia, esimerkiksi ANSI-tunnus ja IEC-tunnus olivat tässä työssä käytettyjä toimintoja. ANSI- ja IEC-tunnuksille on oma merkintätapansa, josta voi joutua selvittämään suojauksen määrittelyn. Esimerkiksi ylivirtasuojaukselle on omat koodinsa ja maasulkusuojaukselle omansa, jotka tarkoittavat käytettävää suojaustoimintoa. Nämä on eritelty taulukossa 8.

**Taulukko 8.** Suojareleen käytettävät suojaustoiminnot

ANSI tunnus	IEC tunnus	Suojaustoiminto
50/51	3I>, 3I>>, 3I'>, 3I'>>	ylivirtasuojauksia
50/51N	I0>, I0>>, I0>>>, I0>>>>	maasulkusuojauksia

Ylivirtasuojaportaan asettelussa on I> kestävä hidastettuna normaalista käytöstä aiheutuvat kytkentävirtasäykset muuntajalle. Alla mainitulla kaavalla voidaan laskea suojareleen ylivirtaportaan asettelu.

$$2 * I_{kuormmax} < I> < 0,7 * I_{k2min} \quad (28)$$

Oikosululle voidaan laskea pisin sallittu kesto-aika alla olevalla kaavalla

$$I_{1sjohtoA}^2 * 1s > I_{k3maxA}^2 * t_{max} \quad (29)$$

Ylemmän portaan oikosulkusuojauksia 3I>> tulee huomata vain johdon alun vioista, jos t>> on lyhyt.

Esimerkkiasettelu oikosululle alla olevan kaavan mukaan:

$$I_{>>} = 1,3 * I_{k3C} \quad (30)$$

Jos ylivirtaportaan aikahidastus on liian pitkä suojatakseen ensimmäistä johtosaa, on  $t_{>>}$  täytettävä ehto.

$$I_{1sA}^2 * 1s > I_{k3maxA}^2 * (t_{>>} + 0,1s) \quad (31)$$

Maasulussa suojarele mittaa johdon maasulun summavirran. Summavirtaa muodostuu sekä suojattavan johdon maasulussa sekä taustaverkon maasulussa. Ehtona laukaisulle on samanaikainen nollajännite. Kaapelivirtamuuntajien kyllästymisestä aiheutuvat virhelaukaisut voidaan estää nollajännitelukituksella. Suojarele mittaa johdon alun maasulun summavirran. Tällöin asettelun on oltava pienempi kuin johdon viassa mitattu suurin summavirta. Käyttötilanne vaikuttaa summavirran arvoon.

Pienin summavirta johdolle esiintyy, kun vikavastuksella on suurin arvo.

$$I_{0>} \text{ asettelun on oltava pienempi kuin johdon viassa mitattu pienin summavirta eli } I_{0>} < \text{Min } SI_{V4} \quad (32)$$

Käyttötilanne vaikuttaa summavirran suuruuteen, jotta suojareleillä saavutetaan selektiivinen maasulkusuojaus tulee johtojen maasulkuvirtojen olla samaa suuruusluokkaa./10/

## 6.15 Ohjaus

Wärtsilän ohjeistuksen mukaan, riippuen laitoksen koosta ja muusta PLC järjestelmästä kenttäväylänä käytetään Modbus TCP/IP tai Profinet I/O. Joihin molempiin löytyy väyläkortti Vacon-taajuusmuuttajaan. Ethernet-pohjaiset väylät ovat Wärtsilällä yleisessä käytössä koska väylät ovat nopeita ja edullisia rakentaa. Ethernet antaa helpon ratkaisun etäkäyttöön ja valvontaan. Vacon-taajuusmuuttajat tarvitsevat erillisen NCipconfig-ohjelman joka on ladattavissa Vaconin web-

sivuilla. Tällä ohjelmalla asetetaan ip-osoitteet kaikille taajuusmuuttajille. Tämän jälkeen väylä on taajuusmuuttajan päästä käyttövalmis jos vain kaapelointi on tehty valmiiksi. Taulukosta 9 käy hyvin selville, että laitteelta voidaan lukea masterille 8 signaalia, jotka voidaan määrittellä laitteen parametreilla. Signaaliksi käy mikä tahansa parametri jolla ID-numero. Näin ollen on mahdollista lukea prosessin tilan kannalta oleellisia tietoja vain olemattomien viiveiden verran hidastettuna. Lisäksi laitteen oma tilakone antaa yleistä tietoa missä tilassa taajuusmuuttaja on. /13/

**Taulukko 9.** Modbus-viesti orjalta - masterille.

Address	Purpose	Range / Type
2101	FB Status Word	See chapter 5.6.3.1
2102	FB General Status Word	See chapter 5.6.3.1
2103	FB Actual Speed	0 .. 10 000
2104	FB Process Data out 1	See Appendix 1
2105	FB Process Data out 2	See Appendix 1
2106	FB Process Data out 3	See Appendix 1
2107	FB Process Data out 4	See Appendix 1
2108	FB Process Data out 5	See Appendix 1
2109	FB Process Data out 6	See Appendix 1
2110	FB Process Data out 7	See Appendix 1
2111	FB Process Data out 8	See Appendix 1

**Taulukko 10.** Status Wordin bitit auki koodattuna

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
-	-	-	-	-	-	-	-	FR	Z	AREF	W	FLT	DIR	RUN	RDY

**Taulukko 11.** Status wordin bitti kuvaus

Bits	Description	
	Value = 0	Value = 1
0	Not Ready	Ready
1	Stop	Run
2	Clockwise	Counterclockwise
3	No Fault	Faulted
4	No Alarm	Alarm
5	Ref. Freq. not reached	Ref. Freq. reached
6	Motor not running at zero speed	Motor running at zero speed
7	Flux Ready	Flux Not Ready
8...15	Not In Use	Not In Use

## 7 VAIHTOEHTOJEN VERTAILU

Kummatkin vaihtoehdot ovat sopivia omilla alueillaan, eikä millään lailla toisiaan pois sulkevia vaihtoehtoja. Enempikin tästä on hyötyjä kun molempia ratkaisuja on mahdollista käyttää. Tarkempi erittely näiden kahden ratkaisun ominaisuuksista seuraavissa kappaleissa.

### 7.1 Suorakäynnisteinen järjestelmä

Suorakäynnisteinen ratkaisu sopii moneen kohteeseen yksinkertaisuutensa ansiosta, tai sellaiseen kohteeseen jossa ympäristön olosuhteet eivät anna muita vaihtoehtoja. Myöhempänä olen käynyt läpi seikkoja plus / miinus periaatteella.

- + Halvempi kokonaisuudessa, (yksinkertaisempi sähkötekniikka)
- + soveltuvuus ympäristöolosuhteisiin hyvä, (kosteus, kuuma, kylmä, matala ilmanpaine, pöly, tärinä ja kemikaalit)
- tarvitsee suuremman muuntajan 3,15MVA
- enemmän komponentteja suojaus puolella, (moottorin suojat, kontaktorit, katkaisijat)
- moottori koko jää varsin pieneksi noin 500 kW, (suurien käynnistysvirtojen takia)
- kaasun säätöpiiriin tarvitaan venttiileitä enemmän.

### 7.2 Taajuusmuuttaja ohjattu järjestelmä

- + Muuntaja on huomattavasti pienempi 2,5MVA, (erotus 0,65 MVA)
- + prosessin säädettävyys parempi lähes portaaton
- + energian säästö taajuuden laskuun nähden
- + käynnistysvirtojen hallinta

- + hyvät sisäiset suojaustoiminnot
- + väylän kautta saa paljon tietoa prosessista
- + ei rajoitteita moottorin koolle eli taajuusmuuttajalla voidaan kattaa koko tarvittava alue 300kW - 1,6MW
- kalliimpi alkuinvestoinnilta, mutta maksaa itsensä takaisin
- vaatii suhteellisen hyvät olosuhteet sähkötilalta
- sisäisen vikaantumisen riski suurempi, (ilman huoltoja).



## 8 YHTEENVETO

Tavoitteena oli luoda vaihtoehtoinen konseptiratkaisu kaasukompressoriasemalle. Tämän työ tarkoitus on palvella Wärtsilän tulevia projekteja hahmottamaan tarvittavia komponentteja sekä huomioimaan tiettyjä asioita komponenttien valinnoissa ja suunnitteluissa. Teknisenä ratkaisuna tämä 500kW malli on muunnettavissa kaikkiin muihinkin malleihin 300kW- 1,6MW. Koska työtä on tehty ja tutkittu yhtä aikaa suorakäyttöisen kompressoriaseman kanssa. Niin tekniset erot tulivat aina esille kun kyseistä asiaa tutkittiin, simuloitiin tai laskettiin.

Keskeisiä asioita olivat kustannustehokkuus, komponenttien yleinen saatavuus ja toimivuus. Kuitenkin tuleviin projekteihin tulee vaikuttamaan paikalliset lait ja olosuhteet sekä asiakkaan toiveet.

Suorakäyttöinen ratkaisumalli on suhteellisen yksinkertainen ja toimintavarma. Kustannuksiltaan edullisempi ratkaisu taajuusmuuttajakeskuksen verran, vaikka sitten kaapeleissa ja suojalaitteissa sekä muuntajassa sitten kustannuksia tuleekin enemmän, vaikkakin nämä kustannukset eivät kokonaisprojektissa olekaan mitään merkittäviä tekijöitä. Suurin huomioitava kohta suorakäyttöisessä ratkaisussa on rajoitteensa käynnistää sähkömoottorilla toimiva kompressori kun moottorin koko kasvaa suureksi. Tämän myötä myös käynnistysvirrat ja kaikki sähkökomponentit kasvavat suuriksi. Mielestäni tämänkaltaista kolmen kompressorin asemaa ei voida kovin paljon kasvattaa tuosta nyt tutkitusta 500kW.

Taajuusmuuttajarakaisu on varsin toimiva ratkaisu moneen kohteeseen, koska taajuusmuuttajasta saatavat hyödyt ja lisänä tulevat kustannussäästöt laitoksen käytössä, jolla taajuusmuuttajan on mahdollista maksaa itsensä takaisin, ja tuo tämän jälkeen käyttäjälleen säästöä joka vuosi, joko pienentämällä omakäyttöä tai suoraan pienemmällä energialaskulla. Mitä suurempi laitos tarvitaan tai kompressorien teho ja/tai määrä kasvaa niin taajuusmuuttajan edut tulevat vain voimakkaammin esille.

Konseptin avulla saavutetaan kustannussäästöjä jo projektin alkuvaiheessa, koska esityötä on jo tehty tähän ratkaisumalliin. Toimittajia on kartoitettu, valmiita ratkaisumalleja löytyy moneen kohtaan. Simulointituloksia löytyy sekä tarvittavat kaavat joilla voidaan laskea ja mitoittaa toisilla komponenteilla esiintyviä ilmiöitä. Jokainen projekti on erilainen voidaan tästä konseptista ottaa suuntaa ja apua kun tulevaisuuden projekteja tarjotaan.

Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen jo pelkästään tuon rinnan tutkitun suorakäynnisteisen työn kanssa. Myös teknisesti asia oli haastava ja mielenkiintoinen kun vanhaa tekniikkaa lähdettiin päivittämään tälle vuosituhannelle. Matkan varrella oppi monia asioita kun tieto piti etsiä omantyön ja osaamisen ulkopuolelta. Kuitenkin työn monet vaiheet liittyivät pala kerrallaan yhteen ja loi siten teknisen jatkumon, jonka lopputuloksena oli koko ketju muuntajalta - kompressorille asti ulottuva toimiva ratkaisumalli.

## LÄHTEET

- /1/ Mäkinen O. 2012. Sähköverkonkojeet. Viitattu 29.4.2014.  
[https://portal.puv.fi/file.php/3213/Maekinen\\_Olavi\\_-\\_Saehkoelaitokset\\_-\\_luku\\_9-1.pdf](https://portal.puv.fi/file.php/3213/Maekinen_Olavi_-_Saehkoelaitokset_-_luku_9-1.pdf)
- /2/ Vierikko R. Opinnäytetyö 2013. Keskiännitekojeistoprojektinhallinta Viitattu 29.4.2014  
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/57996/Keskijannitekojeistoprojektin%20hallinta.pdf?sequence=1>
- /3/ Korpinen L. 1998 Sähkövoimaopus. Viitattu 29.4.2014.  
[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/9muuntajat\\_ja\\_sahkolaitteet.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf)
- /4/ 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](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/21394/Niemela_Jarmo.pdf?sequence=1)
- /5/ Korpinen L. 1998 Sähkövoimaopus. Viitattu 29.4.2014.  
[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/9muuntajat\\_ja\\_sahkolaitteet.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf)
- /6/ Wärtsilä. 2014. Viitattu 30.04.2014. [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com)
- /7/ SFS-käsikirja 601. Suurjännite sähköasennukset ja ilmajohtot. SFS 2009. 1. Painos.
- /8/ Vamp. Viitattu 2.5.2014.  
<http://www.vamp.fi/Suomeksi/Tuotteet/Suojareleet/VAMP%2050%20Ylivirta%20ja%20maasulkurele/Default.aspx>
- /9/ Korpinen L. 1998. Sähkövoimaopus. Viitattu 3.5.2014.  
[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/5sahkoverkon\\_automaatio\\_ja\\_suojaus.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/5sahkoverkon_automaatio_ja_suojaus.pdf)
- /10/ Mäkinen O. 2014. Relesuojaus. Viitattu 3.5.2014.  
<https://portal.puv.fi/course/view.php?id=3683>
- /11/ Vacon viitattu 11.5.2014 <http://www.vacon.com/fi-FI/Vacon/yritys/>
- /12/ Vacon viitattu 17.5.2014  
[http://www.vacon.com/ImageVaultFiles/id\\_2767/cf\\_2/Vacon-NX-Filters-User-Manual-UD01143B-EN.PDF?634852844037230000](http://www.vacon.com/ImageVaultFiles/id_2767/cf_2/Vacon-NX-Filters-User-Manual-UD01143B-EN.PDF?634852844037230000)

/13/ Vacon viitattu 6.11.2014

[http://www.vacon.com/ImageVaultFiles/id\\_3245/cf\\_2/Vacon-NX-OPTCI-Modbus-TCP-Board-User-Manual-DPD009.PDF?635223810541900000](http://www.vacon.com/ImageVaultFiles/id_3245/cf_2/Vacon-NX-OPTCI-Modbus-TCP-Board-User-Manual-DPD009.PDF?635223810541900000)

/14/ Vacon viitattu 1.11.2014

[http://www.vacon.com/ImageVaultFiles/id\\_2837/cf\\_2/Vacon-NXS-NXP-User-Manual-DPD00910C-UK.PDF?635265005365170000](http://www.vacon.com/ImageVaultFiles/id_2837/cf_2/Vacon-NXS-NXP-User-Manual-DPD00910C-UK.PDF?635265005365170000)

/15/ Sundgren viitattu 26.11.2014

<http://users.metropolia.fi/~k0200665/koulu/sundgren.pdf>