

Matti Alarautalahti

**Vakiomomentilla kuormitetun moottorikäytön
hyötysuhteen tutkiminen**

Opinnäytetyö
Kevät 2015
SeAMK Tekniikka
Automaatiotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Matti Alarautalahti

Työn nimi: Vakiomomentilla kuormitetun moottorikäytön hyötysuhteen tutkiminen

Ohjaaja: Seppo Stenberg

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 38

Työ tehtiin Suomen tekojää Oy:lle. Työn aihe käsitteli moottorikäyttöä ja niiden energiatehokkuutta.

Työn tavoitteena oli tutkia vakiintuneen moottorikäytön kustannustehokkuutta ja etsiä siihen vaihtoehtoisia ratkaisuja. Ongelmana oli se, ettei sähkömoottorien ja taajuusmuuttajien hyötysuhteesta ollut riittävästi tietoa ja soveltaminen käytettävänä kuormana olevaan kompressoriin oli vaikeaa. Kompressorien hyötysuhteeseen on olemassa oma ohjelma, mutta hyötysuhdetta sähköverkosta moottorin akselille ei ole tiedossa.

Työssä luotiin olemassa olevilla mittalaitteilla käytössä olevaan automaatioon laskentaohjelma, jolla saadaan selville käytettävien laitteiden tärkeimmät energiatiedot ja kulutukset. Käyttöaste jaettiin neljälle eri kierrosalueelle, jolloin taajuuden vaikutus hyötysuhteeseen voidaan nähdä.

Lopputuloksena yritys sai käyttöönsä hyötysuhdelaskentaohjelman, joka auttaa ymmärtämään moottorin kierrosnopeuden vaikutuksen hyötysuhteeseen. Ohjelma laskee eri kierrosalueiden käyttötunnit ja hyötysuhteet erikseen, jolloin laitteiston säätäminen ihanteelliselle hyötysuhteelle on mahdollista. Hyötysuhdelaskenta auttaa ymmärtämään eri kytkentä vaihtoehtojen hyötyjä. Laskentaohjelma auttaa tulevaisuudessa myös moottorivalinnoissa.

Avainsanat: hyötysuhde, laskentaohjelma, kytkentä

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Electric Automation

Author: Matti Alarautalahti

Title of thesis: Examining the efficiency of electric motor coupling with a constant load torque

Supervisor: Seppo Stenberg

Year: 2015 Number of pages: 38

The thesis was written for Suomen tekojää company. The thesis discussed induction motor process and energy-efficiency ratio.

The aim of this thesis was to study an already existing process to get more information about the cost-efficiency of the process. The main problem in the existing process was that there was not enough information about the energy-efficiency ratio of the induction motor and frequency converter. The second problem was that the information available is not detailed enough to be used in the applications of the existing process.

In this thesis a new calculation program was planned and tested. This new calculation program gives more detailed information about the energy-efficiency ratio of induction motors and coupling in this certain existing process. In this new program there are four different speed groups which produce enough information for a proper study of frequency variation.

As a result the company which uses this induction motor process can achieve better cost-efficiency in different types of couplings. And also in the future this new calculation program can offer important information for choosing between different induction motors.

Keywords: energy-efficiency ratio, calculation program, coupling

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite	10
1.3 Työn rakenne	10
1.4 Yritysesittely.....	11
2 MOOTTORIKÄYTÖN RAKENNE	14
2.1 Yleistä.....	14
2.2 Taajuusmuuttaja	14
2.3 Verkkoanalysointityökalu	16
2.4 Oikosulkumoottori	17
2.5 Kompressori.....	19
2.6 Ohjainyksikkö.....	21
2.7 Kytkenä.....	22
3 OHJELMOINTI.....	26
3.1 OpenPCS-ohjelmointityökalu	26
3.2 HTML-Editori.....	27
3.3 Excel-ohjelma	27
4 TYÖN TEKEMINEN	28
4.1 Yleistä.....	28
4.2 PLC-ohjelmointi.....	29
4.3 Kaaviokuvien luominen	30
4.4 Muuttujien lisääminen ohjainyksikköön	32
4.5 Toiminnan testaus.....	33
5 TULOKSET	34
6 POHDINTA	35

LÄHTEET	38
---------------	----

Kuva- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Referenssi kohteet Suomessa	11
Kuva 2. Referenssi kohteet	12
Kuva 3. Toimitilat Parkanossa	12
Kuva 4. Rauman ulkotekojään kylmäkoneisto	13
Kuva 5. Vacon 100 HVAC -taajuusmuuttajia	15
Kuva 6. Vakio-oikosulkumoottorin kuormitettavuus (ABB, [viitattu 24.3.2015]).....	18
Kuva 7. Leroy Somer PLSES-tyyppikilpi	19
Kuva 8. Bitzer OSKA 7451 (Bitzer, [viitattu 24.3.2015]).....	20
Kuva 9. Bitzer OSKA 7451-leikkauskuva (Bitzer, [viitattu 24.3.2015]).	21
Kuva 10. Fidelix FX2030A-Ohjainyksikkö (Fidelix, [viitattu 24.3.2015]).	22
Kuva 11. KytKentä.....	23
Kuva 12. Jäähallin ruuvikompressorit ja sähkömoottorit	24
Kuva 13. Kompressoreita käyttävät taajuusmuuttajat	25
Kuva 14. Keskukseen asennetut verkkoanalysaattorit.....	25
Kuva 15. OpenPCS-ohjelmointityökalu	26
Kuva 16. HTML-kuva jäähallin kylmäprosessista.....	27
Kuva 17. Excel-taulukko	28
Kuva 18. OpenPCS-ohjelmointia	30
Kuva 19. Käyttöliittymän etusivu	31
Kuva 20. Käyttöliittymän laskentasisu	31

Kuva 21. Pisteiden luomista Excel-ohjelmalla.....	33
Kuva 22. Maksimimomentti, -jännite ja -vuo suhteellisen nopeuden funktiona	36
Kuva 23. Kestomagneettimoottorin ja oikosulkumoottorin hyötysuhteet	37
Kuva 24 Kestomagneettimoottorin koko verrattuna vakio-oikosulkumoottoriin	37
Taulukko 1. ENTES EPM-07S-verkkoanalysointilaajien ominaisuuksia (Entes, [viitattu 24.3.2015]).....	16

Käytetyt termit ja lyhenteet

RPM	Rotations per minute, kierrosnopeutta kuvaava lyhenne.
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka.
Modbus	Modbus on Modiconin vuonna 1979 julkaisema avoin ja lisenssimaksuton sarjaliikenneprotokolla.
Fidelix	Kotimainen rakennusautomaatio- ja turvalaitteita kehittävä ja myyvä yritys.
Open PCS	OpenPCS on IEC 61131-3 -standardin pohjalta luotu ohjelmointityökalu.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Suomen Tekojää Oy on Parkanossa toimiva jääratoihin ja erilaisiin kylmäprosesseihin erikoistunut yritys. Jääratakoneistojen kylmälaitteena on vakioitunut yhden kylmäainepiirin käyttö kahdella rinnankytketyllä ruuvikompressorilla. Kylmäaineena prosessissa toimii ammoniakki. Moottoreina kompressoreilla on käytössä 75 kW:n vakio-oikosulkumoottorit, joiden nimellinen pyörimisnopeus on 3000 rpm. Kompressorien pyörimisnopeus säätö on rajattu 25–60 Hz:n alueelle. Moottorikytkennäksi on valikoitunut sattumalta 230 V:n kytkentä, jossa 400 V:n kentänheikentymispiste on siirretty 87 Hz:n kohdalle. Tällä kytkennällä on mahdollistettu yli 50 Hz:n käyttö ilman että momentti moottorin akselilla laskee. Moottorikäyttöjen taloudellisuutta ei ole tutkittu eri kytkennöillä, vaan kytkennät ovat vakioituneet. Yrityksellä on myös käytössä kestromagneettimoottoreita, joiden hyötysuhdetta ei ole verrattu oikosulkumoottoreihin.

Oikosulkumoottorit kuluttavat noin 70 % kaikesta teollisuuden käyttämästä sähköenergiasta ja yli 35 % palvelusektorin käyttämästä sähköenergiasta. Alle 75 kW:n moottorien osuus teollisuuden sähkönkulutuksesta on jopa 60 %. Sähkömoottoreiden hyötysuhteissa on suuria eroja ja niiden valintaan kiinnitetään yhä enemmän huomiota. EU:ssa on otettu käyttöön hyötysuhdeluokitus, jossa moottorit jaetaan kolmeen eri ryhmään hyötysuhteen mukaan. (Sähköenergian kulutus kasvaa tasaisesti, [viitattu 24.3.2015].)

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on tehdä moottorin hyötysuhdelaskentaan ohjelma, jolla voidaan mitata moottorien ja kytkentöjen eroja eri käyntiolosuhteissa. Ohjelma tehdään olemassa olevaan automaatioon, johon valmiita väyläliityntöjä hyödyntämällä saadaan kentältä tarvittavat tiedot laskentaa varten. Sähkökeskuksen moottorilähtöihin lisätään verkkoanalysointirit, jotka liitetään Modbus-väylällä automaatioon. Laskentaohjelmaan tehdään oma käyttöliittymä, josta käyttäjää näkee reaaliajassa prosessin toiminnan arvot ja senhetkiset hyötysuhde-erot.

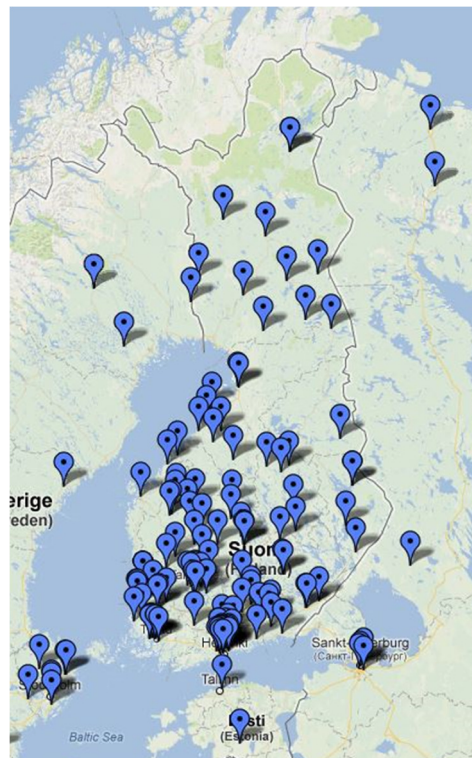
Tarkoituksena on saada riittävän tarkat tiedot moottorien energioista, jotta niitä voidaan verrata keskenään. Moottorien kulutusta on tarkoitus seurata eri kierrosalueilla. Käyttötunteja lasketaan jokaisella kierrosalueella, jolloin kierrosalueen hyötysuhde voidaan suhteuttaa kokonaishyötysuhteeseen. Tarkoituksena on mitata verkosta otettua energiaa ja moottorin ottamaa energiaa erikseen. Taajuusmuuttajan hyötysuhdetta on tarkoitus mitata näiden kahden energiamittauksen erotuksesta.

1.3 Työn rakenne

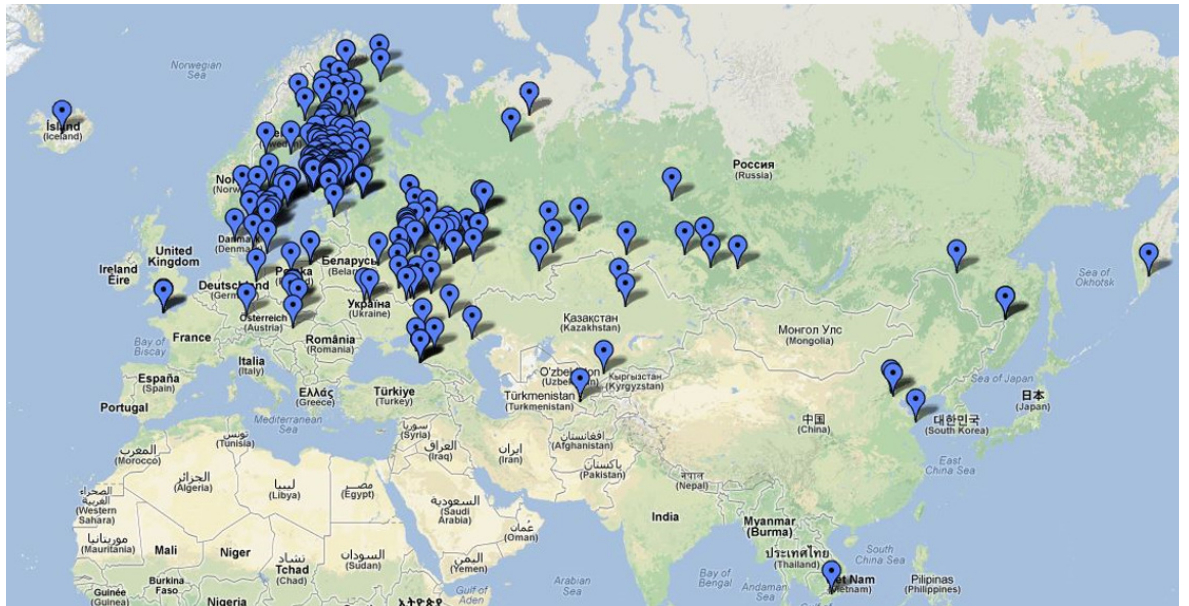
Johdannossa esitellään työn taustat ja asetetaan tavoitteet. Rakennetta käsittelevässä osassa esitellään käytetyt komponentit ja kytkennän fyysinen rakenne. Ohjelmointia käsittelevässä osiossa esitellään käytetyt ohjelmistot ja niitä vastaavat havainnollistavat kuvat. Työn tekemistä käsittelevässä osiossa käydään vaiheittain läpi työn tekemisen vaiheet: PLC-ohjelmointia, grafiikan luomista sekä muuttujien lisäämistä ohjainyksikköön. Tuloksia käsittelevässä osiossa esitellään työstä saatuja tuloksia. Pohdintaa käsittelevässä osiossa pohditaan, mitkä kaikki asiat voivat vaikuttaa hyötysuhteeseen.

1.4 Yritysesittely

Suomen tekojää Oy on Parkanossa toimiva erilaisiin kylmätekniikan ratkaisuihin erikoistunut yritys. Yritys aloitti toimintansa vuonna 1997 ja sen toimitusjohtajana toimii perustaja Timo Mansikkaviita. Yritys on laajentanut toimintaansa vuosi vuodelta, ja nykyisessä mittakaavassa yritys työllistää suoraan 16 henkilöä ja välillisesti yli 25 henkilöä. Yrityksen liikevaihto on tällä hetkellä noin 10 miljoonaa euroa. Yrityksellä on lisäksi tytäryhtiöt Moskovassa ja Tallinnassa. Yritys aloitti toimintansa jäähallien kylmälaitteista, mutta toiminta on laajentunut lämmitysjärjestelmiin ja ilmanvaihto- ja kuivausjärjestelmiin. Yrityksen markkinat sijoittuvat pääasiassa Suomeen ja Venäjälle, mutta Ruotsi on myös merkittävänä osana markkinoita. Kaukaisimpana vientikohteena on ollut Kiina ja Vietnam. Kuvissa 1 ja 2 on eritetty yrityksen referenssi-kohteita suomessa ja maailmalla. Kuvassa 3 on esitelty toimitilat Parkanossa. Kuva 4 on Rauman ulkotekojään kylmäkoneistokontista.



Kuva 1. Referenssi-kohteet Suomessa



Kuva 2. Referensikohteet



Kuva 3. Toimitilat Parkanossa



Kuva 4. Rauman ulkotekojään kylmäkoneisto

2 MOOTTORIKÄYTÖN RAKENNE

2.1 Yleistä

Säädetyt moottorikäytöt ovat järjestelmiä, joiden avulla sähköinen energia muute-
taan mekaaniseksi energiaksi hallitusti. Vastaavissa sähköenergiaa tuottavissa jär-
jestelmissä, kuten tuulivoimaloissa, on samanlainen tehon ja nopeuden säätötarve
kuin moottorikäytöissä. Sähköenergiaa tuottavissa järjestelmissä energian suunta
on vain eri. Teollisuudessa säädetyillä moottorikäytöillä on pitkä historia. Paperite-
ollisuudessa paperikoneiden toimintaa on voitu ohjata ja säätää jo pitkään. Nykyisin
teollisuus vaatii yhä enemmän automaatiota, joissa sähkömoottorit ovat keskeisiä
komponentteja. Siksi on tärkeää löytää hyvät tavat moottorien pyörimisnopeuden ja
momentin ohjaukseen. (Hietalahti, 2011, 3.)

Moottorikäytöissä on tasasähköjärjestelmistä siirrytty vaihtosähköjärjestelmiin,
joissa tyypillisesti ohjataan kiertokenttäkoneiden toimintaa tarkoitukseen sopivalla
taajuusmuuttajalla. Uudet kestmagnetoidut kiertokenttäkoneet ovat haasteellisia
ohjata. Tehoelektroniikka on mahdollistanut sen että nykyaikaisilla taajuusmuutta-
jilla on mahdollista toteuttaa tarkat ohjaukset ja suurien tehomäärien ohjaus. (Hie-
talahti, 2011, 3.)

2.2 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajalla säädellään portaattomasti moottorin pyörimisnopeutta ja vään-
tömomenttia. Taajuusmuuttajalla säädetään moottorin syöttöjännitettä ja taajuutta.
Oikosulkumoottorin pyörimisnopeuteen vaikuttavat syöttöverkon taajuus, moottorin
napapariluku ja jättämä. (Aura & Tontteri. 1996, 457.)

VACON 100 HVAC -taajuusmuuttajan tehoalue on 0,55–160 kW ja syöttöjännitteop-
tiot 230 V, 400 V tai 480 V. Taajuusmuuttaja soveltuu lämmitys-, ilmanvaihto- ja
ilmastointikäyttöihin. VACON 100 HVAC on suunniteltu rakennusautomaatiokäyt-
töön, jossa sillä on mahdollista tehostaa pumppu-, puhallin- ja kompressorisovelluk-
sien toimintaa. (Vacon, [viitattu 24.3.2015].)

Tässä kytkennässä käytetään Vaconin 100-sarjan HVAC-mallia. Taajuusmuuttajasta ei käytetä, sen omia sovelluksia vaan kaikki ohjaus tapahtuu keskitetysti ohjainyksiköstä Modbus-väylän kautta. Taajuusmuuttajalla hoidetaan prosessin tehonsäätö, sillä saadaan haluttu nopeus kompressorin akselille. Taajuusmuuttajalle on ominaista että sen hyötysuhde laskee hieman osateholla, mutta kompressorin pyörimisnopeuden säätämisen oletetaan olevan silti taloudellisempaa taajuusmuuttajalla kuin kompressorin omalla tehonsäädöllä.



Kuva 5. Vacon 100 HVAC -taajuusmuuttajia

2.3 Verkkoanalysointori

Työssä käytetään Entesin valmistamaa EPM-07S-verkkoanalysointoria, joka on kompakti DIN-kiskoon asennettava malli. Verkkoanalysointorilla tutkitaan sähköverkon tietoja. Verkkoanalysointorin yleisimpiä tietoja ovat jännite, virta, teho, taajuus ja kulutettu energia. Verkkoanalysointori on oiva apuväline sähkölaadun valvontaan, mutta hyötysuhdelaskennassa hyödynnetään ainoastaan pätötehoa ja pätöenergiaa. Entes noudattaa standardin TSE ISO 9001:2000 mukaista laadunvalvontajärjestelmää. Tuotteilla on CE-sertifikaatti, KEMA-KEUR ja CSA-US hyväksynyt. (Entes, [viitattu 24.3.2015].)

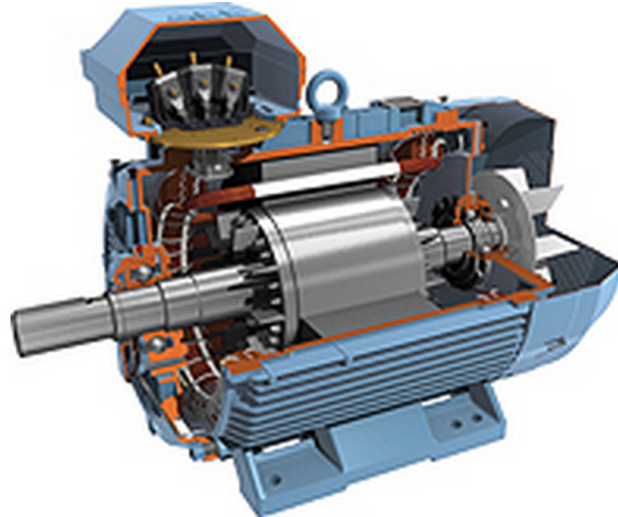
Taulukko 1. ENTES EPM-07S-verkkoanalysointorin ominaisuuksia (Entes, [viitattu 24.3.2015]).

Vaihejännitteet (V_{LN})	Nollavirta	Pätöteho (P)	Pätöenergia - kulutettu (kWh)
Pääjännitteet (V_{LL})	Kokonaisvirta (Σ)	Loisteho (Q)	Pätöenergia - tuotettu (kWh)
Vaihejännitteen keskiarvo	Tehokerroin (P.F)	Näennäisteho (S)	Loisenergia - kapasitiivinen (kVarh)
Pääjännitteen keskiarvo	Cos φ	Kokonaispätöteho (ΣP)	Loisenergia - induktiivinen (kVarh)
Suurin keskiarvo	Taajuus (Hz)	Kokonaisloisteho (ΣQ)	
Vaihevirratt	Maximi- ja minimiarvot	Kokonaisnäennäisteho (ΣS)	

Mittaukset (EPM-07 / 07S)

2.4 Oikosulkumoottori

Oikosulkumoottori on vaihtosähkömoottori, jonka toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään. Vakio-oikosulkumoottori on niin sanottu epätahtimoottori, jonka pyörivä roottori ei pyöri samaa nopeutta staattorin kanssa. Oikosulkumoottorin tärkeimmät osat ovat staattori, johon jännite kytketään, ja laakeroitu pyörivä roottori, jonka häkkikäänitys magnetoituu staattorin vaikutuksesta. Muut osat ovat passiivisia osia, jotka pitävät aktiiviset osat paikoillaan. Epätahtikoneessa roottori pyörii epätahdissa staattorikäänityksen kanssa ja sitä kutsutaan jättämäksi. (Aura & Tontteri. 1996, 119.)

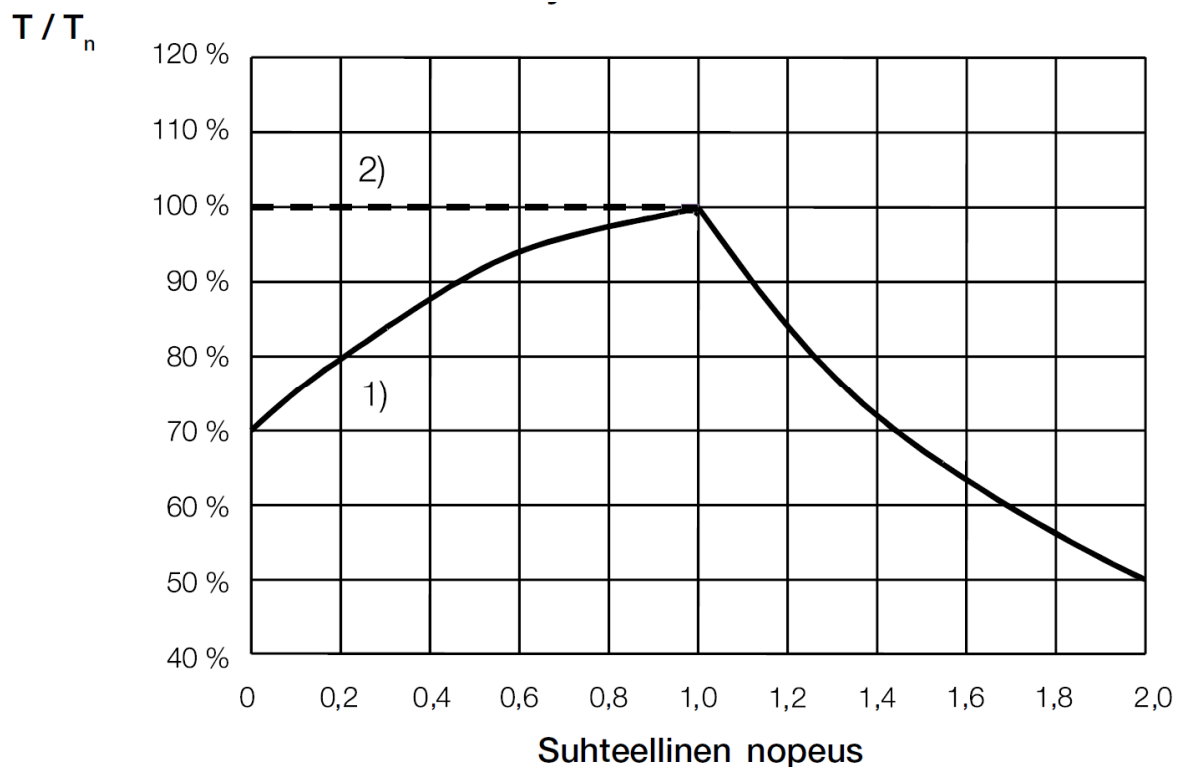


Moottorina kytkennässä toimii Leroy Somerin valmistama 75kW PLSES-oikosulkumoottori, jonka kytkentä voidaan tehdä taajuusmuuttajakäytössä kahdella tapaa. Normaalitapauksessa moottori kytketään 400 V jännitteeseen, jolloin moottori kytketään tähteen. Leroy Somer PLSES on IP23-suojaluokan avoin oikosulkumoottori. Moottori kuuluu IE2-hyötysuhdeluokkaan. (SKS, [viitattu 24.3.2015].)

Kytkenä tapoja moottorille on kaksi, toinen niistä on normaali 400 V:n kytkentä, jossa moottori kytketään tähteen. Moottori voidaan kytkeä myös 230 V jännitteeseen, jolloin 400 V:n kentänheikentymispiste siirretään taajuusmuuttajalla 87 Hz:n kohdalle, jolloin 50 Hz:n taajuuden kohdalla vaiheiden välinen jännite taajuusmuuttajan jälkeen on 230 V, tällä jännitteellä moottori kytketään kolmioon. Moottorin nimellinen nopeus on laskettu pyörimisnopeutena 87 Hz:n taajuuden kohdalla. Pie-nempää jännitettä käytettäessä on taajuusmuuttajan mitoituksessa huomioitavaa

se, että taajuusmuuttaja pitää mitoittaa moottorin ottaman virran mukaan, joka on pienemmällä jännitteellä huomattavasti suurempi. Tällä kytkennällä vakiovoalue on laajennettu 87 Herziin asti, jolloin moottoria on mahdollista käyttää yli 50Hz taajuudella ilman että vääntömomentti moottorin akselilla laskee. (ABB, [viitattu 24.3.2015].)

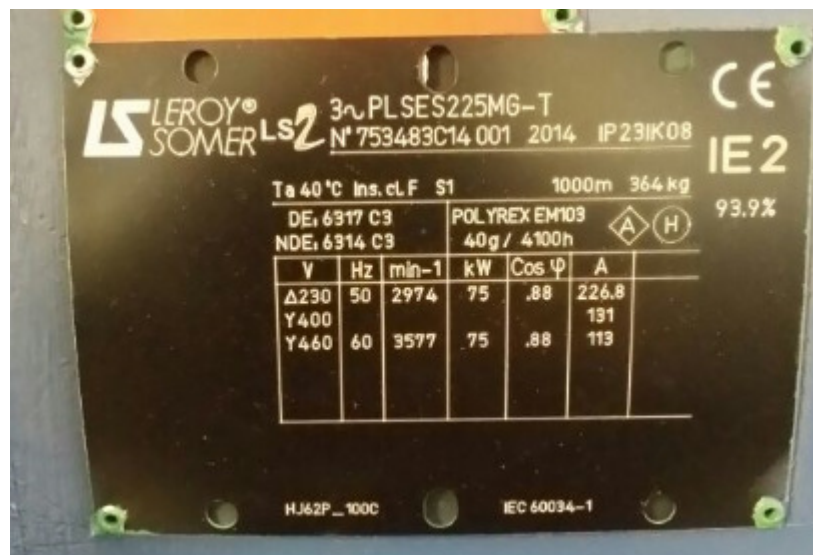
Kompressorikäyttö on kuormitustyyppiltään niin sanottu vakiomomentti. Moottorin momentti akselilla on vakio ja teho suoraan verrannollinen kierroslukuun. Moottorin terminen kuormitettavuus on otettava huomioon sähkökäyttöä mitoittaessa. Terminen kuormitettavuus määrittelee moottorin pitkäaikaisen maksimikuormitettavuuden. Vakio-oikosulkumoottori on itsejähdytteinen. Itsejähdytyksen takia moottorin terminen kuormitettavuus laskee, kun moottorin nopeus laskee. Tämä rajoittaa jatkuvaa käytettävissä olevaa momenttia alhaisilla kierroksilla. Moottoria, jossa on erillinen jäähdytys, voidaan kuormittaa myös alhaisilla kierroksilla. Jäähdytys mitoitetaan usein siten, että jäähdytysvaikutus on sama kuin mitoitusasteessa. Sekä itse- että erillisjäähdytyksessä momentti rajoitetaan termisesti kentänheikennysalueelle. (ABB, [viitattu 24.3.2015].)



Kuva 6. Vakio-oikosulkumoottorin kuormitettavuus (ABB, [viitattu 24.3.2015]).

Kuvassa 6 on vakio-oikosulkumoottorin tyypillinen kuormitettavuus taajuusmuuttajalla säädetyssä käytössä 1) ilman erillistä jäähdytystä ja 2) erillisjäähdytyksellä

Yrityksellä ei ole käytössä moottoreita erillisjäähdytyksellä, vaan kaikki moottorikäytöt on mitoitettu minimikierroksilla maksimimomentilla. Käytännössä moottorit ovat kokoluokkaa suurempia jäähdytyksen varmistamiseksi myös osakierroksilla.



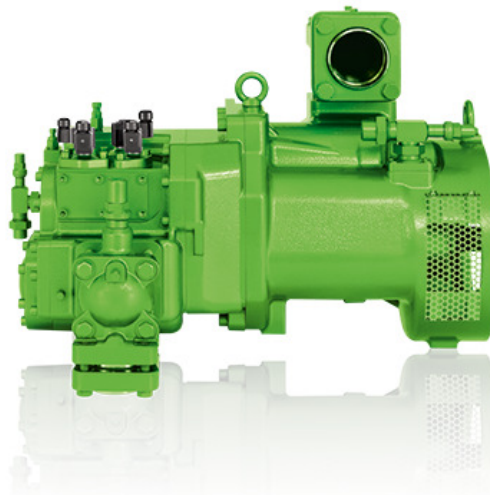
Kuva 7. Leroy Somer PLSES-tyypikilpi

2.5 Kompressori

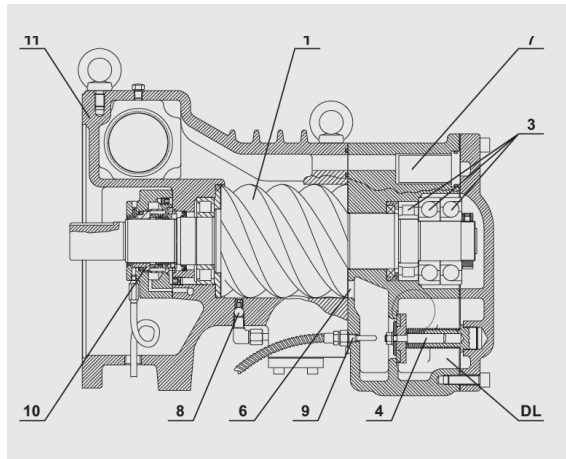
Useimmissa kylmäjärjestelmissä kylmän tekeminen perustuu kiertoprosessiin, jossa kylmäaine höyrystyy ja lauhtuu. Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy ympäristöä matalammassa lämpötilassa sitoen lämpöä ympäristöstä. Kompressori imee matalapaineisen höyryn ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, samalla höyryn lämpötila kohoaa. Lauhduttimessa ympäristöä korkeammassa lämpötilassa oleva höyry nesteytyy ja luovuttaa lämpöä. (Hakala & Kaappola, 2005, 10.)

Kompressorina tässä kytkennässä toimii Bitzerin valmistama OSKA 7451, joka on rakenteeltaan avoruuvikompressori. Ruuvikompressorin etuna on edullisempi hankintahinta ja huoltokustannukset, verrattuna mäntäkompressoriin. Ruuvikompressorin hyötysuhde ei ole aivan mäntäkompressorin tasoa, mutta kokonaistaloudellisesti ruuvikompressorin oletetaan olevan edullisempi.

Kompressorin tehonsäätö on toteutettu kahdella magneettiventtiilillä, joilla on mahdollista säätää kompressorin tehoa alueella 25–100 %. Kompressorin hyötysuhteen kannalta ei ole kuitenkaan järkevää käyttää kompressorin omaa luistitehonsäätöä, koska kompressorin hyötysuhde heikkenee merkittävästi osateholla. Kompressorin tehoa on taloudellisempaa säätää taajuusmuuttajalla, jolla saadaan ajettua kompressorin nopeutta portaattomasti välillä 1500–3600rpm. Kompressorin maksimikierrosnopeus on 4000 rpm. Kompressorin omaa tehonsäätöä käytetään ainoastaan käynnistyksen kevennyksessä ja virranrajoituksessa. Ruuvikompressorille on ominaista että sen hyötysuhde paranee hieman korkeammilla kierroksilla. Kompressorin on varustettu suojaavilla varolaitteilla, joita ovat kuumakaasutermistori, öljynvirtausvahti ja kaksitoiminen painekeytkin.



Kuva 8. Bitzer OSKA 7451 (Bitzer, [viitattu 24.3.2015]).



Kuva 9. Bitzer OSKA 7451-leikkauskuva (Bitzer, [viitattu 24.3.2015]).

2.6 Ohjainyksikkö

FX-2030A on rakennusautomaation ohjausyksikkö, jonka käyttöjärjestelmänä on Windows CE professional, ja joka on koteloitu kestävään teollisuus-PC-koteloon. Sen sisäinen web- ja FTP-palvelin tekee käyttämisestä ja hallinnasta helppoa. Ohjainyksikön vapaasti ohjelmoitava CPU-yksikkö käyttää PLC-ohjelmoinnin avointa IEC 61131-3 -standardia ja sen avulla voidaan hallita kaikkia projekteissa tarvittavia I/O-pisteitä. Ala-asema kommunikoi I/O-moduuleiden kanssa Modbus RTU -protokollalla, jolla antureiden, pumppujen, moottoreiden, puhaltimien, toimilaitteiden, jäähdyttimien ja muiden laitteiden liittäminen järjestelmään onnistuu. Modbus-protokollalla voi myös viestiä muiden laitteiden, kuten taajuusmuuttajien ja pumppujen kanssa. (Fidelix, [viitattu 24.3.2015].)



Tekniset ominaisuudet

Koko (takapaneeli / etupaneeli): 264 x 230 mm / 280 x 246 mm (x korkeus 58 mm)
 Käyttöjännite: 12-24 VDC (+/- 10 %)
 Käyttölämpötila: 0 ... +50 °C
 Enimmäiskuorma: 750 mA
 I/O-liitäntöjen enimmäismäärä: 2000 (fyysistä ja virtuaalista) / ala-asema

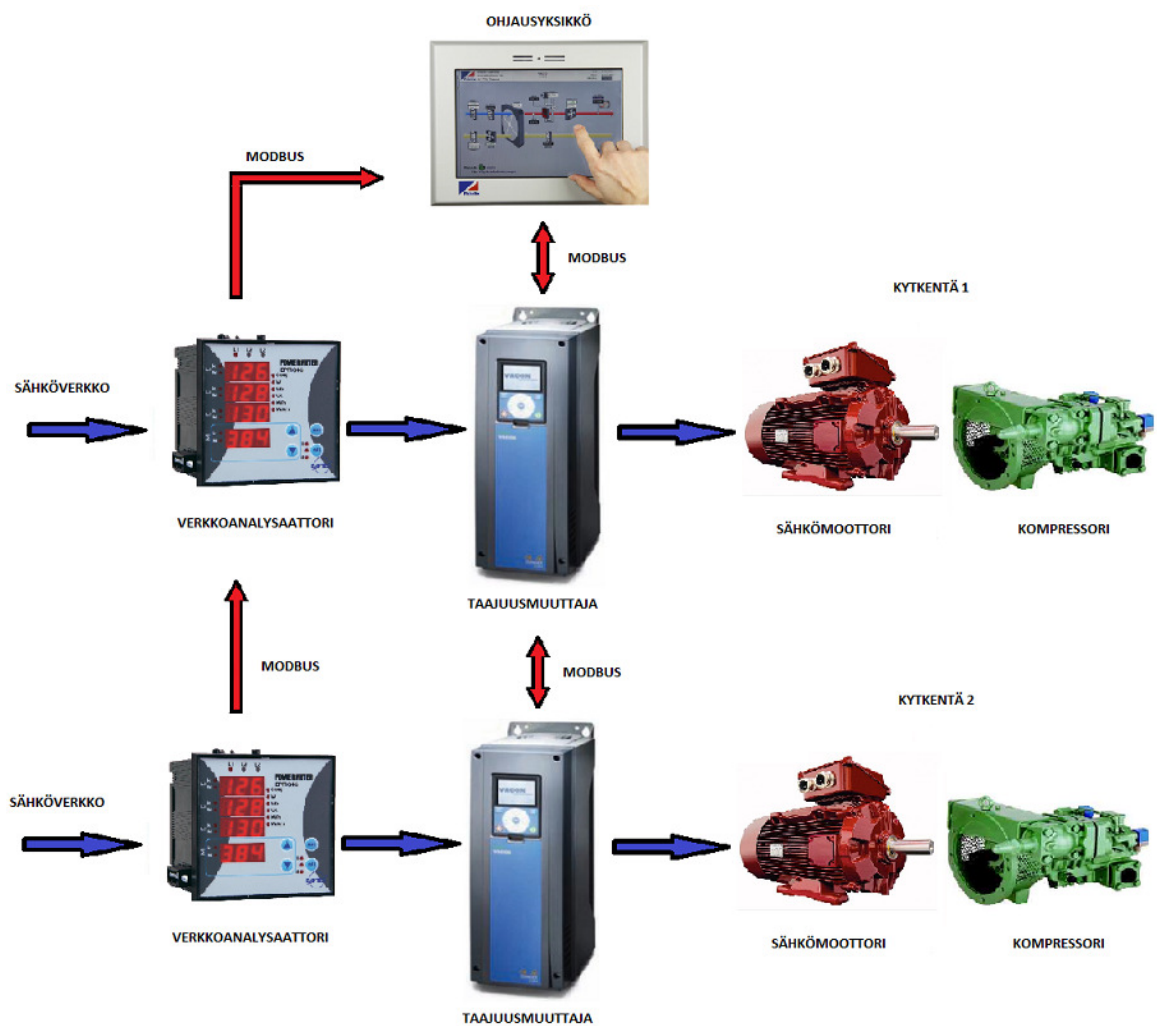
Kuva 10. Fidelix FX2030A-Ohjainyksikkö (Fidelix, [viitattu 24.3.2015]).

2.7 Kytkenä

Tässä työssä moottorikäyttö muodostuu kahdesta 110 kW:n Vacon 100HVAC-taajuusmuuttajasta ja Leroy somer PLSES 75 kW:n sähkömoottorista. Sähkömoottorit on kytketty Bitzer OSKA 7451-kompressoreihin. Keskuksessa moottorilähtöjen energiamittarina toimii Entes EPM-07S. Ohjauksena prosessissa toimii Fidelix FX2030A-ohjainyksikkö, joka on kytketty Modbus-väylällä taajuusmuuttajaan ja verkkoanalysaattoriin.

Ohjainyksikön tiedonsiirto tapahtuu Modbus-väylän kautta taajuusmuuttajaan ja verkkoanalysaattoriin. Ohjainyksikkö hoitaa koko prosessin ohjauksen. Laskentaohjelma toteutetaan ohjainyksikössä. Kummassakin moottorilähdössä on vaiheisiin kytketyt virtamuuntajat, jotka on kytketty verkkoanalysaattoriin. Verkkoanalysaattori

analysoi sähköverkkoa. Verkkoanalysaattorin tiedot luetaan ohjainyksikköön Modbus-väylän kautta. Taajuusmuuttajan ohjaus ja tiedonsiirto ohjainyksikköön tapahtuu myös Modbus-väylällä. Taajuusmuuttajasta luettavat arvot ovat moottorin ottamaa tehoa, jolloin taajuusmuuttajan hyötysuhteen laskeminen on mahdollista, kun tiedetään myös taajuusmuuttajan ottama teho verkkoanalysaattorista. Sähkömoottori muuttaa sähköisen energian kompressorin käytettäväksi pyöriväksi liike-energiaksi. Kompressorin toimii prosessin kuormana ja se määrittelee sähkömoottorin ottaman tehon. Kompressorin ottamaan tehoon vaikuttaa käytettävä kierrosnopeus.



Kuva 11. Kyt Kentä



Kuva 12. Jäähallin ruuvikompressorit ja sähkömoottorit



Kuva 13. Kompessoreita käyttävät taajuusmuuttajat

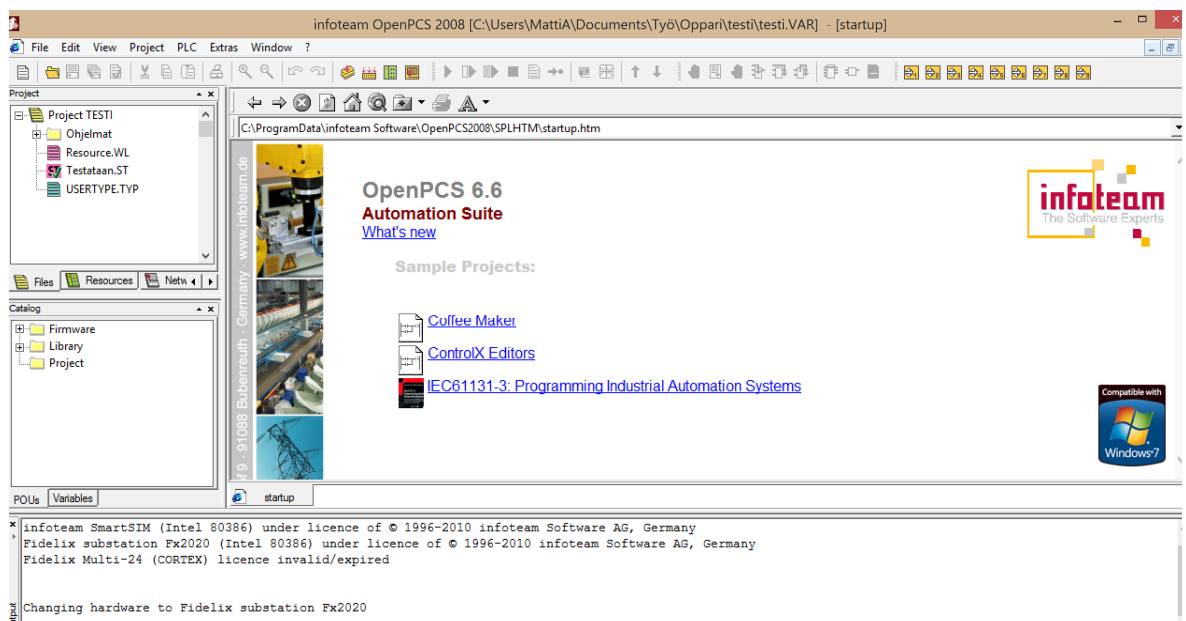


Kuva 14. Keskukseen asennetut verkkoanalysaattorit

3 OHJELMOINTI

3.1 OpenPCS-ohjelmointityökalu

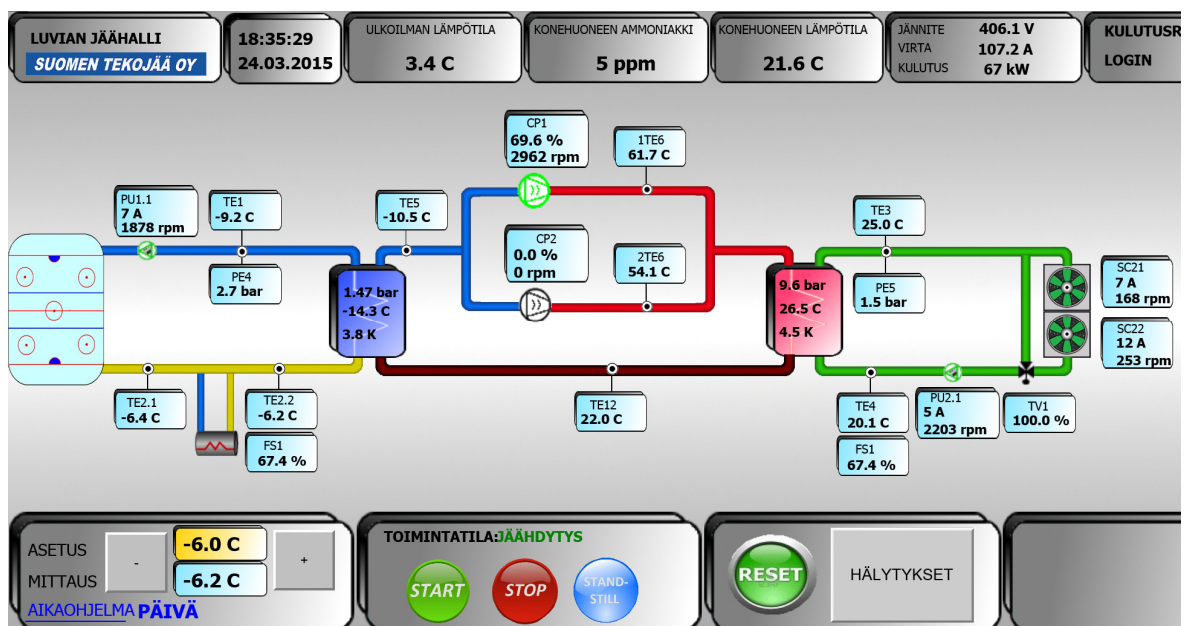
OpenPCS on IEC 61131-3-standardin pohjalta luotu ohjelmointityökalu. Standardin mukainen ohjelmointi kieli on teksti pohjainen kieli, jonka ymmärtäminen on varsin helppoa, jos osaa C-kielen perusteet. Fidelixiltä löytyy valmiita pohjia ja omia komentoja edesauttamaan ohjelmointia. (Fidelix, [viitattu 24.3.2015].)



Kuva 15. OpenPCS-ohjelmointityökalu

3.2 HTML-Editori

HTML-Editori on kaaviokuvien luontiin toteutettu ohjelma. Ohjelmalla luodaan ohjainyksikön näkymä, eli varsinainen käyttöliittymä. Ohjelmalla luodaan HTML-protokollan mukainen näkymä ohjainyksikköön. Ohjelmalla muodostetaan objekteja ja symboleja, joita voidaan lukea varsinaiseen ohjelmaan muuttujina. Kaaviokuvassa muuttujat sijoitetaan vastaamaan säätökaaviota ja näin luodaan käyttäjälle ymmärrettävä kuva prosessista. Kuvassa 17 on esitetty esimerkki HTML-kuvasta, joka on luotu Editorilla. (Fidelix, [viitattu 24.3.2015].)



Kuva 16. HTML-kuva jäähallin kylmäprosessista

3.3 Excel-ohjelma

Fidelixillä on käytössä oma Excel-ohjelma ohjainyksikön muuttujien luomiseen, ohjelmalla saadaan kaikista muuttujista listaus ja muodostettua tekstitiedosto, joka saadaan suoraan syötettyä ohjainyksikköön. Ohjelmassa muuttujille luodaan pistetunnus ja sitä vastaava tekstiselitys. Muuttujille annetaan fyysinen osoite tai se voi olla sisäinen muuttuja ohjelmassa. Halutut muuttujan yksiköt ja mittaus tarkkuus pystytään myös määrittämään ohjelmalla.

4 TYÖN TEKEMINEN

4.1 Yleistä

Työ aloitettiin suunnittelemalla, mitä mittaustietoja laskentaan halutaan ja mitä siitä pitäisi löytyä. Mitattavat arvot tehtiin ensin Excel-tiedoston taulukkoon, jotta saatiin muodostettua riittävä kuvaus ohjelmointia varten. Mittausalueet jaettiin eri taajuusalueille, jolloin nähdään, mikä on käyttöaste, kulutus ja hyötysuhde kullakin taajuusalueella. Taajuusalueita muodostin neljä, joita on helppo myöhemmin lisätä. Taajuusalueet ovat 25–35 Hz, 36–Hz, 46–55 Hz, 55–60 Hz.

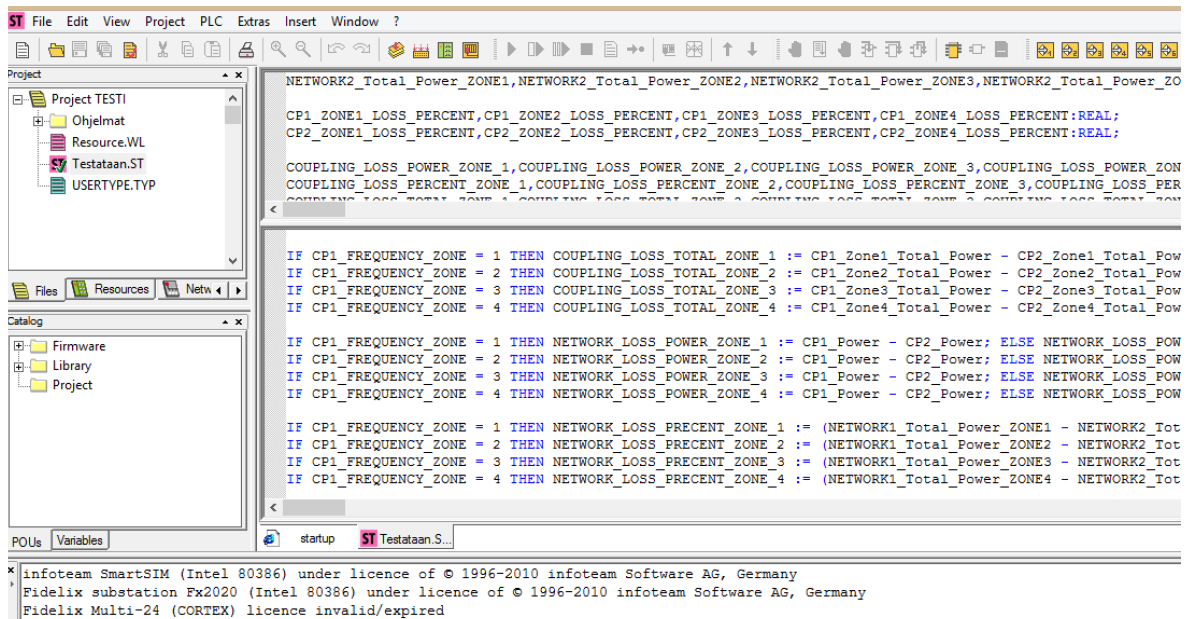
TAAJUUSMUUTTAJAHÄVIÖT 400V MOOTTORIKYTKENNÄLLÄ					
	Sähköverkon teho	Taajuusmuutaja häviöt w	Moottorin teho 400V	Kokonaishäviö Wh	Käyttötunnit
25-35Hz	300	-26,66666667	220	-80	15
36-45Hz	300	-16,66666667	250	-50	35
46-55Hz	300	-36,66666667	190	-110	45
56-60Hz	300	-33,33333333	200	-100	22
	Keksimääräinen tehohäviö:	-28,77492877	Kokonaistehohäviö	-340	117
TAAJUUSMUUTTAJAHÄVIÖT 230V MOOTTORIKYTKENNÄLLÄ					
	Sähköverkon teho	Taajuusmuutaja häviöt	Moottorin teho 230V	Kokonaishäviö Wh	Käyttötunnit
25-35Hz	300	-6,666666667	280	-20	37
36-45Hz	300	-8,333333333	275	-25	35
46-55Hz	300	-37,66666667	187	-113	55
56-60Hz	300	-48,33333333	155	-145	22
	Keksimääräinen tehohäviö:	-24,65324385	Kokonaistehohäviö	-303	149
KYTKENTÄHÄVIÖT MOOTTORISSA					
	Moottorinteho 400V	Moottorin teho 230V	Hetkellinen Kytkenhäviö %	Kytkenhäviö Wh	Käyttötunnit
25-35Hz	220	280	21,42857143	60	37
36-45Hz	250	275	9,090909091	25	35
46-55Hz	190	187	1,578947368	3	55
56-60Hz	200	155	22,5	45	22
		Keksimääräinen kytkentähäviö:	11,36161789	133	149

Kuva 17. Excel-taulukko

4.2 PLC-ohjelmointi

Varsinainen ohjelmointi aloitettiin luomalla ensin perus laskentaan tarvittavat muuttajat. Muuttujien määrittelyn jälkeen tehtiin vertailijat, joiden avulla nähdään käytössä oleva taajuusalue. Taajuusalueelle muodostettiin aina laskenta haltusta arvosta. Taajuusalueita haluttiin olevan neljä kappaletta, jokaiselle taajuusalueelle muodostettiin omat kulutus- ja käyttötuntilaskurit. Taajuusmuuttajan hyötysuhdetta laskettiin suoraan verkosta otetun energian ja moottorin kulutuksen mukaan kyseisellä taajuusalueella. Taajuusmuuttajahäviöt laskettiin keskimääräisenä (%) ja kokonaishäviönä (kWh) kullakin taajuusalueella. Keskimääräistä taajuusmuuttajan hyötysuhdetta laskettaessa suhteutettiin taajuusalueiden hyötysuhde vielä käyttötunteihin, jolloin kokonaishyötysuhde on oikea.

Kahden rinnankytketyn moottorikäytön välille muodostettiin vielä vertailevat ryhmät sekä verkkoanalysointorien että moottorien välille. Verkkoanalysointorien välillä vertailija huomioi koko kytkennän hyötysuhde-erot ja moottorien välisissä arvoissa huomioidaan ainoastaan moottorien väliset hyötysuhde-erot. Vertailevassa taulukossa häviöt näkyvät hetkellisenä tehohäviönä (W), kokonaishäviönä (kWh), keskimääräisenä häviönä (%). Kaikki laskennat tehtiin neljälle eri taajuusalueelle ja kokonaishäviöt laskettiin vielä yhteen, sekä keskimääräinen kytkentähäviö suhteutettiin vielä käyttötunteihin kullakin taajuusalueella.

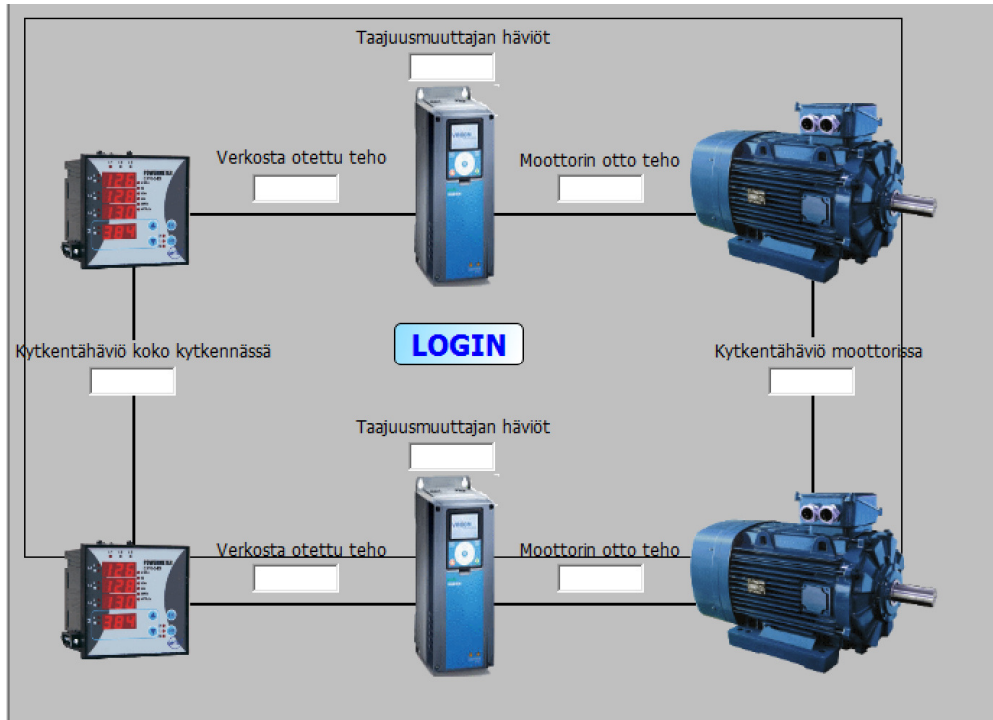


Kuva 18. OpenPCS-ohjelmointia

4.3 Kaaviokuvien luominen

HTML Editori ohjelmaan etsittiin käytettyjä komponentteja kuvaavat kuvat käyttäjää varten. Haluttujen kuvien sijoittelun jälkeen muodostettiin selkeä kuva kytkennästä käyttäjälle. Pääsivun haluttiin olevan selkeä, siihen sijoitettiin vain sen hetkiset tehoarvot ja hyötysuhde vertailut prosentteina. Keskelle näkymää tehtiin kirjautumista varten painike, josta päästään tarkastelemaan prosessin arvoja tarkemmin. Painonapille luotiin linkitys toiseen HTML-kuvaan. Toiselle sivulle luotiin näkymä kaikista mitatuista ja lasketuista arvoista. Sivulle tehtiin jokaisesta taajuusalueesta omat laskentakehykset. Vertailut näkyvät myös verkkoanalysointoreiden ja moottorien välillä. Lasketut arvot näkyvät sekä prosentteina (%), kilowattitunteina (kWh), että hetkellisenä häviönä (W). Mitatut arvot esiteltiin lopuksi taulukon alapuolella vihreällä pohjalla, jossa näkyvät kokonaiskulutus, hetkellinen teho ja taajuus.

Havainnollistavien kaaviokuvien luomisen jälkeen tehtiin kaikille kaaviokuvan muuttujille yksinkertainen ja helposti ymmärrettävissä oleva pistetunnus, joka on esitelty PLC-ohjelmoinnissa.



Kuva 19. Käyttöliittymän etusivu

KOMPRESSORI 1

Verkko kWh	Tamuhäviö kWh	Tamu häviö %	Moottori kWh	Käyntaika
25-35Hz				
35-45Hz				
45-55Hz				
55-60Hz				
Kokonaishäviö:				Yht.

Kytentä häviöt

W	kWh	%
25-35Hz		
35-45Hz		
45-55Hz		
55-60Hz		
Kokonaishäviö:		

Kytentä häviöt

W	kWh	%
25-35Hz		
35-45Hz		
45-55Hz		
55-60Hz		
Kokonaishäviö:		

KOMPRESSORI 2

Verkko kWh	Tamuhäviö kWh	Tamu häviö %	Moottori kWh	Käyntaika
25-35Hz				
35-45Hz				
45-55Hz				
55-60Hz				
Kokonaishäviö:				Yht.

	Kokonaisteho:	Kokonaiskulutus:	Tamuteho:	Tamukulutus:	Taajuus
CP1					
CP2					

Kuva 20. Käyttöliittymän laskentasiivu

4.4 Muuttujien lisääminen ohjainyksikköön

Muuttujien luominen alakeskukseen toteutettiin Fidelixin omalla Excel-ohjelmalla, johon lisättiin kaikki muuttujat PLC-ohjelman pohjalta. Muuttujille lisättiin selkeä tekstiselitys, joka on myöhemmin näkyvässä ohjainyksikön käyttöliittymässä. Jokaiselle muuttujan arvolle määritettiin myös käyttöliittymässä näkyvä yksikkö %, kWh tai W. Määritysten jälkeen tarkistettiin vielä, että kaikki PLC-ohjelmassa määritetyt muuttujat löytyvät listasta. Muuttujat voivat olla joko fyysisiä tai ohjelmallisia, tässä tapauksessa kaikki muuttujat ovat ohjelmallisia, koska mitatut arvot tulevat väyläliittynän kautta. Excel-ohjelmalla luotiin tekstitiedosto, joka sisältää kaikki muuttujat. Tekstitiedosto ladattiin suorittamalla komentorivillä käskyllä "telnet 10.100.1.199" (ohjainyksikön IP-osoite). Yhteyden luominen edellytti komentorivillä kysyttävien käyttäjätunnusten ja salasanojen kirjoittamista komentoriville. Kun telnet-yhteys oli muodostettu, komennolla "im-portpoints <.txt tiedoston polku, esim. HDisk/Fidelix/xxx.txt>" ladattiin muuttujat teksti-tiedostosta säätimeen. Lopuksi telnet-yhteys suljettiin sulkemalla komentorivi.

TIEDOSTO ALOITUS LISÄÄ SIVUN ASETTELU KAAVAT TIEDOT TARKISTA

Liitä Leikepöytä Fontti Tasaus

A103 AO

	A	B	C	D
1	Version	Delete points	Count points	
2	1.21			Add Modules
3		SaveAndExit	Delete modules	
4				
5	AL			
6	Name	Text	Module	Point
7	Write DefaultValues into this line		?	?
8	IND			
9	Name	Text	Module	Point
10	Write DefaultValues into this line		?	?
11	DD			
12	Name	Text	Module	Point
13	Write DefaultValues into this line		?	?
14	AI		2	
15	Name	Text	Module	Point
16	Write DefaultValues into this line		?	?
17	NW_PL_ZONE_1	Kytkenhävivi verkosta taajuus alueella 25-35Hz	0	0
18	NW_PL_ZONE_2	Kytkenhävivi verkosta taajuus alueella 35-45Hz	0	0
19	NW_PL_ZONE_3	Kytkenhävivi verkosta taajuus alueella 45-55Hz	0	0
20	NW_PL_ZONE_4	Kytkenhävivi verkosta taajuus alueella 55-60Hz	0	0
21	NW_TL_ZONE_1	Kokonais kytkenhävivi verkosta alueella 25-35Hz	0	0
22	NW_TL_ZONE_2	Kokonais kytkenhävivi verkosta alueella 35-45Hz	0	0
23	NW_TL_ZONE_3	Kokonais kytkenhävivi verkosta alueella 45-55Hz	0	0
24	NW_TL_ZONE_4	Kokonais kytkenhävivi verkosta alueella 55-60Hz	0	0
25	NW_TLP	Kokonais kytkenhävivi verkosta	0	0
26	NW_PCL_ZONE_1	Kytkenhävivi verkosta taajuus alueella 25-35Hz %	0	0
27	NW_PCL_ZONE_2	Kytkenhävivi verkosta taajuus alueella 35-45Hz %	0	0
28	NW_PCL_ZONE_3	Kytkenhävivi verkosta taajuus alueella 45-55Hz %	0	0
29	NW_PCL_ZONE_4	Kytkenhävivi verkosta taajuus alueella 55-60Hz %	0	0
30	NW_PCL	Kytkenhävivi verkosta keskimäärin %	0	0
31	COUP_PL_ZONE_1	Kytkenhävivi moottorista taajuus alueella 25-35Hz	0	0
32	COUP_PL_ZONE_2	Kytkenhävivi moottorista taajuus alueella 35-45Hz	0	0
33	COUP_PL_ZONE_3	Kytkenhävivi moottorista taajuus alueella 45-55Hz	0	0
34	COUP_PL_ZONE_4	Kytkenhävivi moottorista taajuus alueella 55-60Hz	0	0
35	COUP_TL_ZONE_1	Kokonaiskytkenhävivi moottorista alueella 25-35Hz	0	0

Kuva 21. Pisteiden luomista Excel-ohjelmalla

4.5 Toiminnan testaus

Viimeisessä vaiheessa valmis ohjelma ja kaaviokuvat ladattiin ohjainyksikköön. Toiminnan testaus tehtiin ohjainyksikössä asettelemalla muuttujille käsin arvoja. Testauksessa käytiin läpi jokainen muuttujan arvo erikseen ja sen vaikutus laskettuihin arvoihin tarkistettiin. Ohjelmaa monitoroitiin samanaikaisesti osana testausta, näin mahdolliset ohjelmointi- ja laskentavirheet karsittiin pois.

5 TULOKSET

Työn kuvaus oli yksinkertaisuudessaan tutkia moottorikäyttöjä kompressorikuormalla ja luoda apuvälineeksi moottorien hyötysuhdelaskentaohjelma, jolla päästäisiin vertailemaan kytkentöjen eroja ja kestopagneettimoottoreita vakio-oikosulkumoottoreihin.

Työssä onnistuttiin tekemään moottorikäyttöön soveltuva laskentaohjelma, joka laskee oleellisimmat tiedot prosessista. Laittevalintoihin ei kiinnitetty työssä huomiota, vaan kaikki laitteet olivat jo vakioituneet kyseisissä moottorikäytöissä. Mittalaitteiden mittatarkkuuden todettiin olevan riittävä ja kaikki laskenta tehtiin suoraan mitatuilla arvoilla.

Mitattuja tuloksia kytkennöistä ei saatu, koska ohjelman otetaan käyttöön vasta Helsingin jäähallin saneerauksen yhteydessä ensi kesänä. Ohjelman ensimmäisessä käyttöönotossa vertaillaan vakio-oikosulkumoottoria kestopagneettimoottoriin. Toisessa vaiheessa ohjelmalla verrataan 230 V:n ja 400 V:n kytkentöjen eroja Haapa-veden jäähallissa, jonka käyttöönotto on syksyllä 2015.

6 POHDINTA

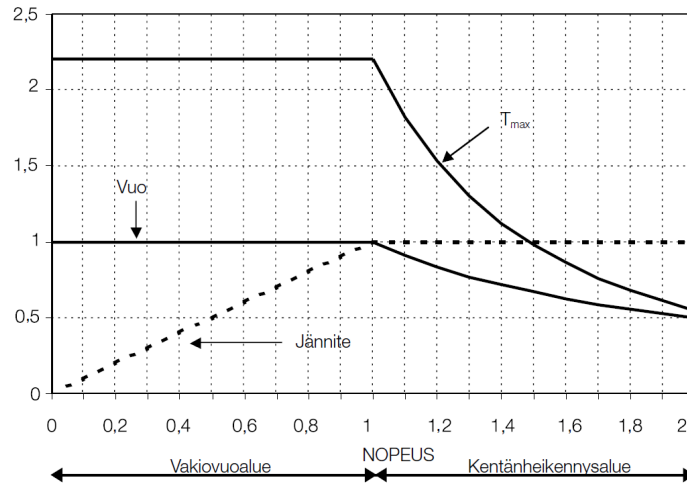
Työssä oleellisin asia oli ymmärtää moottorikäytön rakenne ja siinä käytettyjen komponenttien valinta, mutta ennen kaikkea prosessi. Oleellista oli ymmärtää että prosessin vaatimukset asettavat vaatimukset käytettävälle kierrosnopeudelle kompressorissa, mikä vaikuttaa taajuusalueeseen.

Taajuusalue on tärkeä osa hyötysuhdetta ja se vaikuttaa moottorin hyötysuhteeseen, kompressorin hyötysuhteeseen ja taajuusmuuttajan hyötysuhteeseen. Työssä laskenta jaettiin neljälle eri taajuusalueelle, jolloin saadaan selville millä taajuusalueella kytkentä tai toinen moottori on taloudellisempi. Kokonaishyötysuhdetta varten verkkoanalysoijat ovat tärkeä lisä laskentaa, koska taajuusmuuttajan hyötysuhde laskee osateholla. Käyttötuntilaskurin lisääminen oli oleellista, se kertoo tarkkaan kyseisen taajuusalueen käyttötunnit. Hyvästä hyötysuhteesta ei ole mitään hyötyä, jos kyseisen taajuusalueen käyttö on vähäistä.

Moottorikytkentöjen vertailussa on käytössä 400 V:n ja 230 V:n kytkentää. Ohjelmalla on tarkoitus vertailla kytkentöjen eroja. Oletettavasti 230V kytkentä on taloudellisempi yli 50Hz taajuuksilla, jolloin kytkentä on vielä vakiovuoalueella, koska kentänheikentymispiste on siirretty 87 Hz:n kohdalle. 400 V:n kytkennässä kentänheikennyspisteen yläpuolella maksimimomentin lasku on kääntäen verrannollinen taajuuden neliöön ja siten hyötysuhde laskee yli 50Hz taajuuksilla. Molemmilla moottoreilla on tässä tapauksessa 110kW taajuusmuuttaja, joka on 400V kytkennässä huomattavasti ylimitoitettu. Oletettavasti taajuusmuuttajan hyötysuhde on 400V kytkennällä huonompi, koska taajuusmuuttaja käy vain osateholla.

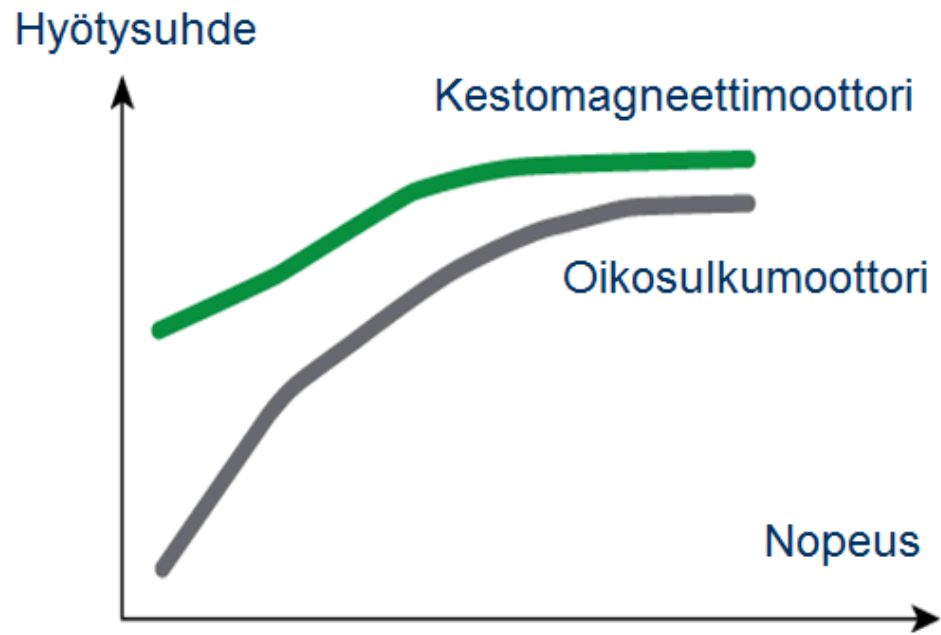
Moottorikäyttöistä löytyy paljon tietoa, varsinkin puhallin ja pumppukäyttöistä. Tässä tapauksessa kuitenkin moottorin kuormana ollut kompressorin on niin sanottu vakiomomenttikäyttö, josta tietoa ei löydy läheskään niin paljon, koska moottorin kuormitus osakierroksilla on käytännössä sama kuin nimellisuopeudessa. Myös yli 50 Hz:n käyttöistä löytyy todella vähän tietoa. Kestomagneettimoottoreista löytyy kyllä tietoa ja vertailevia kuvaajia, mutta käytännön tietoa ja mitattuja arvoja vakiomomenttikäyttöistä on todella vähän. Laskentaohjelman avulla saadaan tärkeää tietoa moottorien

hyötysuhde-eroista ja kytkentävaihtoehdoista eri taajuusalueilla. Laskentaohjelmalla saadaan myös tärkeät tiedot käyttötunneista eri taajuusalueilla, tähän ei ole aiemmin kiinnitetty mitään huomiota.

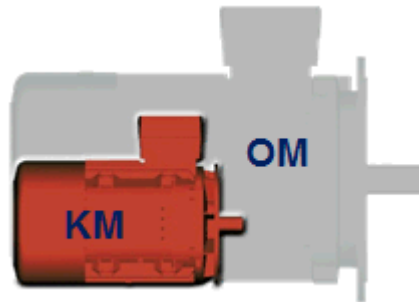


Kuva 22. Maksimimomentti, -jännite ja -vuo suhteellisen nopeuden funktiona

Kestomagneettimoottoria vertailtaessa vakio-oikosulkumoottoriin on hyötysuhde-ero todennäköisesti toisenlainen, ja kestopagneettimoottori onkin taloudellisempi osakierroksilla. Kestomagneettimoottorin edut tulevat esille juuri osakierroksilla, koska magnetointi ja jättämä kestopagneettimoottorissa ovat vakioita. Kestomagneettimoottorien nimellinen pyörimisnopeus voi olla 4000 rpm, joka on suurin sallittu ruvikompressorin pyörimisnopeus. Moottorien välisessä vertailussa voidaan vakio-oikosulkumoottorin maksimitaajuus nostaa 67 Hz:n kohdalle, jolloin moottorivertailussa saadaan molemmat moottorit pyörimään samaa nopeutta. Aikaisemmin maksimikierronnopeus on vakio-oikosulkumoottoreilla rajoitettu 3600 rpm, mutta jatkossa myös suurempia nopeuksia tullaan hyödyntämään. Suuremmissa nopeuksissa ruvikompressorin hyötysuhde paranee, ja mahdollisesti mitoituksessa voidaankin valita pienempi ja edullisempi kompressori, jota ajetaan suuremmilla kierroksilla ja paremmalla hyötysuhteella. Kestomagneettimoottoria vertailtaessa on otettava huomioon vakio-oikosulkumoottorin jättämä. Jotta moottorit saadaan teoriassa pyörimään samaa nopeutta, pitää taajuusmuuttajan laskennallista nopeutta hyödyntää ohjelmassa, koska muuten kestopagneettimoottori tekee suuremman työn prosessissa. Laskennallisen nopeuden liittämistä ohjelmaan ei tässä työssä käsitelty.



Kuva 23. Kestomagneettimoottorin ja oikosulkumoottorin hyötysuhteet



Kuva 24 Kestomagneettimoottorin koko verrattuna vakio-oikosulkumoottoriin

LÄHTEET

ABB. Ei päiväystä. Tekninen opas. [Verkkajulkaisu]. ABB OYj. [Viitattu 24.3.2015]. Saatavana: [http://www08.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11dafe92973be93c1256d2800415027/\\$file/Tekninen_opasnro7.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11dafe92973be93c1256d2800415027/$file/Tekninen_opasnro7.pdf)

Aura, L. Tonteri, AJ. 2011. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Helsinki: WSOY

Bitzer. Ei päiväystä. Screw compressors. [Verkkajulkaisu]. Bitzer company. [Viitattu 24.3.2015]. Saatavana: <https://www.bitzer.de/products/technologies/screw-compressors/>

Entes. Ei päiväystä. Verkkoanalysointit. [Verkkajulkaisu]. ENTES ELEKTRONIK. [Viitattu 24.3.2015]. Saatavana: <http://hedtec.procus.fi/documents/original/15290/8/1/entes-luettelo2010keyyt.pdf>

Fidelix. Ei päiväystä. FX2030A [Verkkajulkaisu]. Fidelix Oy. [Viitattu 24.3.2015]. Saatavana: http://www.fidelix.fi/documents/tuki/FX2030A_FI.pdf

Hakala, Pertti & Kaappola, Esko. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus, 2005

Hietalahti, L. 2011. Säädetty Sähkömoottorikäytöt. Tampere: Tammertekniikka

SKS. Ei päiväystä. Sähkömoottorit. [Verkkosivu]. SKS GROUP. [Viitattu 24.3.2015]. Saatavana: http://www.sks.fi/www/_Sahkomoottorit&id=IMfinity-LSMV-vakio-ja-jarrumoottorit

Sähköenergian kulutus kasvaa tasaisesti. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Kehittyvä Elintarvike & Elintarviketieteiden Seura r.y. [Viitattu 24.3.2015]. Saatavana: <http://kehittyvaelintarvike.fi/teemajutut/44-sahkoenergian-kulutus-kasvaa-tasaisesti>

VACON. Ei päiväystä. HVAC 100. [Verkkosivu]. Vacon Oyj. [Viitattu 24.3.2015]. Saatavana: <http://www.vacon.com/fi-FI/tuotteet/Taajuusmuuttajat/vacon-100-hvac/?source=products>