



**SAVONIA**

# **Sähkömoottorikuormitteisen akkujen- testauslaitteiston toteuttaminen**

**Ville Korhonen**

Opinnäytetyö

---

**Ammattikorkeakoulututkinto**



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Automaatiotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Ville Korhonen	
Työn nimi Sähkömoottorikuormitteisen akkujentestauslaitteiston toteuttaminen	
Päiväys 31.8.2012	Sivumäärä/Liitteet 73 / 12
Ohjaaja(t) Risto Niemi, Antti Ruotsalainen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-amk, Varkaus	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Savonia-amk:n Varkauden yksikölle, osana valtakunnallista EVELINA sähköajoneuvohanketta. Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella ja toteuttaa sähkömoottorikuormitteinen akkujentestauslaitteisto. Testauslaitteistoa tullaan käyttämään akkujen ja muiden sähköajoneuvojen komponenttien testaukseen.</p> <p>Opinnäytetyö aloitettiin etsimällä ja vertailemalla erilaisia laitteita testauslaitteistoa varten. Hankintapäätösten tekemisen jälkeen aloitettiin testauslaitteiston sähkö- ja konesuunnittelu. Hankitut laitteet asennettiin ja niille tehtiin ohjaus- ja mittausohjelma käyttämällä LabVIEW-ohjelmointiympäristöä. Tehty ohjelma käyttää NI compactRIO I/O-moduulia laitteiden ohjaamiseen ja mittaamiseen. Mittaukset ohjelmaan kerätään laitteista CANopen-väylän kautta.</p> <p>Tämän opinnäytetyön lopputuloksena saatiin suunniteltua testauslaitteisto, tehtyä tarvittavat laitehankinnat ja toteutettua testauslaitteiston kuormaksi tuleva laitteisto.</p>	
Avainsanat Sähköajoneuvo, Sähkömoottori, Taajuusmuuttaja, CANopen, Akku, LabVIEW	

Field of Study Natural Sciences			
Degree Programme Degree Programme in Automation Technology			
Author(s) Ville Korhonen			
Title of Thesis Implementation of Electric Motor Loaded Testing System for Secondary Batteries			
Date	31.8.2012	Pages/Appendices	73 / 12
Supervisor(s) Risto Niemi, Antti Ruotsalainen			
Client Organisation/Partners Savonia UAS, Varkaus			
<p>Abstract</p> <p>This thesis was made for Savonia University of Applied Sciences, Varkaus, as a part of national electric vehicle project called EVELINA. The aim of this thesis was to design and implement an electric motor loaded testing system for secondary batteries. This testing system is going to be used for testing secondary batteries and other electric vehicle components.</p> <p>The thesis was started by searching and comparing of different devices for testing system. After decision of what devices were going to be purchased, began electrical and mechanical designing of the testing system. The purchased devices were installed. The final thing to do was program the control and measurement program by using LabVIEW programming environment. This program uses NI compactRIO I/O-module to control and measure devices. Measurements are collected from devices via CANopen network bus.</p> <p>The end result of this thesis was that the testing system was designed, the required equipments for testins system was purchaced and load system of the testing system was implemented.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Electric vehicle, Electric motor, Frequency converter, CANopen, Secondary Battery, LabVIEW</p>			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	7
2	EVELINA-hanke.....	8
3	SÄHKÖKONEET .....	10
3.1	DC-moottori .....	10
3.1.1	Harjallinen DC-moottori .....	11
3.1.2	Harjaton DC-moottori .....	12
3.2	AC-moottori.....	12
3.2.1	Induktiomoottori .....	13
3.2.2	Kestomagneettitahtimoottori (PMSM).....	14
3.2.3	Servomoottori .....	16
4	TAAJUUSMUUTTAJA .....	18
4.1	Taajuusmuuttajan toimintaperiaate.....	18
4.2	Parametrinti ja ohjaus .....	19
5	AKKU .....	20
5.1	Akun rakenne ja toimintaperiaate .....	20
5.2	Akkujen vertailu.....	21
5.3	Akunhallintajärjestelmä .....	23
6	CANOPEN .....	24
6.1	NMT .....	24
6.2	SDO.....	25
6.3	CANopen-väylän rakenne .....	25
7	OPINNÄYTETYÖSSÄ APUNA KÄYTETYT TIETOKONEOHJELMAT .....	28
7.1	LabVIEW.....	28
7.2	AutoCAD ja Inventor .....	29
8	LAITEVAATIMUKSET JA SUORITUSARVOJEN MÄÄRITTÄMINEN .....	31
9	LAITTEISTOVALINNAT .....	32
9.1	Sähköajoneuvomoottori ja moottorinohjain.....	32
9.2	Akkupaketti .....	34
9.3	Kuormamoottori ja taajuusmuuttaja .....	36
9.4	Mittaus- ja ohjausjärjestelmä.....	39
9.5	Muut tarvikkeet .....	39
10	TESTAUSLAITTEISTON SUUNNITTELU .....	42
10.1	SÄHKÖSUUNNITTELU.....	42
10.2	KONESUUNNITTELU.....	44

11 TESTAUSLAITTEISTON ASENTAMINEN JA OHJELMOINTI .....	47
11.1 Sähköajoneuvomoottorin kiinnike ja kiinnitysalusta .....	47
11.2 Sähköasennukset.....	49
11.3 I/O-asennukset .....	53
11.4 Taajuusmuuttajan ja vaihto/tasasuuntaajan parametointi .....	54
11.5 Ohjausohjelma .....	58
11.5.1 Toiminta .....	59
11.5.2 Real-Time ohjelma.....	60
11.5.3 Kuormamoottorin ohjaus- ja mittausohjelma.....	63
11.5.4 Ohjausohjelman käyttäminen.....	67
12 YHTEENVETO .....	69
LÄHTEET .....	71

## LIITTEET

- Liite 1 Ajoneuvosähkömoottoreiden esittely
- Liite 2 Piirustus toteutuneesta sähköasennuksesta
- Liite 3 ME0907 mittapiirustus
- Liite 4 ME0907 kiinnikkeen piirustus
- Liite 5 ME0907 / ABB 7,5 kW induktiomoottori asennuskuva
- Liite 6 ME0907 / ABB 8,2 kW servomoottori asennuskuva
- Liite 7 Piirustus kiinnitysalustan pohjalevystä
- Liite 8 Piirustus moottorikytkimestä
- Liite 9 Real-Time ohjelman koodi
- Liite 10 Initialisointi aliohjelman koodi
- Liite 11 Kuorman ohjaus ja mittaus pääohjelman koodi
- Liite 12 Kuva opinnäytetyönä toteutuneesta kokonaisuudesta

## 1 JOHDANTO

Viime vuosisadan aikana fossiilisten polttoaineiden käyttö on lisääntynyt räjähdysmäisesti. Näiden fossiilisten polttoaineiden käyttö on osaksi aiheuttanut globaalin ilmaston lämpenemisen. Pelkästään liikenteestä aiheutuvat kasvihuonekaasut ovat n. 13 % koko maailman kasvihuonepäästöistä (ilmasto.org).

Haitallisten päästöjen lisääntyminen on aiheuttanut päästönormien tiukentumista. Normien tiukentumisen ja jatkuvan energian kallistumisen johdosta on ajoneuvoteollisuus pakotettu kehittämään uudenlaisia tekniikoita ajoneuvojen päästöjen vähentämiseksi. Ajoneuvoteollisuus onkin kehittänyt hybridiajoneuvoja, joissa voiman lähteenä toimii normaalin polttomoottorin lisäksi sähköinen energiavarasto ja sähkömoottori. Hybridien rinnalle on nykyisin tullut myös puhtaita sähköajoneuvoja, joiden käyttöä pyritään lisäämään.

Suomessa sähköisen liikenteen edistämiseksi on käynnistetty Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskuksen (TEKES) toimesta EVE-ohjelma. Ohjelma jakaantuu viiteen päähankkeeseen, joista yksi on nimeltään Valtakunnallinen sähköajoneuvojen testausympäristö EVELINA. Tämän hankkeen tarkoitus on selvittää sähköajoneuvojen yleistymisen esteitä, sekä testata sähköajoneuvoja ja niiden yksittäisiä komponentteja. Lisäksi hankkeen avulla pyritään edistämään uutta liiketoimintaa alalle. (EVELINA.)

Myös tämä opinnäytetyö on valmistettu osana EVELINA-hanketta. Opinnäytetyönä valmistettu osa sähkömoottorikuormitteista akkujentestauslaitteistoa tulee jatkossa palvelemaan erilaisten akkujen ja sähköajoneuvojen komponenttien, kuten sähkömoottoreiden ja moottorinohjaimien testauksessa. Myöhemmin laitteistoa voidaan käyttää mm. moottorikäyttöjen opetuslaitteistona.

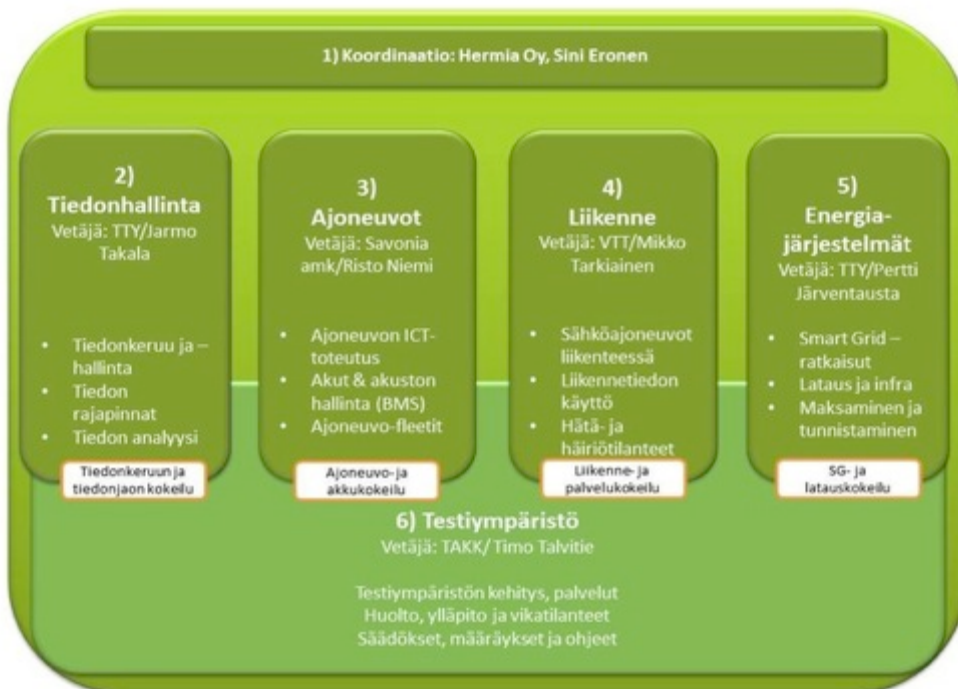
Tämän opinnäytetyön tuloksena saatiin suunniteltua testauslaitteisto. Testauslaitteistoa varten tehtiin tarvittavat laitehankinnat, sekä toteutettiin testauslaitteiston kuormana toimiva laitteisto ja sille ohjausohjelmisto.

## 2 EVELINA-hanke

EVELINA-hanke on valtakunnallinen sähköajoneuvojen testausympäristö. EVELINA on yhteen kokoava konsortio, jossa osallisina on yrityksiä, tutkimus- ja oppilaitoksia, sekä muita organisaatioita. Konsortion tavoitteena on testata sähköajoneuvoja ja komponentteja erilaisissa toimintaympäristöissä ja olosuhteissa. EVELINA-hanke kestää viisi vuotta, jonka aikana tutkitaan sähköajoneuvoja ja niiden vaikutusta liikenteeseen, sekä sähköajoneuvoissa tarvittavan energian jakeluun ja tuotantoon. Hankkeessa on mukana toimijoita mm. Varkaudesta, Kuopiosta, Tampereelta, Helsingistä, Lappeenrannasta ja Vaasasta. (EVELINA) Myös Savonia-amk on osana kyseistä hanketta.

Hankkeen avulla pyritään luomaan uutta liiketoimintaa, kartoittamaan sähköajoneuvojen yleistymisen esteitä ja niiden mahdollisuuksia, sekä edistämään kaupallisia testauspalveluita. Hankkeen rahoittajana on Tekesin EVE-ohjelma. (EVELINA.)

EVELINA-hanke koostuu viidestä eri paketista. Savonia-amk toimii vetäjänä ajoneuvot paketissa (Kuvio1).



KUVIO 1 EVELINA-hankkeen jakautuminen (Kuvakaappaus EVELINA)



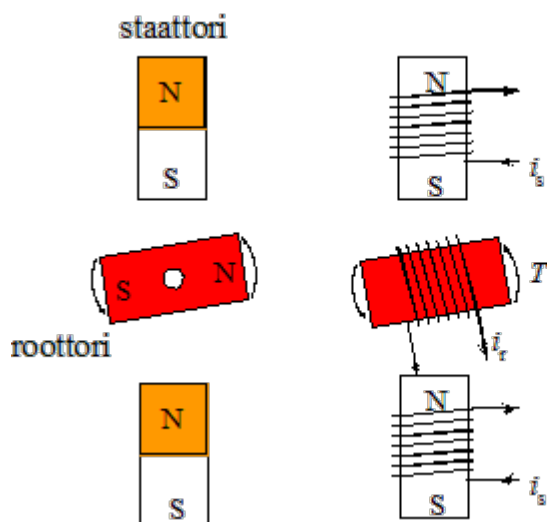
Savonia osallistuu ajoneuvopakettiin kahdella sähköajoneuvolla, Varkaudessa olevalla Tazzari Zero sähköajoneuvolla ja Kuopion yksikköön hankitulla THINK City sähköajoneuvolla. Nämä kaksi sähköajoneuvoa ovat mukana EVELINA-hankkeen ajoneuvo-fleetissä, eli ns. laivueessa, joihin on asennettu ajoneuvojen käyttöä mittaava ja kartoittava järjestelmä.

Lisäksi tämä opinnäytetyönä valmistettu testauslaitteisto palvelee osana hanketta, testaamalla ja simuloimalla sähköajoneuvojen käyttöä, sekä niiden komponentteja. Osallisena on myös Savonia-ammattikorkeakoulun Kuopion yksikön sähkövoimatekniikanosastolle rakennettava osittain samanlainen testausjärjestelmä.

### 3 SÄHKÖKONEET

Sähkökone on sähkömekaaninen kone, jonka tarkoitus on muuttaa sähköenergia mekaaniseksi energiaksi, sekä päinvastoin. Sanaa moottori käytetään, jolloin energia muutetaan sähköisestä muodosta mekaaniseksi, kun taas päinvastaisessa tilanteessa sähkökoneesta käytetään nimeä generaattori, jolloin mekaaninen energia muutetaan sähköenergiaksi. (Husain, 197) Sähkömoottorit voidaan luokitella karkeasti kahteen eri ryhmään, DC- eli tasavirtamoottoreihin, jota tarkastellaan kappaleessa 3.2 ja sen eri versioita kappaleissa 3.1.1 ja 3.1.2, sekä AC- eli vaihtovirtamoottoreihin, jota käsitellään kappaleessa 3.2 ja sen eri versioita kappaleissa 3.2.1, 3.2.2 ja 3.2.3.

Kuviota 2 tarkastellessa voidaan helposti ymmärtää erittäin yksinkertaisen sähkömoottorin toiminta. Kolmesta kesto- tai sähkömagneetista muodostetun sähkömoottorin roottori pyrkii aina kääntymään samansuuntaiseksi kahden muun kesto- tai sähkömagneetin kanssa ja näin synnyttämään pyörivän voiman roottorin akselille. (Lappeenranta University of Technology.)



KUVIO 2 Yksinkertaisen sähkömoottorin toiminta (Kuvakaappaus Lappeenranta University of Technology)

#### 3.1 DC-moottori

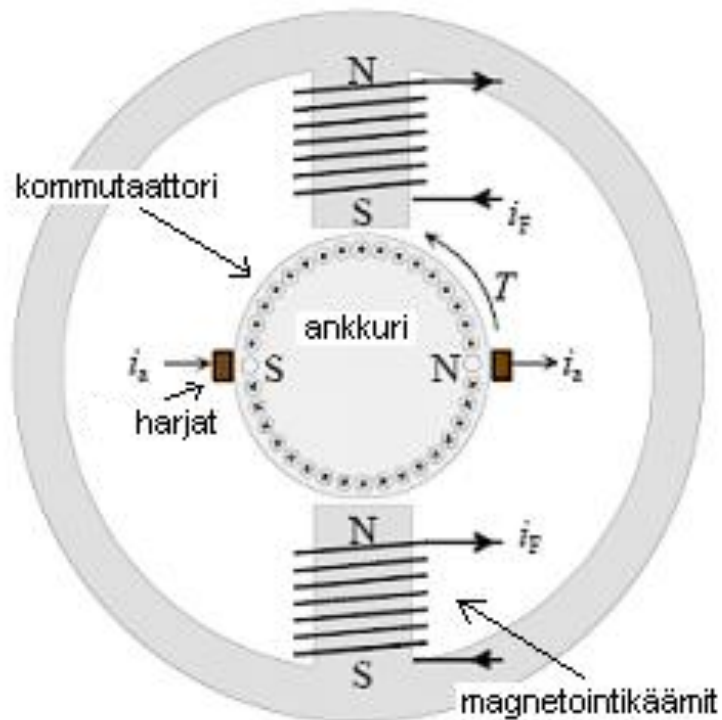
DC-moottorit voidaan jakaa kahteen eri ryhmään, harjallisiin ja harjattomiin moottoreihin. DC- eli tasavirtamoottorit ovat olleet kautta aikojen suosittuja ajomoottoreita säädetyissä sähkökäytöissä (Hietalahti 2011a, 37). Yksinkertaisten säätösovellusten

avulla DC-moottoreiden kierrosnopeuden ja väännön säätö ovat olleet helposti toteutettavissa (Lappeenranta University of Technology).

Esimerkiksi VR:n SR1-sähkövetureissa käytetään edelleen DC-moottoria ajomoottorina ja sähköajoneuvon moottoriksi DC-moottori soveltuisi lähes suoraan tasasähkölähteestä syötettynä. (Hietalahti 2011a, 37.)

### 3.1.1 Harjallinen DC-moottori

Harjallisen DC-moottorin toiminta perustuu pyörivään kommutaattoriin. Kommutaattori on sylinterimäinen rakenne, joka on tehty toisistaan eristetyistä kiilanmuotoisista kupariliuskoista (Hietalahti 2011b, 35). Kuvio 3 selviää yksinkertaisen DC-moottorin rakenne ja toimitaperiaate.



KUVIO 3 DC-moottorin rakenne (Kuvakaappaus Lappeenranta University of Technology)

Kun magnetointikämeille ja harjoille tuodaan DC-jännite se synnyttää magnetointikämeille ja ankkurikämeille magneettikentät. Tällöin nämä vastakkaiset magneettikentät aiheuttavat ankkurille pyörivän liikkeen. Kun ankkuri on pyörähtänyt puoli kierrosta, vaihtaa kommutaattori ankkurikäämien napaisuuden ja näin liike jatkuu edelleen.

Harjallisten DC-moottoreiden hyviksi ominaisuuksiksi voitaisiin todeta niiden korkea vääntömomenttitiheys ja ohjaukseen tarvittavan tehoelektronikan yksinkertaisuus. Toisaalta harjallisen DC-moottorin selvä heikkous onkin kommutaattorista ja harjoista koostuva mekaaninen vaihtosuuntaaja. Kuluvat harjat ovatkin säännöllistä huoltoa kaipaava kohde. Lisäksi kallis mekaaninen rakenne ja sen heikkous korkeilla kierrosnopeuksilla ovat käytännössä johtaneet DC-moottoreiden häviämiseen teollisuudesta. (Hietalahti 2011a, 37-39.)

### 3.1.2 Harjaton DC-moottori

Harjaton DC-moottori eroaa perinteisestä hiiliharjallisesta DC-moottorista toiminnaltaan siten, että sen työvirta syötetään paikallaan olevaan staattoriin kuin taas hiiliharjallisessa työvirta syötetään hiiliharjojen kautta roottorin ankkurikäämitykselle. (Hietalahti 2011b, 48.)

Harjattomien DC-moottoreiden hyviä ominaisuuksia ovat korkea hyötysuhde, kompakti rakenne, huoltovapaus, luotettavuus, matala melutaso ja jäähdytyksen ja ohjauksen helppous. Huonoiksi ominaisuuksiksi voisi mainita korkean hinnan, turvallisuusriskit oikosulkutilanteissa, sekä rajallinen vakioitehoalue ja suurten pyörimisnopeuksien heikko kesto. (Hietalahti 2011b, 47-48.)

## 3.2 AC-moottori

AC- eli vaihtovirtamoottorit voidaan laajasti jakaa kahteen eri ryhmään, tahtimoottoreihin (synkronisiin) ja epätahtimoottoreihin (asynkronisiin). Ero näiden kahden moottorityypin välillä on se, että nimensä mukaan tahtimoottori pyörii tarkalleen tahtinopeutta kun epätahtimoottori pyörii tahtinopeutta hitaammin. (Husain, 225.)

Toiminnaltaan ja rakenteeltaan tahti- ja epätahtimoottorit ovat hyvinkin samanlaisia. Epätahtimoottorin toiminta perustuu kolmivaiheiseen staattorikäämitykseen, johon syötetään kolmivaihevirtaa. Näin syntyy pyörivä magneettikenttä staattori- ja roottorikäämityksen väliseen ilmaväliin. Pyörivä magneettikenttä indusoi jännitteen oikosuljettuun roottorikäämitykseen ja tämä jännite saa aikaan roottorikäämitykseen virran, joka aiheuttaa vastakkaisen magneettikentän suhteessa staattorin magneettikenttään. (Halme & Parikka 2005, 5-6) Nämä vastakkaiset magneettikentät aiheuttavat roottorin pyörivän liikkeen.

Tahtimoottorissa on samanlainen staattorikäämitys kuin epätahtimoottorissa. Eroavaisuus epätahtimoottoriin tulee roottorin osalta. Tahtimoottorin roottorissa on magneettikäämitys, johon syötetään tasavirtaa harjojen ja liukurenkaiden kautta, tai roottorin magneettinavat on voitu toteuttaa myös kestopagneetein. (Halme & Parikka 2005, 6) Tällaisia moottoreita kutsutaankin kestopagneettitahtimoottoreiksi.

### 3.2.1 Induktiomoottori

Puhuttaessa epätahtimoottorista useimmiten sillä tarkoitetaan 3-vaiheista induktiomoottoria tai toiselta nimeltään 3-vaiheista oikosulkumoottoria. Kuitenkin tätä sähkökonetyyppiä valmistetaan myös 1-vaiheisena. 1-vaiheisia moottoreita käytetäänkin lähinnä vain kotitaloussovelluksissa, jolloin voidaan käyttää normaalia pistotulppaa laitteiden kytkemiseksi.

Nämä sähkömoottorit ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja kestäviä. Tästä johtuen induktiomoottorista onkin tullut teollisuuden yleisin sähkökonetyyppi. Induktiomoottoreita onkin useasti ”varastossa” monissa eri kokoluokissa. Induktiomoottorit ovat lisäksi hyvinkin edullisia, suurten valmistusmäärien ja yksinkertaisen rakenteen ansiosta. (Hietalahti 2011b, 59.)

Rakenteeltaan induktiomoottori on kuvion 4 mukainen. Kuviossa on staattori (1), roottori (2), laakeri (3), runko (4), tuuletin (5), liitinrasia (6), staattorikäämitys (7) ja roottorikäämitys (8). (Halme & Parikka 2005, 5.)



KUVIO 4 Induktiomoottorin rakenne (Kuvakaappaus Kortelainen 2009)

### 3.2.2 Kestomagneettitahtimoottori (PMSM)

Kestomagneettitahtimoottori eli PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor), kuten nimestä huomaa, niissä käytetään kestmagneetteja ja ne ovat tahtikoneita.

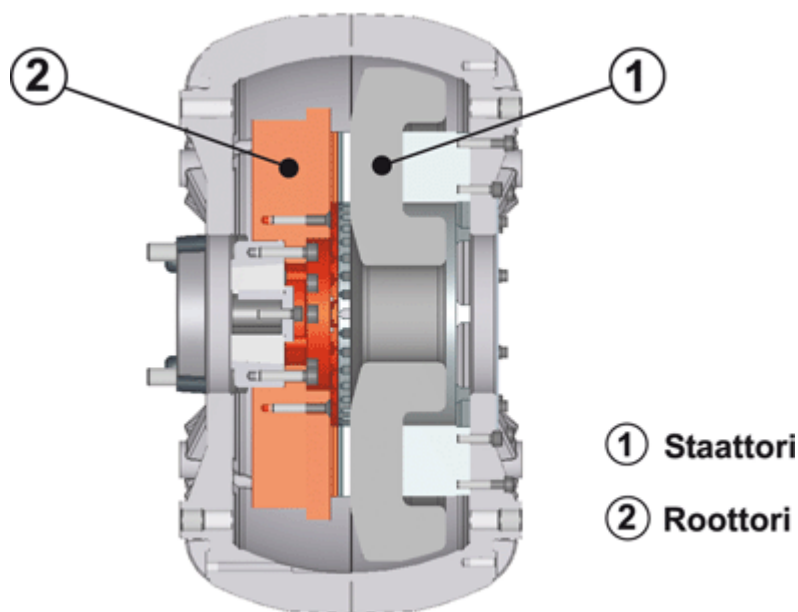
Viime aikoina kestmagneettimoottoreita on tutkittu ja kehitetty erittäin paljon, koska niiden vääntömomentti ja hyötysuhde on verrattain hyvä suhteessa epätahtikoneisiin. Ominaisuuksiltaan kestmagneettimoottorit sopivat hyvin teollisuuden, hajautetun energian ja sähköajoneuvojen sähkökoneiksi. (Hietalahti 2011b, 111) PMSM koneita käytetään laajasti myös kotitalouskoneissa, kuten jääkaapeissa, pölynimureissa, astianpesukoneissa ja ilmastointilaitteissa. Myös hydraulisia toimilaitteita on korvattu ajoneuvoissa ja lentokoneissa PMSM-koneilla, ja täten saavutetaan korkeampi polttoainetehokkuus. (Nam 2010, 133)

Rakenteeltaan kestmagneettimoottorit voidaan luokitella kahteen ryhmään, radiaali- ja aksiaalivuokoneiksi. Luokittelu tehdään magneettivuon vaikuttavan suunnan mukaan suhteessa akselilinjaan. (Hietalahti 2011a, 55)

Radiaalivuokoneen rakenne on hyvin samanlainen kuin epätahtikoneiden. Erona näissä koneissa on roottorikäänitys, joka on korvattu kestopagneettimoottorissa kestopagneetein.

Aksiaalivuokoneiden rakenne koostuu yhdestä tai useammasta staattori-roottoriyhdistelmästä. Tällöin pituutta lisäämällä ja useammalla staattori-roottoriyhdistelmällä saadaan aikaan suorituskyvyltään erilaisia moottoreita. (Hietalahti 2011a, 56)

Kuviossa 5 on esitetty aksiaalivuorakenteinen kestopagneettitahtimoottori. Kyseissä moottorissa on yksi staattori-roottoriyhdistelmä, jossa roottori on toteutettu kestopagneetein.



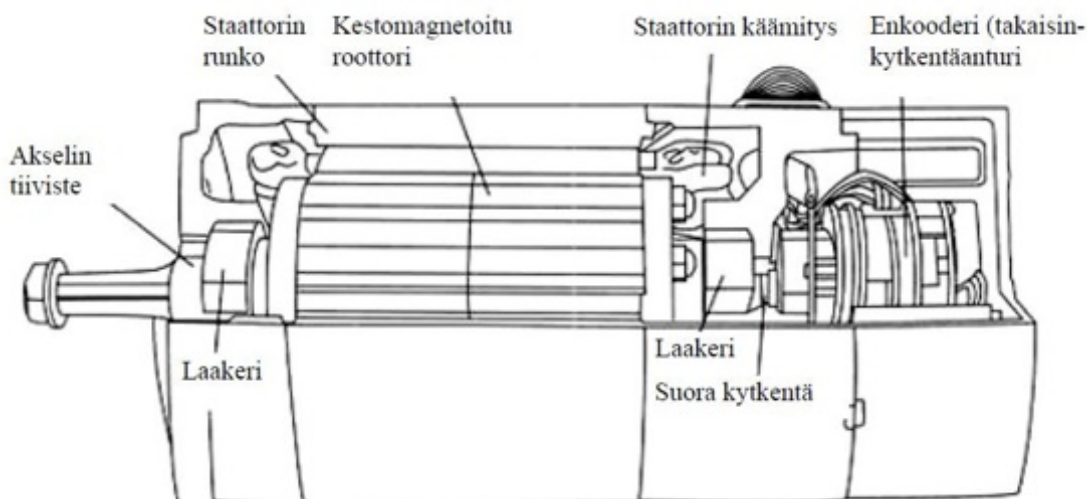
KUVIO 5 Yksipuolinen aksiaalivuokone (Kuvakaappaus AXCO-Motors Oy)

Näiden epäsymmetristen yksipuoleisten aksiaalivuokoneiden heikkoutena ovat suuret magneettiset aksiaalivoimat. Aksiaalinen voima syntyy kun kestopagneetein toteutettu roottori pyrkii vetämään rautarakenteita puoleensa ja siten aiheuttaa akselilaakeroinnille suurta kuormaa. Tyypillisesti tämä voima on huomattavasti suurempi kuin vääntömomenttia tuottava voima. Tätä huonoa ominaisuutta voidaan vähentää lisäämällä akselille aksiaalilaakerointi tai tekemällä rakenteesta symmetrinen, jolloin roottorin molemmiin puolin on staattorit ja täten magneettiset aksiaalivoimat kumoavat toisensa. (Hietalahti 2011a, 56.)

### 3.2.3 Servomoottori

Servomootoreiksi kutsutaan sellaisia moottoriratkaisuja, jotka ovat säädettyjä ja takaisinkytkettyjä. AC-servomootoreilla on hyvä dynamiikka, eli pieni hitausmomentti ja suuri vääntömomentti. Niitä käytetäänkin esimerkiksi teollisuusroboteissa ja koneissa, joissa tarvitaan tarkkaa pyörimisnopeuden, vääntömomentin ja asennon säätöä ja tietoa. ( Halme & Parikka 2005, 5.)

Servomoottori voi olla toteutettu joko AC- tai DC-tekniikalla. Vanhemmissa sovelluksissa ne ovat yleensä olleet DC-mootoreita. Tekniikan kehittyessä kuitenkin AC-servotekniikka on yleistynyt ja se voi olla joko tahti- tai epätahtitekniikkaan perustuva. Tyypillisesti AC-servomoottori koostuu 3-vaiheisesta moottorista sekä tarkasta takaisinkytkentäanturista eli enkooderista. Takaisinkytkentäanturi voi olla tyypiltään pulssianturi, resolveri tai takometri. Takaisinkytkentäanturin tiedon perusteella tiedetään moottorin akselin asento tai pyörimisnopeus. Lisäksi servomoottorin ohjaukseen tarvitaan taajuusmuuttaja. Rakenteeltaan AC-servomoottori voi olla hyvin samanlainen kuin normaali induktiomoottori. Kuitenkin tyypillisesti servomootoreissa käytetään kestopagneettitekniikkaa, kuten kuviossa 6 olevassa moottorissa. (Halme & Parikka 2005, 6-7.)



KUVIO 6 Kestomagneettiservomoottori (Kuvakaappaus Halme & Parikka 2005, 8)

Normaalisti sähkökoneen tuuletin on kytketty suoraan sen akseliin, jolloin tuuletin pyörii samalla nopeudella kuin itse kone. Tästä syystä hitailla nopeuksilla jäähdytys ei

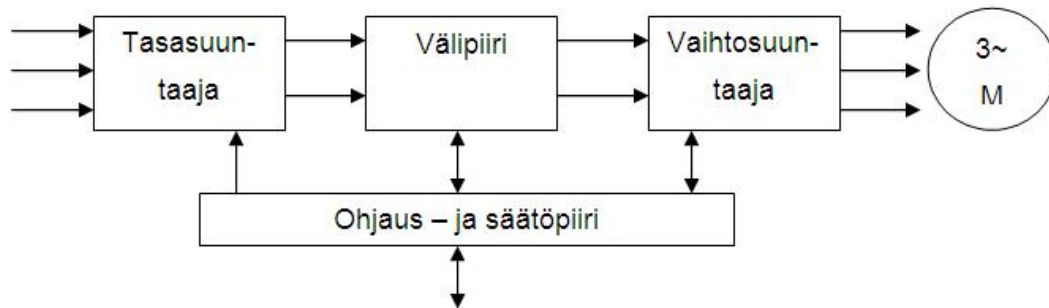


ole aina riittävä. Uudemmissa servomootoreissa tämä ongelma on ratkaistu erillisellä sähkökäyttöisellä tuulettimella, jonka käyttö voidaan säätää erilaisiin tilanteisiin sopivaksi. Tällöin servomootori ei pääse ylikuumentamaan missään tilanteessa.

## 4 TAAJUUSMUUTTAJA

Taajuusmuuttaja eli muilta kutsumanimiltään tamu, invertteri tai taajuudenmuuttaja on sähkölaite, joka mahdollistaa lähtötaajuuden säätämisen halutun suuruiseksi, riippumatta syöttöverkon taajuudesta. (Mäkinen & Kallio 2004, 137) Siitä on tullut yksi teollisuuden perussähkölaitteista. Taajuusmuuttajalla voidaan säätää portaattomasti kolmivaiheisen sähkömoottorin pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia. (Lappeenranta University of Technology) Kolmivaiheisten sähkömoottoreiden pyörimisnopeus on suoraan verrannollinen siihen syötettävän jännitteen taajuuteen. Kytkemällä taajuusmuuttaja moottorikäyttöön voidaan sen pyörimisnopeutta muuttaa portaattomasti. (Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry, 44) Seuraavaksi kappaleessa 4.2 on tarkasteltu taajuusmuuttajan toimintaperiaatetta ja kappaleessa 4.3 sen parametrintia ja ohjausta.

### 4.1 Taajuusmuuttajan toimintaperiaate



KUVIO 7 Taajuusmuuttajan toimintaperiaate (Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry, 11)

Kuviossa 7 on esitetty taajuusmuuttajan toimintaperiaate ja sen 4 pääosaa; se koostuu tasasuuntaajasta, välipiiristä, vaihtosuuntaajasta ja ohjaus- ja säätöpiireistä. Tasasuuntaajaan syötetään kolmivaiheista vaihtojännitettä, jossa se muunnetaan sykkiväksi tasajännitteeksi. Välipiiri toimii "varastona", josta vaihtosuuntaajan kautta sähkömoottori saa energian. Välipiirissä sykkivä tasajännite stabiloidaan, muunnetaan tasavirraksi tai muuttuvaksi jännitteeksi riippuen välipiirin tyypistä. Vaihtosuuntaajassa tasajännite muunnetaan takaisin kolmivaiheiseksi muuttuvaksi vaihtojännitteeksi, eli siinä lähtöjännite sopeutetaan viimeisen kerran ennen moottorille syöttämistä. Ohjaus- ja säätöpiiri ohjaa taajuusmuuttajan puolijohteita. Se myös toimii taajuusmuuttajan I/O-liitäntöinä. I/O-liitäntöjen kautta taajuusmuuttaja vastaanottaa sille kuuluvia

viestejä, sekä lähettää viestejä muille laitteille. (Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry, 11–31.)

#### 4.2 Parametointi ja ohjaus

Ennen kuin taajuusmuuttaja voidaan ottaa käyttöön, täytyy se parametroida. Normaalisti taajuusmuuttajassa on satoja eri parametreja, jotka täytyy asettaa oikein. Asetettujen parametrien täytyy myös vastata sähkömoottorikäytön ominaisuuksia. Väärin asetetut parametrit voivat aiheuttaa moottorin epäloogisen toiminnan tai moottori ei käynnisty lainkaan. Näitä asetettavia parametreja ovat mm. moottorin nimellisarvot, maksimi syöttötaajuus ja kiihdytysaika. Joidenkin valmistajien taajuusmuuttajissa parametrit voidaan suojata parametrilukolla. Tämän ansiosta tärkeitä parametreja ei päästä muuttamaan vahingossa. Kun taajuusmuuttaja halutaan ohjelmoida uudelleen toiselle moottorikäytölle tai se siirretään muuhun käyttöön, on se hyvä nollata ennen uudelleen ohjelmointia. Tämä nollaaminen tapahtuu tehdasasetusten palauttamisen parametrin kautta. Kyseinen parametri onkin yksi tärkeimmistä. (Hietalahti 2011a, 89.)

Taajuusmuuttajien ohjaus ja parametointi voidaan tehdä taajuusmuuttajan mukana toimitettavalla PC-ohjelmistolla tai väyläliitännän kautta. Yksinkertaisemmissa malleissa myös paikallisohjausyksiköstä käsin näppäilemällä. Käytettäessä väyläliitännää joudutaan useimmiten hankkimaan myös kyseiselle väylälle sopiva lisäkortti, joka liitetään taajuusmuuttajaan. (Mäkinen & Kallio 2004, 139) Lisäksi lähes aina taajuusmuuttajissa on sekä analogisia että digitaalisia tulo- ja lähtöliitäntöjä. Nämä liitännät lyhennetään yleensä AI, AO, DI ja DO. Taajuusmuuttajissa näitä liitäntöjä käytetään ohjauksien, hälytyksien ja lukitusten toteuttamiseen. (Hietalahti 2011a, 89)

## 5 AKKU

Puhuttaessa akusta, ensimmäisenä mieleen tulee auton käynnistysakku tai kannettavien laitteiden akut. Toisaalta sanaa akku käytetään myös monessa muussa yhteydessä. Voidaankin ajatella, että akku on eräänlainen varasto, johon voidaan varastoida energiaa. Tämä varastoitava energia voi olla sähköistä, kuin myös painetta (painakut) tai kineettistä energiaa (esim. vauhtipyörät). Tässä opinnäytetyössä käytettäessä sanaa akku, tarkoitetaan sähköisen energian varastointiin käytettävää akkua.

Sähköisen energian varastoinnissa nimitystä akku käytetään sellaisista sähköpareista, jotka pystytään uudelleen lataamaan käytön jälkeen. (Hentunen 2012) Akku onkin sähkökemiallinen järjestelmä, jota purettaessa tai ladatessa siinä aiheutuu kemiallisia reaktioita. (Hietalahti 2011a, 95)

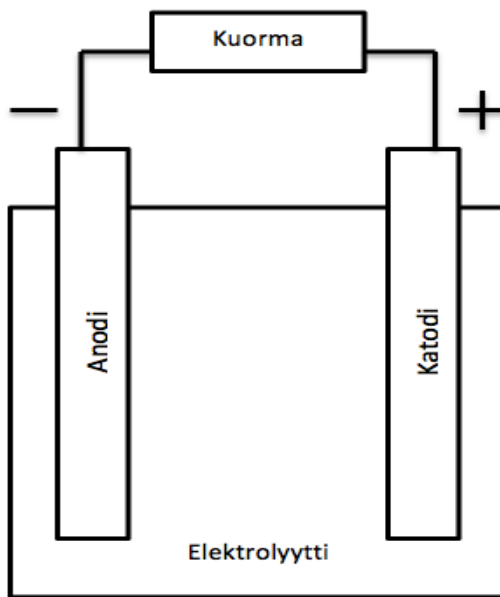
Akkuja onkin monia erilaisia, joissa käytetään eri materiaaleja. Näitä materiaaleja ovat mm. lyijy (Pb), litium (Li), nikkeli (Ni), sinkki (Zn), rauta (Fe), hopea (Ag), jne.. Kuitenkin näillä kaikilla materiaaleilla on sama toimintaperiaate, joka perustuu hapetus- pelkistymisreaktioon.

Kappaleessa 5.1 on tarkasteltu akun rakennetta ja toimintaperiaatetta, kappaleessa 5.2 on keskitytty erilaisten akkujen vertailuun ja kappaleessa 5.3 akunhallintajärjestelmään.

### 5.1 Akun rakenne ja toimintaperiaate

Rakenteeltaan akku koostuu yhdestä tai useammasta kennosta, jotka on kytketty sarjaan tai rinnan riippuen halutusta käyttöjännitteestä tai kapasiteetista. (Linden & Reddy 2010, 1.3.)

Akun kenno koostuu kolmesta pääkomponentista, anodista, katodista ja elektrolyytistä. Anodi tai negatiivinen elektrodi toimii kennossa pelkistäjänä, joka luovuttaa elektroneja ulkoisen virtapiirin kautta. Katodi tai positiivinen elektrodi toimii kennossa hapehtajana ja vastaanottaa elektroneja. Kennossa oleva elektrolyytti toimii ionien kuljettajana anodin ja katodin välillä. Tyypillisesti elektrolyytti on nestettä, mutta joissakin akkutyypeissä käytetään myös kiinteää tai hyytelömäistä polymeerielektrolyyttiä. (Linden & Reddy 2010, 1.3) Kuvio 8 havainnollistaa akun ja kennon rakennetta.



KUVIO 8 Akun ja kennon rakenne

Kun akkua puretaan alkaa anodi hapettua. Hapettuessa anodi vapauttaa elektroneja ulkoisen virtapiirin kautta katodille ja aiheuttaa näin sähkövirran. Anodin vapauttamat elektronit siirtyvät katodille ja aiheuttavat sille pelkistymisreaktion. Kun akkua ladataan tapahtuvat nämä reaktiot vastakkaisiin suuntiin. Kennon nimellisjännite riippuu siinä käytettävistä materiaaleista ja niiden hapetus- ja pelkistymispotentiaaleista. Laskettaessa yhteen anodin hapetuspotentiaali ja katodin pelkistymispotentiaali saadaan summaksi teoreettinen kennon nimellisjännite. (Linden & Reddy 2010, 1.6 – 1.10.)

## 5.2 Akkujen vertailu

Eri materiaaleista valmistetuilla akuilla on kaikilla niille ominaisia ominaisuuksia. Akkuja vertaillessa onkin hyvä tarkastella niille kaikille yhteisiä ominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia ovat energiatiheys (Wh/Kg), kennojännite (V), kapasiteetti (Ah), latausaika (h), itsepurkautuminen, latauskertojen määrä, käyttölämpötila (°C), hinta, turvallisuus ja C-arvo, jota ei yleensä ilmoiteta. C-arvo kertoo akun lataus- ja purkuvirran suurimman arvon ja on riippuvainen akussa käytetystä akkukemiasta ja rakenteesta.

Esim. jos akku on C-arvoltaan 1C ja kapasiteetiltaan 60 Ah, tarkoittaisi se, että akkua voidaan ladata ja purkaa 60 A virralla yhden tunnin ajan. Jos kyseinen akku olisi C-arvoltaan 3C tarkoittaisi se, että akkua voitaisiin ladata ja purkaa 180 A virralla 20 minuutin ajan.

Taulukossa 1 on esitetty eri materiaaleista valmistettujen akkujen edellä mainittuja arvoja.

TAULUKKO 1 Akkujen vertailu (Battery University; Linden & Reddy 2010, 15.10 – 15.11)

	Lyijyakku	Nikkeli-Cadnium NiCd	Nikkeli-metallihybridi NiMH	Li-ion		
				LiCo	LiMn	LiPo
Energiatiheys (Wh / Kg)	30 - 50	45 - 80	60 - 120	150 - 190	100 - 135	90 - 120
Kennojännite (V)	2	1,2	1,2	3,6	3,8	3,3
Pikalatausaika (h)	8 - 16	1	2 - 4	2 - 4	≥ 1	≥ 1
Latauskerrat	200 - 300	1000	300 - 500	500 - 1000	500 - 1000	1000 - 2000
C-arvo	5C	20C	5C	>3C	10C	10C
Käyttölämpötila lataus / purku (°C)	-20 - 50 / - 20 - 50	0 - 45 / -20 - 65		0 - 45 / -20 - 60		
Itsepurkautuminen / kk	5 %	20 %	30 %	< 10 %		

Tarkasteltaessa taulukkoa 1 voidaan huomata on litiumionitekniikkaan pohjautuvat akut ovat huomattavasti muihin akkuteknikoihin perustuvia akkuja kehittyneempiä suurimmilta osin. Toisaalta vaikka litiumioniakkujen C-arvo on lyijyakkua parempi, niin se ei kuitenkaan kykene antamaan riittävän suurta virtaa riittävän nopeasti, jotta esimerkiksi auton lyijyinen käynnistysakku voitaisiin korvata sillä. Litiumioniakut kun ovat lähinnä tarkoitettu hitaaseen ja tasaiseen purkuun. Myöskään pohjoismaisissa sääoloissa litiumioniakku ei ole hyvä ratkaisu latauslämpötilan rajoittaessa sen käyttöä

talvisaikaan. Tämän ongelman voisi ainakin osittain ratkaista akkujen lämmityksellä. Ratkaisu tietysti tarvitsisi sähköä, mikä onkin sen huono puoli.

Tarkasteltaessa muita tekijöitä esim. hintaa voidaan todeta, että hankintahinnaltaan lyijyakku on litiumioniakkua huomattavasti edullisempi. Litiumioniakkujen valmistus vaatii suurta tarkkuutta ja erityiset olosuhteet. Lisäksi, jotta litiumioniakkua voidaan käyttää ja ladata turvallisesti, tarvitsee se akunhallintajärjestelmän (BMS).

### 5.3 Akunhallintajärjestelmä

BMS (Battery Management System), eli akunhallintajärjestelmän tehtävä on valvoa ja suojella akkua, arvioida akun tilaa, maksimoida akun tehokkuus ja raportoida käyttäjälle tai muulle erilliselle laitteelle. Tarkastelemalla akunhallintajärjestelmää turvallisuuden nimissä, tulee sen suorittaa ainakin seuraavat toiminnot: (Andrea 2010, 16.)

- Estää kennokohtaisen jännitteen nousemisen yli maksimiarvon pysäyttämällä latausvirran, tai tehdä pyynnön latauksen lopettamiseksi lautaslaitteelle
- Estää kennokohtaisen lämpötilan nousemisen yli maksimiarvon pysäyttämällä latausvirran, tekemällä pyynnön latauksen lopettamiseksi lautaslaitteelle, tai tekemällä pyynnön jäähtytykselle.
- Estää kennokohtaisen jännitteen tippumisen alle minimiarvon pysäyttämällä latausvirran, tai tekemällä pyynnön latauksen lopettamiseksi lautaslaitteelle
- Estää latausvirran nousemisen yli maksimiarvon tekemällä pyynnön latauslaitteelle virran rajoittamiseksi tai kokonaan pysäyttämiseksi
- Estää purkuvirran nousemisen yli maksimiarvon tekemällä pyynnön laitteelle virran rajoittamiseksi tai kokonaan pysäyttämiseksi.

Akunhallintajärjestelmä on keskeinen osa kun litiumioniakkua ladataan tai puretaan. Kun yksittäinen kenno saavuttaa maksimijännitteen, akunhallintajärjestelmä lopettaa lataamisen, tai rupeaa tasapainottamaan akkua saavuttaakseen sen maksimikapasiteetin. Latausta tasapainottaessaan akunhallintajärjestelmä katkaisee latauksen, kun yksittäisen kennon jännite saavuttaa maksimijännitteen ja jää odottamaan, että kennojännite on laskenut riittävän alas jatkaakseen latausta. Monen tällaisen syklin jälkeen kaikilla kennoilla on yhtä suuri kennojännite ja akku on saavuttanut täyden kapasiteetin. Purettaessa akkua akunhallintajärjestelmä katkaisee kuorman, kun yksittäinen kenno saavuttaa minimikenojännitteen. (Andrea 2010, 16.)

## 6 CANOPEN

CANopen on standardisoitu verkkoteknologia, joka pohjautuu CAN-väylään (Controller Area Network). CAN-väylä on alun perin kehitetty henkilöautojen sisäiseksi verkoksi. Tätä CANopen standardointia hallinnoi CiA (CAN in Automation), joka on CANopen käyttäjien yhteenliittymä. Alun perin CANopen kehitettiin liikkeenhallintalaitteiden ohjausverkoksi, mutta nykyisin sitä käytetään monella eri alalla, kuten ajoneuvoissa, sairaalalaitteissa, rautatie sovelluksissa, merenkulku sovelluksissa, teollisuusautomaatiossa ja rakennusautomaatiossa. (CiA; Zeltwanger 2011; Saha 2006)

CANopenin määrittelemiä tärkeitä käsitteitä ovat mm. objektikirjasto (Object Dictionary), NMT (Network Management), PDO (Process Data Object) ja SDO (Service Data Object). (Saha 2006) Tämän opinnäytetyön kannalta olennaisimpia ovat kappaleessa 6.1 käsiteltävä NMT ja kappaleessa 6.2 käsiteltävä SDO. Lisäksi kappaleessa 6.3 käsitellään CANopen-väylän rakennetta.

### 6.1 NMT

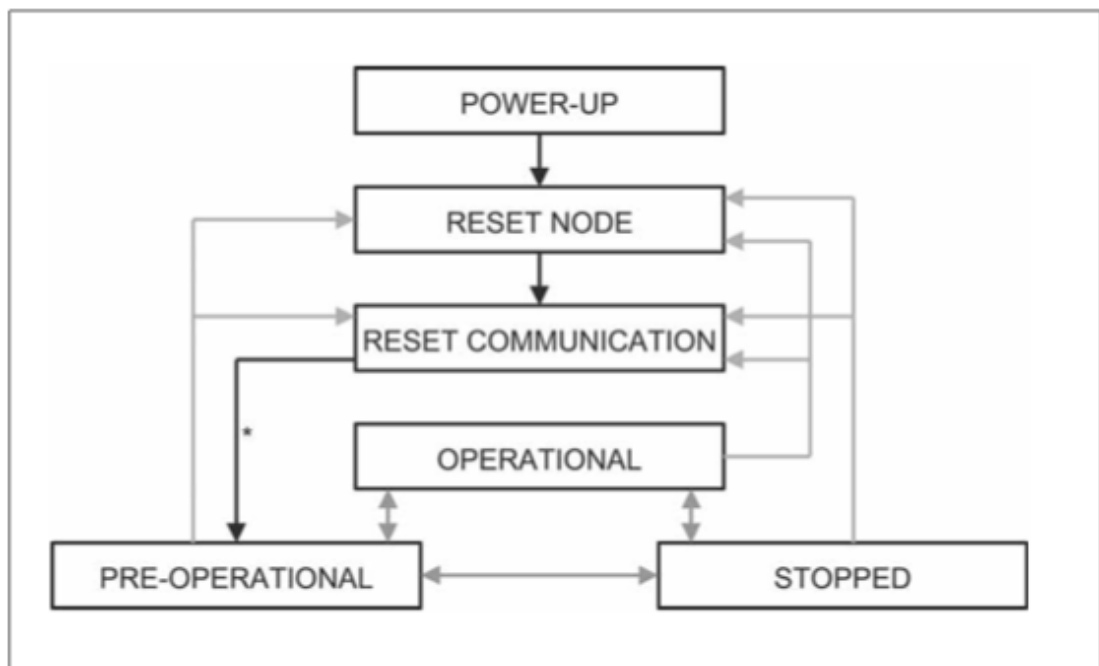
CANopen verkonhallintaprotokolla NMT määrittelee, kuinka verkkoon liitetyt laitteet, eli solmut käynnistetään, sammutetaan ja kuinka solmuja valvotaan. NMT määrittelee seuraavat palvelut:

- Start Remote Node (Käynnistä solmu)
- Stop Remote Node (Sammuta solmu)
- Enter Pre-operational (Siirry valmiustilaan)
- Reset Node (Uudelleenkäynnistä solmu)
- Reset Communication (Uudelleenkäynnistä kommunikointi)
- Node Guarding / HeartBeat ( Solmun valvonta / "Sydämensyke")

(Alanen & Schollier 2004)

NMT-Master tekee näistä viidellä ensimmäisellä solmujen käynnistykseen, sammutukseen ja initialisoinnin. Kuviossa 9 on esitetty CANopen-solmun hallittu käynnistys.





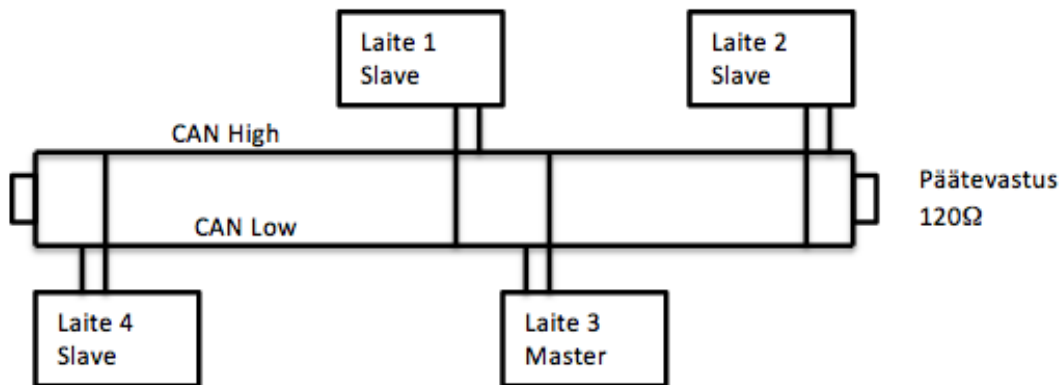
KUVIO 9 Solmun hallittu käynnistys (Kuvakaappaus Saha 2006)

## 6.2 SDO

Service Data Objectit (SDO) mahdollistavat pääsyn solmujen objektikirjastoihin, joista voidaan lukea arvoja, kuin myös sallivat kirjoittamisen sinne. SDO on kahden solmun välinen datan- tai parametrinsiirto palvelu. Oletuksena tämä palvelu toimii CANopen-väylän Master tai Manager-solmun ja Slave-solmun välillä. Jos tarvitaan kahden Slave-solmun välistä SDO-palvelua, tällöin Master-solmun täytyy tukea SDO-manager ominaisuutta. (Saha 2006; Alanen & Schollier 2004; CiA)

## 6.3 CANopen-väylän rakenne

CANopen-väylä koostuu aina yhdestä Master tai- Manager-solmusta (Isännästä) ja yhdestä tai useammasta Slave-solmusta (Orjasta). Kuviossa 10 on esimerkki neljästä solmusta tai laitteesta koostuva CANopen-väylä.



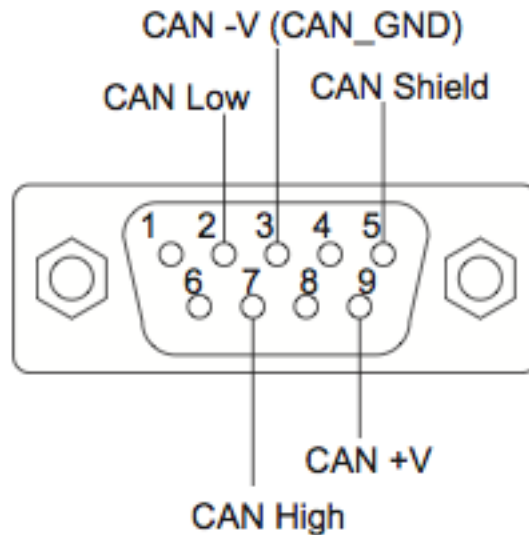
KUVIO 10 CANopen-verkon rakenne

Koska CANopen-väylä on häiriöherkkä, suositellaan yleisesti käytettävän väyläkaapelin suojattua ja kierrettyä parikaapelia. Kaapelin toinen johdin on väylän High-johdin, jonka jännite dominantissa tilassa on 3,5 V ja toinen Low-johdin, jonka jännite dominantissa tilassa on 1,5 V. CANopen-väylä päätetään 120 ohmin päätevastuksilla. CANopen DS301 -spesifikaatio antaa suositukset käytettävistä siirtonopeuksista ja väylien enimmäispituuksista, nämä suositukset ovat esitelty taulukossa 2. (Alanen & Schollier 2004.)

TAULUKKO 2 CANopen-väylän siirtonopeudet ja enimmäispituudet (Kuvakaappaus Alanen &amp; Schollier 2004)

Siirtonopeus	Väylän enimmäispituus (arvio)
1 Mbit/s	25 m
800 kbit/s	50 m
500 kbit/s	100 m
250 kbit/s	250 m
125 kbit/s	500 m
50 kbit/s	1 000 m
20 kbit/s	2 500 m
10 kbit/s <sup>15</sup>	5 000 m

CiA:n ohjeen DR-303-1 mukaan tulisi CANopen-laitteiden liittimien olla 9-napainen D-Sub-liitin tai 5-napainen Micro Style (M12) -liitin. Useimmiten kuitenkin käytetään 9-napaista D-Sub-liitintä. Kuviossa 11 on 9-napaisen D-Sub-liittimen pinnijärjestys, sekä pinnien signaaleiden merkitykset. (Alanen & Schollier 2004; Intelligent Motion System.)



9-Pin D-Sub P2 Pin Configuration		
D-Sub 9-Pin	Function	Description
Pin 1	N/C	No Connect
Pin 2	CAN LOW	CAN_L bus line (dominant low)
Pin 3	CAN -V	CAN Communications Ground
Pin 4	N/C	No Connect
Pin 5	CAN Shield	Optional CAN Shield
Pin 6	CAN -V	Optional Ground
Pin 7	CAN HIGH	CAN_H bus line (dominant high)
Pin 8	N/C	No Connect
Pin 9	CAN +V	+7 to +30 VDC Supply

KUVIO 11 9-pinninen D-Sub-liitin ja pinnien signaalit (Kuvakaappaus Intelligent Motion System)

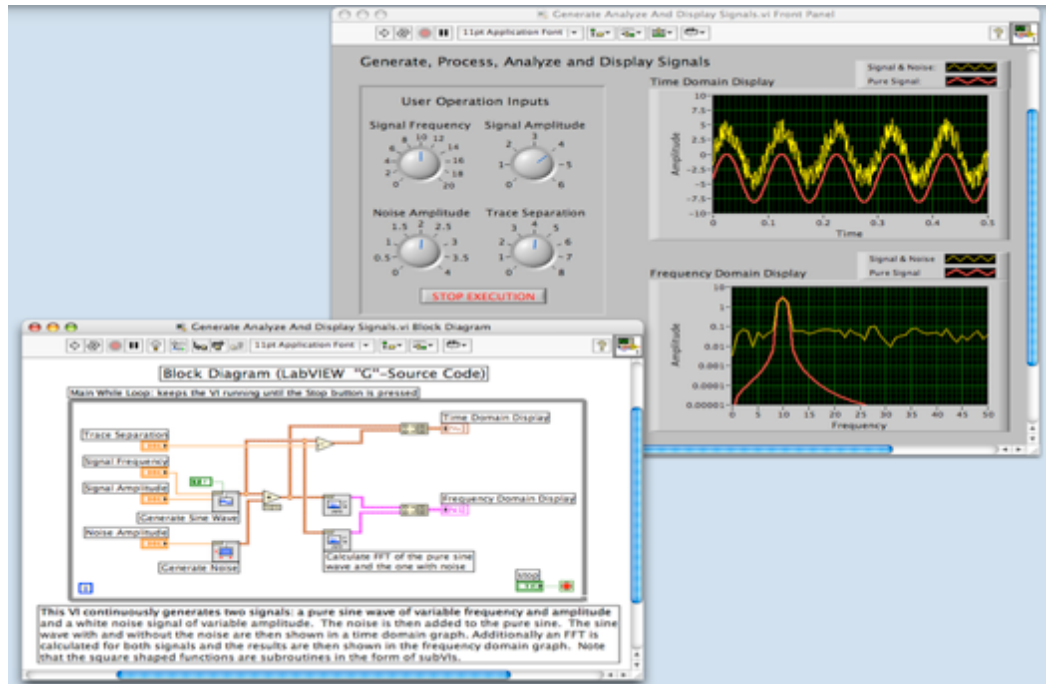
## 7 OPINNÄYTETYÖSSÄ APUNA KÄYTETYT TIETOKONEOHJELMAT

Tämän opinnäytetyön tekemiseen käytettiin pääasiassa kolmea tietokoneohjelmaa, joista oli suuri hyöty opinnäytetyön lopputuloksen kannalta. Nämä ohjelmat on esitelty kappaleissa 7.1 ja 7.2. Kappaleessa 7.1 on esitelty National Instrumentsin LabVIEW-ohjelmointityökalu, jota käytettiin testauslaitteiston ohjaus- ja mittausohjelman tekemiseen. Kappaleessa 7.2 on esitelty AutoDeskin tuotteet AutoCAD ja Inventor, joita käytettiin sähkö- ja konesuunnittelussa apuna.

### 7.1 LabVIEW

National Instrumentsin valmistama LabVIEW on erilaisten järjestelmien suunnittelu- alusta ja kehitysympäristö. Sillä ohjelmoiminen perustuu graafiseen ohjelmointikielen G:hen, jota ei pidä sekoittaa G-koodiin. Graafinen G-kieli on alun perin julkaistu Applen Macintoshille vuonna 1986. LabVIEWtä yleisesti käytetään tiedonhankintaan ja analysoimiseen, instrumenttien ohjaamiseen, sekä monissa sovelluksissa teollisuusautomaatiossa. LabVIEW ja sillä tuotetut koodit ja ohjelmat on suunniteltu toimivaksi monilla eri alustoille kuten Microsoft Windows, Linux, Mac OS X, sekä monelle UNIX versiolle. LabVIEWin viimeisin versio on LabVIEW 2011. (Wikipedia a.)

LabVIEWillä tehty ohjelma eli VI (Virtual Instrument), koostuu front panelista (käyttöliittymäpaneelistä) ja block diagrammista (lohkokaaviopaneelistä). Ohjelmoidessa käyttöliittymään lisätään haluat komponentit kuten indikaattorit ja säätölaiteet, jotka lohkokaavio puolella linkitetään toisiinsa. Lohkokaavioon lisätään myös muut toimilohkot, joilla halutaan käsitellä dataa. Kuviossa 12 on esimerkki yksinkertaisesta LabVIEW-sovelluksesta. Kuviossa etualalla näkyy lohkokaaviopaneeli ja taustalla käyttöliittymäpaneeli. (Wikipedia a.)



KUVIO 12 LabVIEW-sovellus (Kuvakaappaus Wikipedia a)

## 7.2 AutoCAD ja Inventor

AutoCAD ja Inventor ovat molemmat Autodeskin tuotteita. Ne ovat CAD-ohjelmia (Computer-Aided Design) eli tietokoneavusteisia suunnitteluohjelmia, joita käytetään teknillisessä suunnittelussa apuna.

AutoCAD oli yksi ensimmäisistä tietokoneavusteisista suunnitteluohjelmista, joita oli saatavilla henkilökohtaisille tietokoneille. Ensimmäinen henkilökohtaisille tietokoneille tarkoitettu AutoCAD-versio julkaistiin vuonna 1982 ja uusin versio siitä on AutoCAD 2013. AutoCAD on tehty auttamaan ihmisiä suunnittelemaan rakennuksia, tuotteita ja julkisia tiloja, ilman, että yhtäkään viivaa tai muotoa tarvitsisi piirtää käsin. (wise-GEEK) Yleisesti ottaen AutoCADiä käytetään erilaisten 2D-piirrustusten luomiseen, mutta siinä on myös tuki 3D-mallintamiseen.

Kun AutoCAD on suunniteltu 2D-ympäristöön niin Inventorista on tehty puhtaasti koneelliseen kappaleen mallintamiseen tarkoitettu 3D-mallinnusohjelma. Inventor 1 julkaistiin vuonna 1999 ja viimeisin Inventor 2013 vuonna 2012. Inventorilla tehdään digitaalisia 3D-malleja, joita käytetään tuotteiden suunnitteluun, visualisoimiseen ja simulointiin. Lisäksi Inventoriin on integroitu liikkeiden simulointi ja kuormitusten ja

rasitteiden analysointimahdollisuudet. Näiden avulla voidaan simuloida kuinka suunniteltu tuote kestää todellisissa olosuhteissa ja kuormituksissa. (Wikipedia b.)

## 8 LAITEVAATIMUKSET JA SUORITUSARVOJEN MÄÄRITTÄMINEN

Aloitettaessa tekemään opinnäytetyötä laitteistoa oli jo hieman suunniteltu työn ohjaavanopettajan ja hankkeessa olevan projekti-insinöörin toimesta. Alkuperäisen suunnitelman mukaan laitteiston akkupaketiksi hankittaisiin European Batteries Oy:n valmistama EBattery 30 3,5 kWh akkumoduuli ja sen ympärille ruvettaisiin suunnittelemaan muuta laitteistoa. Tämän moduulin nimellinen toimintajännite on 38,4 V<sub>DC</sub> ja kapasiteetti 90 Ah.

Toisena vaatimuksena oli hankittavan ajoneuvosähkömoottorin teho ja sen kierrosnopeus. Ajatuksena oli hankkia n. 3-6 kW tehoinen sähkömoottori, joka toimisi 48 V jännitteen läheisyydessä. Nimellinen pyörimisnopeus tulisi olla n. 3000-4000 kierrosta minuutissa (1/min), jolloin hetkellisesti sitä voisi käyttää jopa lähellä 5000 1/min. Sähkömoottorin tulisi myös olla vaihtosähköllä (AC) toimiva. Kyseisen tehoisella sähkömoottorilla pystyttäisiin purkamaan suunnitellun akun kapasiteetti n. 1 h aikana. Akun latausajan ollessa n. 3 h voitaisiin lataus-purkusyklejä toteuttaa 2 kertaa yhden työpäivän aikana.

Testauslaitteistoa täytyisi myös pystyä kuormittamaan. Tähän ratkaisuksi oli muutama vaihtoehto. Vaihtoehtona oli kytkeä kuormaksi toinen sähkömoottori tai säädettävä jarru. Jarrua käytettäessä kaikki energia muutettaisiin vain lämmöksi, joten tämä vaihtoehto hylättiin. Ratkaisuksi jäi kuormittaa testauslaitteistoa toisella sähkömoottorilla, tällöin sähkömoottorin toimiessa generaattorina voitaisiin sen tuottama energia palauttaa takaisin sähköverkkoon tai vaihtoehtoisesti keinokuormaan. Sähkömoottorina suunniteltiin käytettäväksi normaalia kolmivaiheista induktiomoottoria ja tämän ohjaukseen taajuusmuuttajaa. Näiden laitteiden suoritusarvoja ei voitaisi määrittää ennen kuin saataisiin tehtyä päätös hankittavasta sähköajoneuvomoottorista.

Työtä aloitettaessa tiedettiin, että varsinkin testattavia laitteita ei saataisi hankittua Suomesta. Tästä johtuen ensisijaiseksi vaihtoehdoksi asetettiin laitteiden hankinta Euroopan alueelta. Tällöin välttyttäisiin mahdollisilta tullaus- ja veromaksuilta, sekä laitteiden toimitusajat olisivat lyhyemmät. Koska tiedettiin laitteiden hankala saatavuus, etsintä painottui Internetissä toimiviin verkkokaappoihin. Näiden tietojen pohjalta aloitettiin laitteiston suunnittelu.

## 9 LAITTEISTOVALINNAT

Tässä kappaleessa on esitelty opinnäytetyöhön hankitut laitteet, niiden ominaisuuksia, sekä perustelut kyseisten laitteiden hankinnalle. Osa laitehankinnoista tehtiin yhteishankintana Savonia-ammattikorkeakoulun Kuopion yksikön sähkövoimatekniikan osaston kanssa, jolloin laitteet saatiin hankittua edullisemmilla hinnoilla.

Kappaleessa 9.1 on käsitelty sähköajoneuvomoottoria ja sen moottorinohjainta, kappaleessa 9.2 hankittua akkupakettia, kappaleessa 9.3 testauslaitteiston kuormaksi hankittuja laitteita, kappaleessa 9.4 mittaus- ja ohjausjärjestelmää ja viimeisenä kappaleessa 9.5 muita tarvikkeita.

### 9.1 Sähköajoneuvomoottori ja moottorinohjain

Annettujen vaatimusten perusteella aloitettiin sopivan sähköajoneuvomoottorin ja moottorinohjaimen etsintä. Loppujen lopuksi vaatimukset täyttäviä ja hyviksi vaihtoehtoiksi sopivia sähköajoneuvokäyttöön tarkoitettuja sähkömoottoreita löytyikin 3 erilaista. Kaikki 3 sähköajoneuvomoottoria ovat ominaisuuksiltaan hiukan erilaisia. Nämä sähköajoneuvomoottorit ja niiden ominaisuudet ovat esitelty liitteessä 1. Taulukossa 3 on esitetty valittujen sähköajoneuvomoottoreiden ennalta määritetyt parametrit.

TAULUKKO 3 Ajoneuvosähkömoottoreiden vertailu

Moottori	ME0907	M0-AC04/4-AS	M0-AC04/4-AH
<b>Moottorityyppi</b>	PMSM	AC-induktio	AC-induktio
<b>Toimintajännite (<math>V_{AC}</math>)</b>	48	48	48
<b>Nimellinen teho (kW)</b>	4,5	4	4
<b>Nimellinen pyörimisnopeus (1/min)</b>	3360	2900	1500

Näistä kolmesta parhaimmaksi vaihtoehtoksi todettiin Mars Electricin valmistama ME0907 PMSM. Tähän valintaan päädyttiin sen sopivien suoritusarvojen ja moottorityypin, kestopagneettitahtimoottorin vuoksi. Nykyaikaisissa sähköajoneuvoissa onkin siirrytty käyttämään kestopagneettitahtimoottoreita (PMSM) DC-moottoreiden sijasta. Lisäksi kestopagneettitahtimoottoreilla saavutetaan hyvä hyötysuhde ja vääntömomentti suhteessa epätahtimoottoreihin. Nämä ovatkin erityisen tärkeitä suoritusarvoja



sähköajoneuvokäytöissä. Kyseistä sähköajoneuvomoottoria oli myös tarjolla useam-  
massa verkkokaupassa, joten tämäkin puolsi valintaa.

Vaatimukset täyttävälle sähköajoneuvomoottoreille löytyikin moottorinohjaimia useita  
eri vaihtoehtoja. Näistä vaihtoehtoista vertailtavaksi valittiin selvästi laadukkaimmat  
ja parhaiten sovellukseen sopivat ohjaimet. Taulukossa 4 on esitelty valittujen moot-  
torinohjaimien tärkeimmät parametrit.

TAULUKKO 4 Moottorinohjainten vertailu

<b>Moottorinohjain</b>	<b>Sevcon G4845</b>	<b>Sigmadrive PMT445M</b>
<b>Käyttöjännite (<math>V_{DC}</math>)</b>	36 tai 48	24 - 28
<b>Virta (A)</b>	180	180
<b>Sopivuus PMSM moottorille</b>	Kyllä	Kyllä
<b>I/O</b>	Kyllä	Kyllä
<b>Väylä-liitäntä</b>	CANopen	CAN

Näistä kahdesta vaihtoehdosta valittiin Sevconin valmistama moottorinohjain G4845.  
Valintaa puolsivat sopivat käyttöparametrit, sopivuus valitulle sähköajoneuvomootto-  
rille, I/O-liitännät ja CANopen-väyläliitäntä. Lisäksi sitä myytiin samoissa verkkokau-  
poissa kuin valituksi tullutta sähköajoneuvomoottoria, tällöin sähköajoneuvomoottoria  
ja moottorinohjainta ei tarvitsisi hankkia eri paikoista.

Valitettavasti valittuja laitteita ei ollut tarjolla eurooppalaisissa verkkokaupoissa, mutta  
yhdyshyönteisissä verkkokaupoissa niitä oli saatavilla. Tarkemmin asiaa tutkittua  
huomattiin, että kyseistä sähköajoneuvomoottoria ja moottorinohjainta myytiin ns.  
"kittinä" eli valmiina pakettina. Nämä paketit sisälsivät ME0907-  
sähköajoneuvomoottorin, Sevcon G4845-moottorinohjaimen, linjakontaktorin, avain-  
kytkimen, kaasukahvan, suunnanvaihtokytkimen, sekä kaikki kaapeloinnit ja sulak-  
keet.

Lisäksi pakettiin kuului moottorinohjaimen ohjelmointi kyseiselle sähköajoneuvomoot-  
torille sopivaksi, sekä testaus moottorintestauspenkissä. Tästä testauksesta toimitet-  
tiin myös testaustulos. Myös tämä seikka puolsi laitteiden hankintaa pakettina, koska  
muuten olisi jouduttu hankkimaan myös käsikäyttöinen ohjelmointilaite tai vaihtoehtoisesti PC-ohjelmisto, sekä USB-CANopen-adaptteri.

Edellä mainituista syistä päädyttiin hankkimaan kyseinen paketti electricmotorsport.com verkkokaupasta niin Varkauden kuin Kuopion yksikköihin. Kuviossa 13 on hankittu paketti.



KUVIO 13 Hankittu paketti (Kuvakaappaus Electricmotorsport)

## 9.2 Akkupaketti

Alustavan suunnitelman mukaan akkupaketiksi hankittaisiin European Batteries Oy:n valmistama EBattery 30 3,5 kWh akkumoduuli. Pyysimme European Batteries Oy:ltä tarjousta kahdesta samanlaisesta paketista, joka sisälsi edellä mainitun akkumoduulin, latauslaitteen ja kontaktorimoduulin, jolla ohjataan moduulin lautasta ja purkua. Näistä toinen tultaisiin sijoittamaan Kuopion sähkövoimatekniikan laboratorioon. Saamamme tarjous oli kuitenkin budjettimme yläpuolella, joten tässä vaiheessa hanketta emme päättäneet hankkia kyseistä akkupakettia.

Vaihtoehtoiseksi akkupaketiksi päätettiin hankkia 4 kpl Ultracellin valmistamia UXL 65-12 lyijyakkua. Kuten akkujen mallimerkinnästä käy ilmi toimivat nämä akut 12 V jännitteellä ja niiden kapasiteetti on 65 Ah. Kytkemällä sarjaan nämä akut saisimme

jännitteeltään sopivan, eli 48 V paketin hankitulle sähköajoneuvomoottoripaketille. Kokonaisuudessaan tämän akkupaketin sisältämä energia olisi 3120 Wh, eli n. 3,1 kWh, joka on hyvin lähellä alunperin suunniteltua akkupakettia. Näin ollen tällä hankitulla akkupaketilla tehdyt mittaukset voisivat toimia mahdollisesti myöhemmin hankittavan litium-ionitekniikkaan perustuvan akkupaketin vertailukohtana.



KUVIO 14 Akkupaketti

Latauslaitteeksi tälle akkupaketille suunniteltiin jo valmiiksi koululta löytyvää Powerfinn PAC 3200W-latauslaitetta. Tämän latauslaitteen latausjännite on säädettävissä alueella 0-320 VDC ja latausvirta alueella 0-16 A.



KUVIO 15 Powerfinn PAC 3200W latauslaite (Kuvakaappaus Powerfinn)

### 9.3 Kuormamoottori ja taajuusmuuttaja

Lähtökohtana kuormamoottorin ja taajuusmuuttajan valinnassa oli sähköajoneuvo-moottorin hetkellinen huipputeho. Valitsemamme ME0907 kestomagneettitahtimoottorin ilmoitettu hetkellinen huipputeho on n. 15 hv, joka muunnettuna kilowateiksi on n. 11 kW. Tämän arvon perusteella lähdettiin suunnittelemaan kuormamoottorin ja taajuusmuuttajan kokoa.

Alustavasti suunniteltiin hankittavaksi ABB:n 7,5 kW tehoinen kolmivaiheinen induktiomoottori, jota myös hetkellisesti voitaisiin kuormittaa n. 11 kW teholla. Kuormamoottorille tarvittaisiin myös sopiva taajuusmuuttaja, jotta sen pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia voitaisiin ohjata hallitusti. Asiasta kuitenkin oltiin yhteydessä Kuopion sähkövoimatekniikan osaston projekti-insinöörin kanssa. Tulimme siihen tulokseen, että sovimme tapaamisen ABB:n myynti-insinöörin kanssa.

Tämä tapaaminen olikin antoisa, koska saimme paljon uutta tietoa kyseisen paketin vaatimista tuotteista. Tapaamisessa selvisi, että tällä normaalilla induktiomoottorilla ei päästäisi riittävän suuriin kierrosnopeuksiin eikä tällaisella sähkömoottorilla pystyttäisi toteuttamaan ohjausta riittävän tarkasti. Toinen merkittävä uusi tieto oli, että pelkällä taajuusmuuttajalla ei pystyttäisi toteuttamaan verkkoon takaisin syöttöä. Ottaen huomioon nämä seikat jouduimme vaihtamaan moottoriksi servokäyttöihin suunnitellun sähkömoottorin. Tällä 8,2 kW moottorilla pääsisimme hetkellisesti jopa 8000 1/min nopeuksiin. Lisäksi voidaksemme toteuttaa sovelluksen joutuisimme hankkimaan taajuusmuuttajan lisäksi vaihto/tasasuuntaajan ja sille suodatinyksikön, joilla mahdollistetaan tuotetun sähkönsyöttö takaisin verkkoon. Nämä laitteet valittiin servokäyttöille sopivasta ABB:n ACSM1-tuoteperheestä, joka kattaa 0,75-160 kW tehoiset laitteet.

Tästä paketista pyysimme tarjousta ABB:n myynti-insinööriltä. Pakettiin lisättiin kuitenkin normaali 7,5 kW induktiomoottori, koska saimme tietää, että servomoottorin toimitusaika olisi n. 18 viikkoa. Tällä 7,5 kW moottorilla pääsisimme testaamaan järjestelmää. Lisäksi pakettiin lisättiin jarruvastus mahdollisia häiriötilanteita varten, CANopenin lisämoduulit taajuusmuuttajalle ja vaihto/tasasuuntaajalle niiden ohjauksien toteuttamiseksi, resolveri lisämoduulin taajuusmuuttajaan servomoottorin tarkan asentotiedon saamiseksi, sekä DriveStudio- ja SPX PC-ohjelmat taajuusmuuttajan ja vaihto/tasasuuntaajan ohjelmoimiseksi ja parametroimiseksi.

Tarkalleen ottaen pyytämämme tarjous sisälsi seuraavat tuotteet.

- 7,5 kW induktiomoottorin
- 8,2 kW servomoottorin
- ACSM1-04 taajuusmuuttajan
  - o FCAN-01 CANopen lisämoduulin
  - o Resolveri lisämoduulin
- ACSM1-204 vaihto/tasasuuntaajan
  - o FCAN-01 CANopen lisämoduulin
- WFU-11 suodatinyksikön
- JBR-05 jarruvastuksen
- DriveStudio PC-ohjelman
- DriveSPC-ohjelman

Saatu tarjous mahtui hankintabudjetin raameihin, eikä tällaista verkkoon jarruttavaa (regeneroivaa) järjestelmää muilla valmistajilla ollut suoraan varastosta saataville, joten tämä järjestelmä tilattiin. Lisäksi laitteiden hankintaa puolsi niiden sama valmistaja, jolloin laitteiden yhteensopivuudesta ja toimimisesta keskenään voitiin varmistua. Nämä laitteet päätettiin tilata. Kuvioissa 16 ja 17 on esitetty testauslaitteiston kuormaksi hankitut laitteet.



KUVIO 16 Kuviossa taajuusmuuttaja (1), vaihto/tasasuuntaaja (2), suodatinyksikkö (3), jarruvastus (4)



KUVIO 17 ABB:n 7,5 kW induktiomoottori

#### 9.4 Mittaus- ja ohjausjärjestelmä

Testausjärjestelmän mittaus- ja ohjausjärjestelmäksi valittiin LabVIEW. Valinta oli luonteva, koska käytettävissä oli LabVIEW-ohjelman lisenssi ja opinnäytetyöntekijällä on kokemusta kyseisellä ohjelmalla ohjelmoinnista kahden kurssin verran.

Todettiin, että pelkällä LabVIEW-ohjelmalla ei pystyttäisi toteuttamaan testausjärjestelmää. Jotta ohjaukset voitaisiin toteuttaa vaatisi järjestelmä myös jonkinlaisen I/O-kortin. Tiedettiin, että koululle oli hankittu aikaisemmin National Instrumentsin compactRIO I/O-moduuleita. CompactRIOt ovat helposti muunneltavia modulaarisia ohjaus- ja mittausjärjestelmiä, jotka ohjelmoidaan LabVIEW:ta käyttämällä.

Näistä moduuleista saatiin tähän testausjärjestelmän käyttöön seuraavanlaiset moduulit:

- cRIO-9012, prosessoriyksikkö
- cRIO-9112, alusta
- NI 9263, AO-moduulin ( $\pm 10 V_{DC}$ )
- NI 9421, DI-moduuli
- NI 9472, DO-moduuli

Jotta saataisiin toteutettua CANopen-väylän ylitse toiminnallisuuksia, jouduttiin näiden moduuleiden lisäksi hankkimaan NI 9881 CANopen-moduuli. Näistä moduuleista kasattiin kokoonpano, jolla voitaisiin toteuttaa testausjärjestelmän ohjaus- ja mittausympäristö.

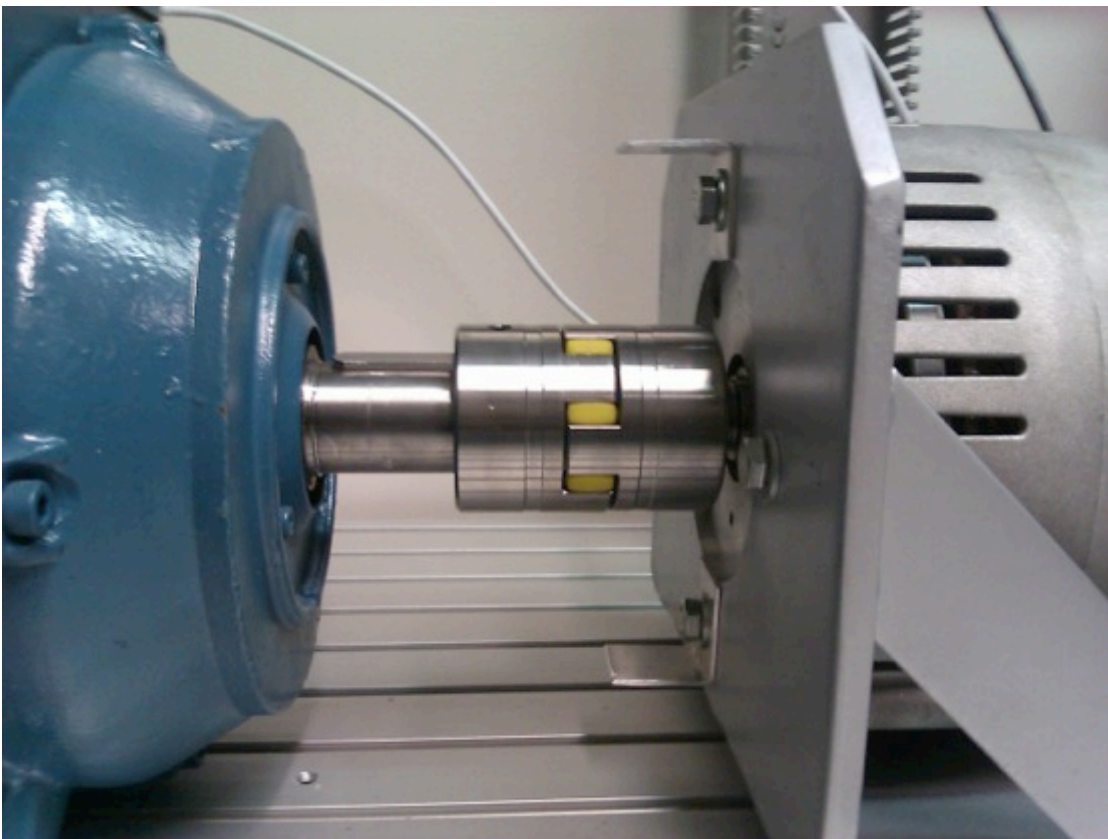
#### 9.5 Muut tarvikkeet

I/O-moduuli ja suodatinyksikön tuuletin, vaihto/tasasuuntaaja ja taajuusmuuttaja vaativat  $24 V_{DC}$  syötön. Näitä varten koululta löytyi sopivasti 2 kappaletta  $24 V_{DC}$  jännitelähteitä, jotka varattiin tätä laitteistoa varten.

Edellä esiteltyjen laitteiden lisäksi hankittiin moottorikytkin. Moottorikytkin tarvitaan kun halutaan asentaa sähkömoottorin akseli jollekin toiselle akselille kiinni. Tässä tapauksessa asennettiin vain kahden sähkömoottorin akselit vastakkain toisiinsa kiinni. Useimmiten tämänlaisissa tapauksissa käytetään niin sanottuja sakarakytkimiä, jollainen myös hankittiin tätä testauslaitteistoa varten. Tällaisessa asennuskohteessa

moottorikytkin koostuu akseleille asennettavista kytkinosista ja kytkinosien väliin tulevasta vaimenninelementistä.

Moottorikytkimeksi valikoitui KTR Rotex 28-kytkin. Tämän moottorikytkimen hankinnassa oli otettava huomioon sähkömoottoreiden akseleiden koot. Servo- ja induktiomootorissa on 38 mm halkaisijaltaan olevat akselit ja sähköajoneuvomootorissa akselin halkaisijaksi oli ilmoitettu 22,28 mm. Tämä erikoinen mitta johtuu sähkömoottorin suunnittelumaasta eli Yhdysvalloista, jossa käytössä on tuumajärjestelmä. Valitusta moottorikytkimestä oli saatavilla malli, joka oli sopiva 38 mm akseleille. Sähköajoneuvomootorin akselin halkaisijan ollessa tuumakokoa ja koska sopivalla reiällä olevaa kytkintä ei ollut saatavilla KTR Rotex 28-sarjasta, valittiin siihen niin sanottu koneistettava malli. Tämä malli on umpinainen eikä siinä ole reikää akselille. Tähän sitten voidaan koneistaa oikean kokoinen reikä. Vaimenninelementiksi valittiin polyuretaanista valmistettu kovuusluokaltaan 92 Shorea A-elementti. Tämän elementin nimellinen vääntömomentti on 90 Nm, joka todettiin riittäväksi testauslaitteistoa varten. Kuviossa 18 on hankittu moottorikytkin asennettuna sähkömoottoreiden väliin.



KUVIO 18 Moottorikytkin asennettuna



Sähkömoottoreiden kiinnitysalustaksi valikoitui koululta löytyvä Feston valmistama alumiininen profiililevy. Profiililevy todettiin tarkoitukseen sopivaksi sen tukevuuden, kiertojäykkyyden ja kokonsa puolesta. Tämä profiililevy on kooltaan (pituus x leveys x paksuus) 1099 mm x 698 mm x 35 mm.

Kiinnitysalustan jaloiksi valittiin 5 kappaletta pituudeltaan 245 mm ja 45 mm x 45 mm alumiiniprofiilin pätkää, jotka löytyivät koululta. Jalat kiinnitettäisiin alustaan kulmatukien avulla, jotka myös löytyivät koululta. Jalkojen alle hankittiin vielä kumiset vaimenninkumit, joilla pystyttäisiin eliminoimaan mahdollinen lattian epätasaisuus ja värinöiden suora välittyminen lattiaan ja sitä kautta muihin rakenteisiin.

## 10 TESTAUSLAITTEISTON SUUNNITTELU

Kun päätökset hankittavista laitteista oli tehty, voitiin aloittaa testausjärjestelmän sähkö- ja konesuunnittelu. Sähkösuunnittelusta on kerrottu kappaleessa 10.1 ja konesuunnittelusta 10.2.

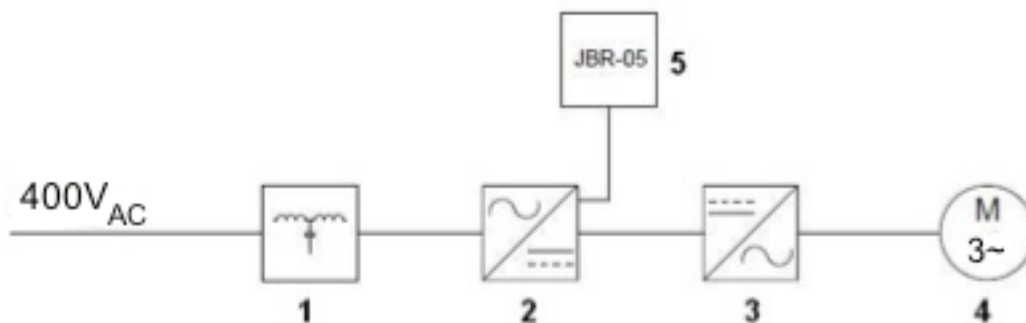
Suunnittelu aloitettiin hankkimalla laitteista kaikki mahdolliset laitemanuaalit, mittapiirustukset ja 3D-mallit. Näistä saatiin paljon informaatiota laitteiden mitoista, asennuksesta ja käytöstä.

### 10.1 SÄHKÖSUUNNITTELU

Testauslaitteiston osalta sähkösuunnittelu tehtiin kuormaksi tulevalle osalle, koska sähköajoneuvomoottori ja sen ohjain hankittiin pakettina, jolloin tälle osalle sähkösuunnittelua ei tarvinnut tehdä.

Koska testausjärjestelmä tarvitsee 400 V kolmivaiheisen sähkönsyötön ja siinä käytetään suuria jännitteitä ja virtoja kuin myös mekaanisia voimia, oli nämä turvallisuuseikat otettava suunnittelu vaiheessa jo huomioon.

Sähkösuunnittelu aloitettiin tekemällä AutoCAD:llä kytkennästä lohkokaaviokuva. Lohkokaaviosta saadaan selville laitteiden kytkentäjärjestys. Tämän lohkokaaavion tekemiseen löytyi apua laitteiden manuaaleista ja niiden esimerkkikytkennöistä. Tämä tehty lohkokaaviokuva on kuviossa 19.



KUVIO 19 Lohkokaavio kytkennästä, Suodatin yksikkö (1), Vaihto/tasasuuntaaja (2), Taajuusmuuttaja (3), Sähkömoottori (4) ja Jarruvastus (5)

Tämän lohkokaavion ja laitemanuaalien perusteella ruvettiin tekemään tarkempaa suunnittelua. Tässä suunnittelussa paneuduttiin tarkemmin siihen, kuinka laitteet tulisi suojata ja millaisia johtimia niiden kytkemiseksi tarvittaisiin. Laitemanuaaleista löytyi apua näihinkin ongelmiin. Lisäksi näistä oltiin Kuopion sähkövoimatekniikan osaston projekti-insinööriin yhteydessä, koska omaa kokemusta tällaisesta suunnittelusta ei ollut.

Lisäksi huomioon oli otettava seikka, että alkuvaiheessa kuormana toimisi normaali induktiomoottori ja myöhemmin servomoottori. Tämä hankittava servomoottori on suunniteltu toimivaksi pitkiäkin aikoja pienillä kierrosnopeuksilla, joten riittävän jäähdytyksen varmistamiseksi sillä on erillinen tuuletin. Tälle tuulettimelle tulisi myös olla oma 400 V<sub>AC</sub> sähkönsyöttö.

Toinen huomioitava seikka oli, että I/O-moduuli, suodatinyksikön tuuletin, vaihto/tasasuuntaaja ja taajuusmuuttaja vaativat 24 V<sub>DC</sub> jännitesyötön. Näitä varten oli 2 kappaletta 24 V<sub>DC</sub> jännitelähteitä, joista toinen pystyy antamaan 5 A virran ja toinen 2,5 A virran. Näiden käyttö suunniteltiin siten, että suurempi varattaisiin suodatinyksikön, vaihto/tasasuuntaajan ja taajuusmuuttajan käyttöön ja toinen I/O-moduulille. Tähän päädyttiin, koska suodatinyksikön, vaihto/tasasuuntaajan ja taajuusmuuttajan maksimi virrantarve on 1,6 A laitetta kohti. Tällöin niiden yhteensä tarvitsema maksimi virrantarve on 4,8 A. Tällöin vielä pystyttäisiin eriyttämään I/O-moduulin ja muun laitteiston DC-syötöt, jolloin mahdolliset häiriöt I/O-moduulille vähenisivät.

Lopputuloksena oli, että laitteiden suojaus toteutettaisiin 3 x 32 A sulakkeilla, servomoottorin tuulettimen suojaukseen käytettäisiin 3 x 6 A sulakkeita ja I/O-moduulin, suodatinyksikön tuulettimen, vaihto/tasasuuntaajan ja taajuusmuuttajan vaatimille 24 V<sub>DC</sub> jännitelähteiden syötölle valittiin 2 x 10 A sulakkeet.

Laitemanuaaleissa kaapeleiksi suositeltiin jokaiselle vaiheelle ja suojamaalle 6-70 mm<sup>2</sup> poikkipinta-alaltaan olevia kaapeleita. Koska hankitut laitteet ovat teholtaan tuoteperheen pienimmästä päästä, kaapeleiden pituudet lyhyitä ja koska suodatinyksikössä oli jo valmiiksi kaikille vaiheille 10 mm<sup>2</sup> poikkipinta-alaltaan olevat johtimet, laitteiden kaapelointi tehtäisiin kaapelilla, jossa jokaiselle vaiheelle olisi 10 mm<sup>2</sup> poikkipinta-alaltaan oleva johdin.

Tästä suunnitelmasta tehtiin piirustus, joka kuitenkin asennusvaiheessa hiukan muuttui. Piirustus toteutuneesta asennuksesta on liitteessä 2.

Kuten edellä on jo mainittu testauslaitteiston kuormaksi tuleva laitteisto vaatisi kolmi-vaiheisen 400 V syöttöjännitteen, sekä kiinteän asennuksen. Nämä vaatimukset rajoittavat testauslaitteiston sijoitukseen sopivia tiloja. Suurimpaan osaan koulumme tiloista ei tule kuin normaaleja yksivaiheisia 230 V syöttöjä. Tiloja, joihin tulee kolmivaiheisyttö oli vain muutamia. Näistä kuitenkin yksi vähäisellä käytöllä oleva laboratorio-tila osoittautui sopivaksi ja saimme luvan rakentaa testauslaitteiston sinne. Tässä tilassa on oma sähkökeskus jonka nousukaapeli on 5 x 16 mm<sup>2</sup> ja se on suojattu 125 A sulakkeella. Tähän sähkökeskukseen voitaisiin tehdä lähdöt testauslaitteiston vaatimalla tavalla.

## 10.2 KONESUUNNITTELU

Tässä opinnäytetyössä konesuunnittelua täytyi tehdä alustalle, jolle sähkömoottorit kiinnitettäisiin. Lisäksi suunnittelua vaati sähköajoneuvomoottorin kiinnitys, koska tämä hankittu sähköajoneuvomoottori on laippakiinnitteinen ja induktio- ja servomoottorissa on jalusta, joista ne kiinnitetään.

Tässä suunnittelun vaiheessa oli otettava huomioon kaikkien kolmen eri sähkömoottorin kiinnitystavat ja erityisesti servo- ja induktiomootorin akseleiden sijainti suhteessa niiden pohjaan. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että servomoottorin akselin keskipiste on 100 mm korkeudella sen pohjasta kuin taas induktiomootorilla se on 132 mm korkeudella. Lähtökohtana oli saada suunniteltua sähkömoottoreille sellaiset kiinnikkeet ja kiinnitystapa, jotta välttyttäisiin suurilta muutoksilta kun induktiomootori vaihdetaan servomoottoriin.

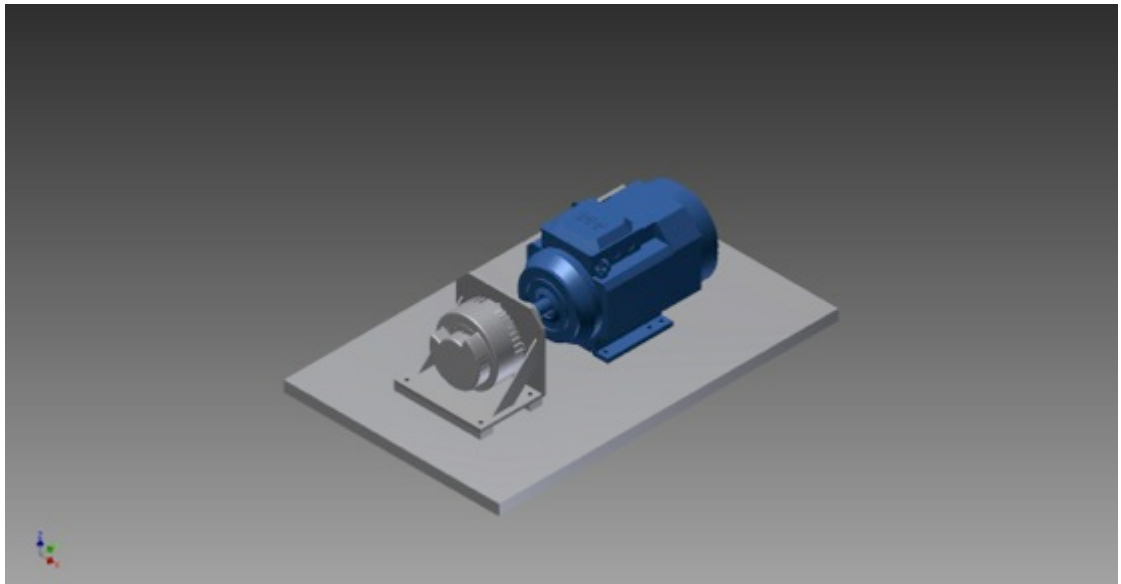
Suunnittelua lähdettiin tekemään käyttämällä Inventor 3D-mallinnusohjelmaa. ABB:n internet-sivuilta on vapaasti ladattavissa heidän tuotteidensa valmiita 3D-malleja. Näitä malleja käytettiin hyväksi tässä suunnitteluvaiheessa lataamalla 3D-mallit servomoottorista ja induktiomootorista.

Koska sähköajoneuvomoottorista ei ollut 3D-mallia saatavilla tehtiin siitä 3D-malli itse. Tämä 3D-malli tehtiin sähkömoottorin mittapiirustuksen (liite 3) mittojen mukaisesti. 3D-mallin valmistuttua alettiin suunnittelemaan sille kiinnikettä. Kiinnikkeen tulisi olla sellainen, johon kyseisen sähköajoneuvomoottorin voisi kiinnittää sen etulaipasta ja samalla mahdollistaisi kiinnityksen kiinnitysalustaan. Koska kaikkien säh-

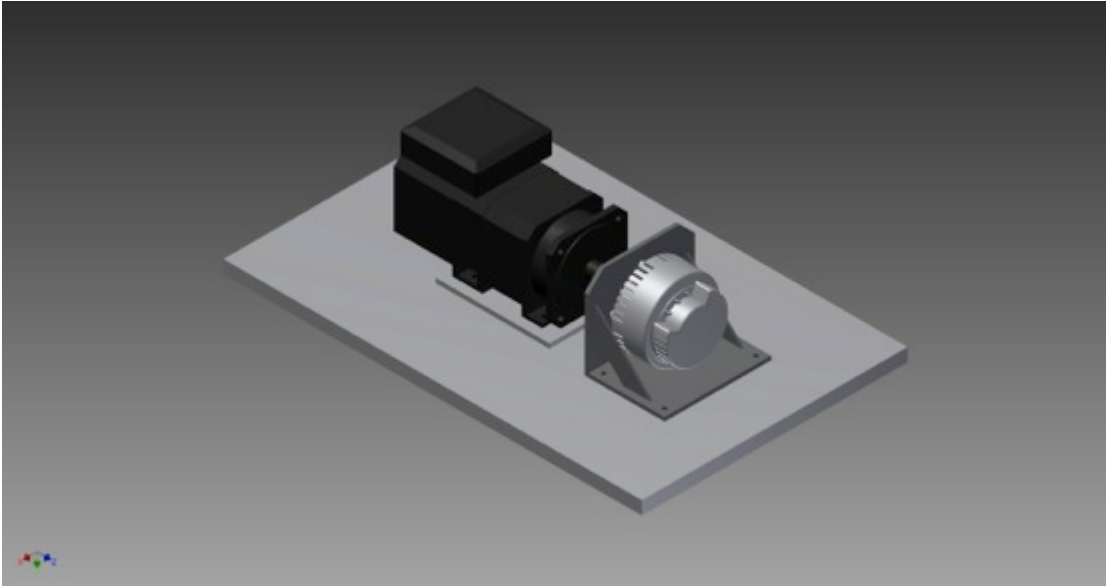
kömoottoreiden akselit sijaitsivat eri korkeuksilla suhteessa niiden kiinnityspintoihin, niitä ei voitaisi asentaa ilman, että toista ei korotettaisi.

Näiden ehtojen pohjalta suunniteltiin kiinnike sähköajoneuvomoottorille siten, että kiinnikkeen pohjan ja sähkömoottorin akselin keskilinjan välinen korkeus olisi 112 mm. Tällöin tilanteessa, jossa on induktiomoottori kuormana, jouduttaisiin sähköajoneuvomoottoria korottamaan 20 mm. Tällöin molempien sähkömoottoreiden akseleiden keskilinjat olisivat 132 mm korkeudella kiinnitysalustasta. Toisaalta tilanteessa, jossa kuormana on servomoottori, voidaan sähköajoneuvomoottori asentaa suoraan kiinnitysalustaan ja servomootoria joudutaan korottamaan 12 mm. Tässä tapauksessa molempien sähkömoottoreiden akseleiden keskilinjat ovat 112 mm korkeudella kiinnitysalustasta. Näiden pohjalta suunniteltu sähköajoneuvomoottorin kiinnikkeen piirustus on liitteessä 4.

Inventorin avulla tehtiin myös 3D-mallit molemmista kokoonpanoista. Näiden mallien avulla pystyttiin havainnollistamaan sähkömoottoreiden kokonaistilan tarvetta kiinnitysalustasta ja suunnittelemaan sähkömoottoreiden sijoittelua valitulle kiinnitysalustalle. Nämä tehdyt kokoonpanomallit on kuvioissa 20-21 ja niiden asennuskuvat liitteissä 5-6.



KUVIO 20 ME0907 ja ABB:n induktiomoottori



KUVIO 21 ME0907 ja ABB:n servomoottori

Kokoonpanomalleissa sähkömoottorit sijoitettiin siten, että kun sähkömoottorit on kiinnitetty toisiinsa niiden keskilinja on keskellä kiinnitysalustaa. Tällöin niiden paino saataisiin jakautumaan tasaisesti koko kiinnitysalustaan. Kiinnitysalustasta tehtiin myös piirustus (liite 7), jossa on mitoitettu sähkömoottoreiden kiinnitysreiät. Tätä piirustusta voitaisiin hyödyntää, kun ruvettaisiin poraamaan sähkömoottoreille kiinnitysreiä.

Sähköajoneuvomoottorin akselille asennettavasta moottorikytkimestä tehtiin myös piirustus, jonka perusteella siitä voitaisiin koneistaa sopivan mallinen. Tämän piirustuksen suunnittelussa käytettiin liitettä 3, josta saatiin selville akselin paksuus, sekä kiilauran mitat. Moottorikytkimestä tehty piirustus on liitteessä 8.

## 11 TESTAUSLAITTEISTON ASENTAMINEN JA OHJELMOINTI

Seuraavissa kappaleissa on tarkemmin kerrottu, kuinka kyseinen testauslaitteisto on asennettu ja ohjelmoitu siihen tilaan, joka tämän opinnäytetyön aikana saavutettiin.

Kappaleessa 11.1 on kerrottu sähköajoneuvomoottorin kiinnikkeen ja testauslaitteiston kiinnitysalustan valmistamisesta, kappaleessa 11.2 tehdyistä sähköasennuksista. Kappaleessa 11.3 I/O-asennuksista, kappaleessa 11.4 taajuusmuuttajan ja vaihto/tasasuuntaajan parametroidista ja kappaleessa 11.5 testauslaitteiston ohjausohjelmistosta.

### 11.1 Sähköajoneuvomoottorin kiinnike ja kiinnitysalusta

Testauslaitteiston tekeminen aloitettiin viemällä sähköajoneuvomoottorin kiinnikkeen piirustus (liite 4) koulumme vieressä olevaan Savon ammatti- ja aikuisopiston metalliosastolle. Metalliosastolla kiinnike valmistettiin oppilastyönä. Lisäksi metalliosaston aikuislinjalle vietiin hankittu moottorikytkin koneistettavaksi piirustuksen (liite 8) mukaiseksi.

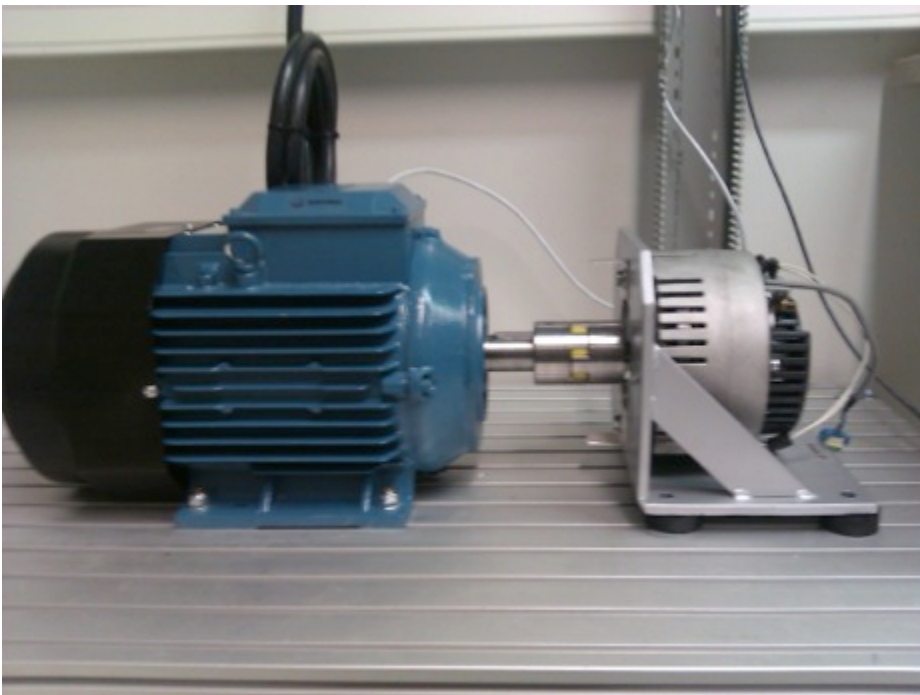
Alustaa varten oli hankittu Feston alumiininen profiililevy, alumiinista profiilia, kulmatukia ja vaimenninkumeja. Alustaan suunniteltiin laitettavaksi viisi jalkaa, yksi jokaiseen kulmaan sekä yksi keskelle. Jaloiksi valituissa alumiiniprofiileissa oli jokaiselle sivulla ura, johon mahtui M8 mutteri. Kulmatuet kiinnitettiin jalkoihin M8 x 20 pulteilla, jalkojen uriin laitettuihin muttereihin. Koska alustaksi tulevaan profiililevyyn ei saatu suoraan kiinnitettyä jalkoja, jouduttiin niille poraamaan reiät. Jalat kiinnitettiin alustaan M8 x 65 pulteilla ja M8 muttereilla. Jalkojen alle kiinnitettiin vielä vaimennuskumit. Lopuksi alustaan porattiin kiinnitysreiät induktiomoottorille piirustuksen (liite 7) mukaan. ABB:n 7,5 kW induktiomoottorin saavuttua kiinnitettiin se M12 x 65 pulteilla ja M12 nylon-muttereilla alustaan.

Sähköajoneuvomoottorin kiinnikkeen ja moottorikytkimen valmistuttua aloitettiin niiden kiinnittäminen. Sähköajoneuvomoottori kiinnitettiin sen kiinnikkeeseen. Tässä vaiheessa huomasimme, että kiinnike ei ollut aivan suunnitellun piirustuksen mukainen.

Valmistetussa kiinnikkeessä kiinnikkeen pohjan ja reiän, jonka mukaan sähkömoottori keskittyy, välinen etäisyys oli n. 114 mm suunnitellun 112 mm sijaan. Toinen huomio oli, että kiinnikkeen pohja ei ollut suorassa kulmassa suhteessa laippaan, johon sähkömoottori kiinnitetään. Näiden välinen kulma oli alle suorankulman. Lisäksi kiinnitysreikien paikat alustaa varten eivät olleet piirustuksen mukaan vaan niissä oli muutamien millien heittoa. Nämä seikat jouduttiin ottamaan huomioon kun kiinnike-moottori yhdistelmää aloitettiin kiinnittämään kiinnitysalustaan.

Koska kiinnikkeen pohjan ja keskitysreiän välinen etäisyys oli n. 2 mm suurempi kuin suunniteltiin ja kiinnikkeen pohja ei ollut suorassa kulmassa, jouduttiin 20 mm kiinnikkeen korotus suunnittelemaan uudestaan. Ongelma ratkaistiin sorvaamalla mustasta nylontangosta 18 mm paksut korotuspalat etummaisten kiinnitysreikien kohdalle ja takimmaisten kohdalle 19,5 mm paksuiset. Näillä korotuspaloilla saatiin sähköajoneuvomoottorin akseli samalle korkeudelle ja samaan linjaan kuin kuormamoottorin akseli.

Kiinnitysreikien väärien kohtien ongelma ratkaistiin laittamalla kiinnike-moottoripaketti oikeaan kohtaan ja merkkäämällä kiinnitysreikien paikat kynällä kiinnitysalustaan. Kiinnitysreiät kiinnitysalustaan porattiin näiden merkkien mukaan. Tässä vaiheessa jätettiin sähköajoneuvomoottori kiinnikkeineen kiinnittämättä kiinnitysalustaan, koska halusimme testata kuormaksi tulevaa laitteistoa ensin.



KUVIO 22 Koeasennus



## 11.2 Sähköasennukset

ABB:ltä hankittujen laitteiden saavuttua otettiin yhteyttä paikalliseen sähköasennusliikkeeseen, koska opinnäytetyöntekijällä ei ollut pätevyyttä tehdä vaadittavia sähköasennuksia. Sähköasentaja tuli katsomaan asennuskohdetta ja samalla kävimme läpi mitä asennustarvikkeita heidän tulisi hankkia, sekä sovimme ajankohdan, milloin sähköasennukset tehtäisiin.

Testauslaitteiston kuormaksi tulevien laitteiden asennus aloitettiin kiinnittämällä ne kaikki seinälle, sähkökeskuksen läheisyyteen. Lähimmäksi sähkökeskusta kiinnitettiin suodatinyksikkö, seuraavaksi vaihto/tasasuuntaaja, sitten taajuusmuuttaja ja viimeiseksi jarruvastus. Tällöin kytkennät saataisiin tehtyä loogisesti laitteesta toiseen.

Seuraavaksi aloitettiin kaapelointi. Aluksi kytkettiin suodatinyksikkö vaihto/tasasuuntaajaan. Vaihto/tasasuuntaajaan ja taajuusmuuttaja välillä on niin sanottu DC-välipiiri, koska vaihto/tasasuuntaaja muuttaa AC-muotoisen sähköön DC-muotoiseksi ja taajuusmuuttaja muuttaa tämän takaisin AC-muotoiseksi. Tässä välipiirissä DC-jännite normaalisti on 580-770 V<sub>DC</sub> välillä. Tämä DC-välipiirin kytkentä tehtiin 2 x 20 mm<sup>2</sup> kaapelilla, poiketen suunnitelman 2 x 10 mm<sup>2</sup>.

Seuraavaksi kytkettiin 7,5 kW induktiomootori taajuusmuuttajaan. Tämäkin kytkentä muuttui alkuperäisestä suunnitelmasta siten, että taajuusmuuttajan ja sähkömoottorin väliin asennettiin vielä turvakytkin. Turvakytkimellä voitaisiin erottaa sähkömoottori turvallisesti muusta laitteistosta. Lopuksi asennettiin koko laitteiston syöttökaapeli kiinni suodatinyksikköön, sekä kytkettiin jarruvastus 2 x 6 mm<sup>2</sup> kaapelilla vaihto/tasasuuntaajaan.

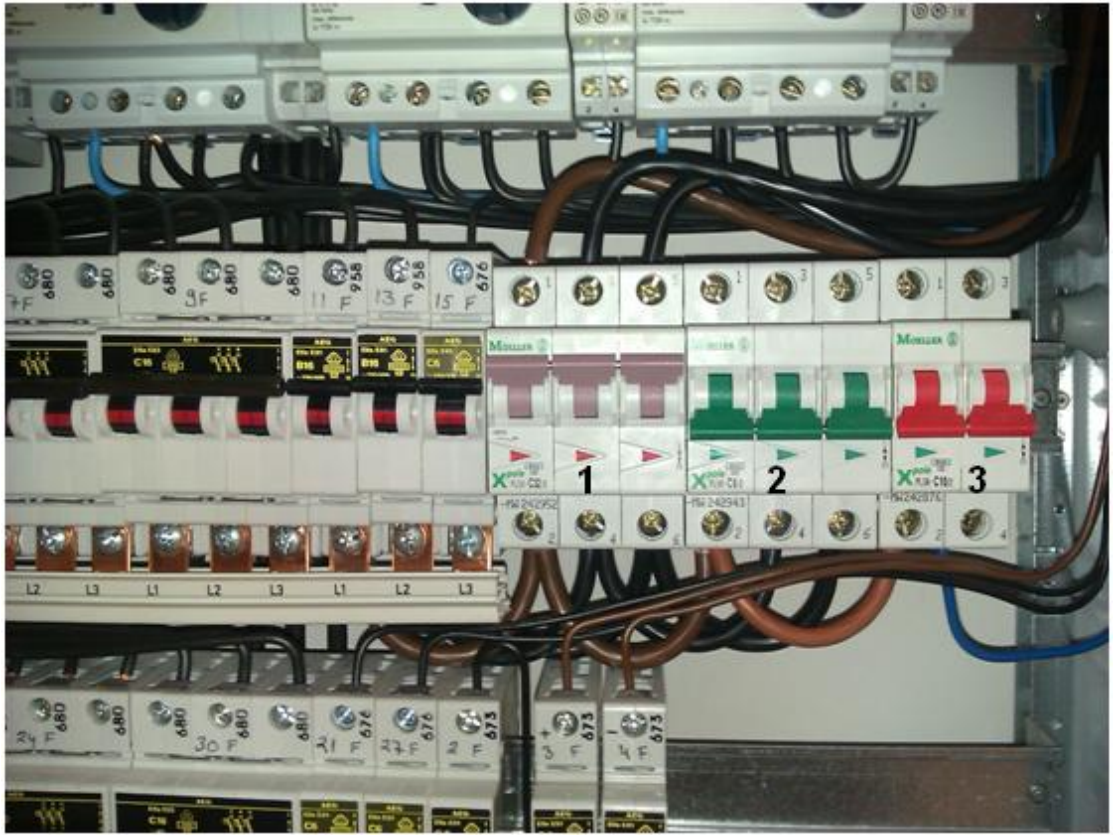
Lisäksi asennettiin laitekotelot DC-jännitelähteille ja I/O-moduulille. DC-jännitelähteen koteloon asennettiin kaksi DIN-kiskoa. Niihin kiinnitettiin DC-jännitelähteet, niille suojaksi 2 x 10 A sulake ja riviliittimiä, joiden kautta DC-kytkennät tehtäisiin. I/O-moduulin laitekoteloon asennettiin I/O-moduuli ja yksi DIN-kisko riviliittimiä varten, joidenka kautta tehtäisiin DC, AI, AO, DI ja DO-kytkennät. DC-jännitelähteisiin kytkettiin vielä syöttökaapeli, joka asennettaisiin kiinni sähkökeskukseen.

Kun kaikki laitteet olivat asennettu, voitiin aloittaa niille syöttöjen tekeminen sähkökeskukseen. Sähkökeskukseen lisättiin suunnitelman mukaan 3 x 32 A, 3 x 6 A ja 2 x 10 A sulakkeet. Sähkökeskus erotettiin muusta verkosta sen omalla pääkytkimellä,

sekä varmistettiin jännitekynällä sen jännitteettömyys. Tämän jälkeen kytkettiin sulakkeet sähkökeskukseen ja lopuksi suodatinyksikön, sekä DC-jännitelähteiden syöttökaapelit niille varattuihin sulakkeisiin. Kuviossa 23 on sähkökeskukseen lisätyt sulakkeet kytkettyinä ja kuviossa 24 tehdyt asennukset tässä vaiheessa. Kaikki nämä sähköasennukset tehtiin sähköasentajan voimin ja opinnäytetyöntekijä toimi näissä asennuksissa apumiehenä.

Jotta kuormalaitteistoa voitaisiin testata tässä vaiheessa, täytyi vielä kytkeä 7,5 kW induktiomootorin sisäiset PTC-termistorit taajuusmuuttajaan niille varattuun tuloliittimiinsä. Näiden termistoreiden resistanssin avulla taajuusmuuttaja valvoo induktiomootorin lämpötilaa ja näin estää sen ylikuumenemisen. Lisäksi suodatinyksikön tuulettimelle täytyi kytkeä 24 V<sub>DC</sub> jännite, tämä kytkentä tehtiin 2 x 1,5 mm<sup>2</sup> kaapelilla. Tätä tuuletinta ohjaa vaihto/tasasuuntaaja seuraamalla suodatinyksikön sisällä olevien PTC-termistoreiden resistanssia. PTC-termistorit kytkettiin vaihto/tasasuuntaajaan niille varattuun tuloliitäntään ja vaihto/tasasuuntaajasta tuulettimen ohjaussignaali suodatinyksikköön. PTC-termistoreiden ja ohjaussignaalin kaapeloinnissa käytettiin 5 x 0,75 mm<sup>2</sup> instrumentointikaapeleita, joista kytkettiin tarvittava määrä johtimia.

Kun nämä kaikki asennukset oli tehty, voitiin turvallisesti kytkeä laitteisto päälle. Kytkettäessä laitteisto päälle saatiin taajuusmuuttajasta, sekä vaihto/tasasuuntaajasta virheilmoitukset. Nämä virheilmoitukset tarkoittivat, että laitteille täytyy suorittaa parametointi. Koska muita virheitä ei ilmaantunut, todettiin nämä asennukset onnistuneiksi.



KUVIO 23 Sähkökeskukseen lisätyt sulakkeet, 3 x 32 A (1), 3 x 6 A (2), 2 x 10 A (3)



KUVIO 24 Sähköasennukset, Suodatinyksikkö (1), Vaihto/tasasuuntaaja (2), Taajuusmuuttaja (3), Jarruvastus (4), DC-välipiiri (5), Turvakytkin (6), 7,5 kW induktiomoottori (7), DC-jännitelähteet (8), I/O-moduuli (9)

### 11.3 I/O-asennukset

I/O-asennukset aloitettiin valmistamalla CANopen-väyläkaapeli. Vaihto/tasasuuntaajassa, taajuusmuuttajassa sekä CANopen-moduulissa on CiA:n protokollan DR-303-1 määrittelemät 9-napaiset D-Sub-liittimet väylää varten. Väyläkaapeli valmistettiin käyttämällä kierrettyä ja suojattua 2-napaista parikaapelia ja 9-napaisia D-Sub-liittimiä. Väyläkaapeli tinattiin D-Sub-liittimiin protokollan mukaisesti, eli CAN-High johdin tinattiin D-liittimien pinneihin 2 ja CAN-Low johdin pinneihin 7. Sähköajoneuvomoottorin moottorinohjaimessa on omanlaisensa liitin. Tälle liittimelle kuitenkin löytyi vastakappale vanhasta tietokoneen virtalähteestä, joka tinattiin väyläkaapelin toiseen päähän.

Koska vaihto/tasasuuntaaja, taajuusmuuttaja ja I/O-moduuli asennettiin seinälle rinnakkain ja sähköajoneuvomoottorin moottorinohjain sähkömoottoreiden kiinnitysalustaan, oli luontevaa tehdä vaihto/tasasuuntaajasta sekä sähköajoneuvomoottorin moottorinohjaimesta väylän päätepisteet. Tämä seikka täytyi huomioida asentamalla väylän päätepisteisiin 120 ohmin päätevastukset. CANopen-väylässä päätevastukset kytketään CAN-High johtimesta CAN-Low johtimeen. Sähköajoneuvomoottorin moottorinohjaimessa on valmiiksi sisäinen päätevastus, joten vaihto/tasasuuntaajan D-Sub-liittimen sisälle tinattiin 120 ohmin metallikalvovastus. Lisäksi NI 9881 CANopen-moduuli vaatii oman  $24 V_{DC}$  jännitesyötön. Tämä tasajännite otettiin toiselta DC-teholähteeltä ja se kytkettiin DR-303-1 protokollan mukaisesti moduulille tulevan D-Sub-liittimen pinneihin 9 ( $V_{sup}$ ) ja 6 (GND).

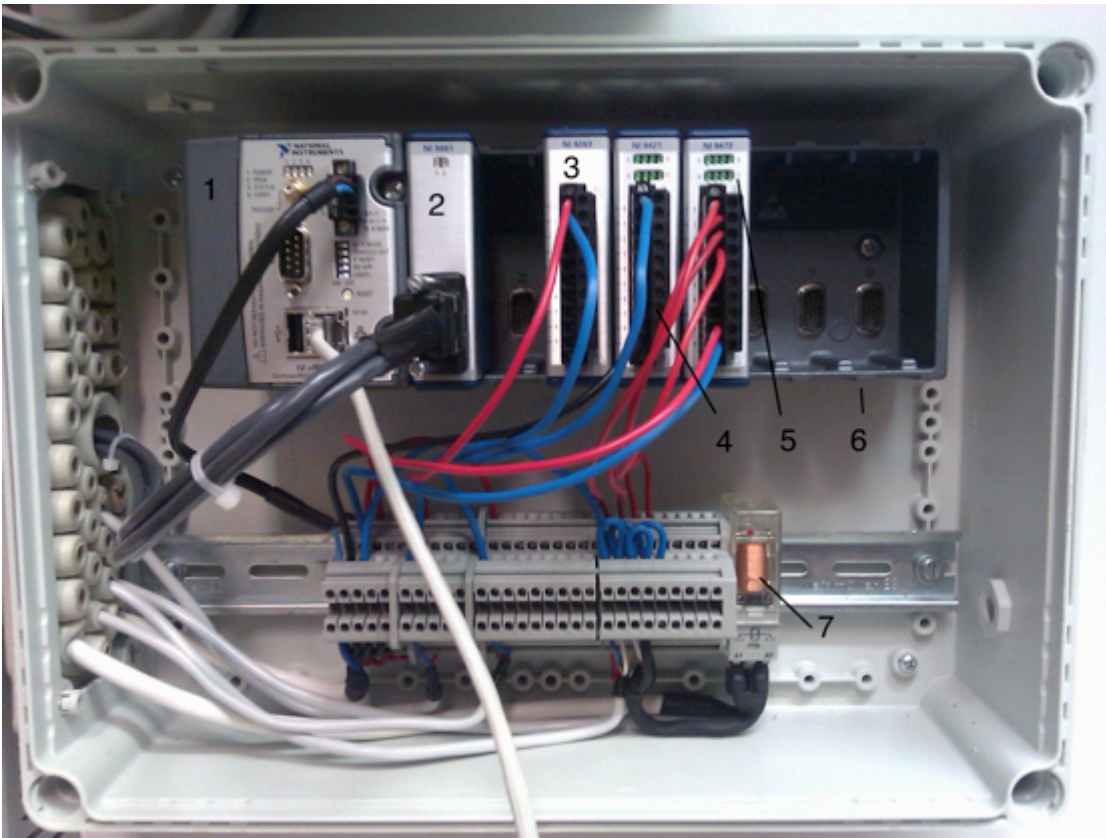
Hätäpysäytyspiiri toteutettiin kytkemällä hätäseis-painike taajuusmuuttajaan ja DI-moduuliin DI0-kanavaan. Tässä painikkeessa on normaalisti kiinni- ja avoinna olevat kytkimet. Taajuusmuuttajan hätäpysäytys kytkettiin normaalisti kiinni olevan kytkimen kautta, jolloin taajuusmuuttaja saa koko ajan tiedon, että painiketta ei olla painettu. DI-moduulille hätäpysäytys kytkettiin normaalisti auki olevan kytkimen kautta. Tällöin painiketta painettaessa DI-moduulin kautta ohjausohjelmisto saa tiedon katkaista ohjaukset.

DO-moduuli kytkettiin ohjaamaan taajuusmuuttajan Start/Stop ja sähköajoneuvomoottorinohjaimen On/Off toimintoja sekä, taajuusmuuttajan ja vaihto/tasasuuntaajan vikakoodien nollaamista. DO-moduulin DO0-kanava kytkettiin ohjaamaan taajuusmuuttajan Start/Stop toimintaa ja kanava DO1-vikakoodien nollaamista. Vaihto/tasasuuntaajan vikakoodien nollaaminen kytkettiin DO2-kanavaan. Sähköajoneu-

vomoottorinohjaimen On/Off ohjaus jouduttiin toteuttamaan 24 V releellä, koska käytössä oleva DO-moduuli ei pysty antamaan moottorinohjaimen vaatimaa 7 A virtaa. Releen avulla toteutettuna DO3-kanava ohjaa relettä, joka ohjaa akkupaketilta tuodun jännitteen moottorinohjaimelle ja saa näin riittävästi virtaa.

Kuormamoottorin pyörimisnopeutta ohjataan AO-moduulilla. Tämän AO-moduulin kanava AO0 kytkettiin taajuusmuuttajan sille varattuun tuloliittimeen.

Kaikki I/O-asennukset toteutettiin 5 x 0,75 mm<sup>2</sup> kaapeleilla, joista tarvittava määrä johtimia kytkettiin. Kytkenät I/O-moduulilta ja moduulille tehtiin riviliittimien kautta, jolloin päästiin siistimpiin ja helpommin ymmärrettäviin kytkentöihin.



KUVIO 25 Kasattu I/O-moduuli, Prosessoriyksikkö (1), CANopen-moduuli (2), AO-moduuli(3), DI-moduuli (4), DO-moduuli (5), Alusta(6), Ohjausrele (7)

#### 11.4 Taajuusmuuttajan ja vaihto/tasasuuntaajan parametointi

Kuten aikaisemmin on mainittu täytyy taajuusmuuttaja ja vaihto/tasasuuntaaja parametroida, ennen kuin ne voidaan ottaa käyttöön. Myös laitteiden ensitestissä saadut

virhekoodit kertoivat parametroidin puuttuvan. Tämän parametroidin tekemiseksi toimituksen mukana tuli DriveStudio niminen ABB:n ohjelma. Tällä ohjelmalla voidaan tehdä kyseisten laitteiden parametointi sekä muuten monitoroida niiden toimintaa. Muutettaessa parametreja ne useimmiten tulevat heti voimaan. Kuitenkin on joitakin parametriryhmiä, joidenka muutokset tulevat voimaan vasta kun laitteeseen seuraavan kerran kytketään virta tai valitaan erillinen Refresh parametri päälle.

Lisäksi mukana toimitettiin DriveSPC ohjelma, jonka avulla päästään muuttamaan kyseisten laitteiden toimintalogiikkaa. Laitteiden toimintalogiikka on toteutettu erilaisilla toimintalohkoilla eli "funktio blockeilla". Näitä toimintalohkoja lisäämällä ja muuttamalla saadaan muutettua laitteiden toimintaa halutunlaiseksi. Nämä molemmat ohjelmat asennettiin tietokoneelle, joka oli varattu tätä laitteistoa varten.

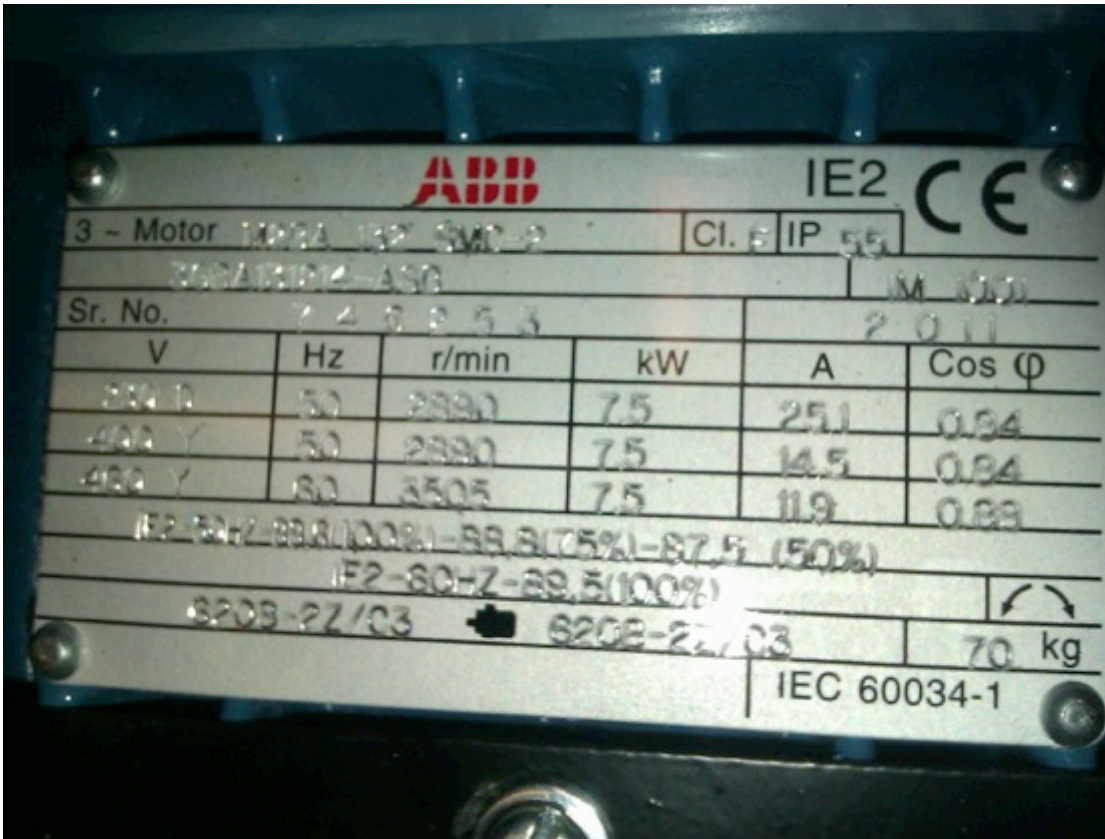
Parametointi aloitettiin liittämällä vaihto/tasasuuntaaja sen mukana tulleella kaapelilla tietokoneeseen. Koska laitteisiin oli kytketty  $24 V_{DC}$  jännitteet, voitiin parametointi tehdä kytkemättä varsinaista syöttöjännitettä. Tietokoneelta avattiin DriveStudio ohjelma. Avauduttuaan ohjelma latsi senhetkisen parametriluettelon vaihto/tasasuuntaajasta. Parametointi suoritettiin vaihto/tasasuuntaajan Firmware-manuaalin mukaisesti. Asetettavia parametreja vaihto/tasasuuntaajassa olivat vain asettaa kenttäväyläyhteys päälle, muuttaa laitteen CANopen-väylän solmun ID-numero (Node-ID) ja vaihtaa kenttäväylän nopeus (Bit rate) muiden väylällä olevien laitteiden kanssa yhtenäiseksi.

Tässä vaiheessa päätettiin, että väylällä olevien solmujen ID-numerot ja käytettävä väylännopeus. Solmujen ID-numeroiksi päätettiin seuraavat. Sähköajoneuvomoottorin moottorinohjain 1, NI 9881 CANopen-moduuli 2, taajuusmuuttaja 3 ja vaihto/tasasuuntaaja 4. Käytettäväksi väylännopeudeksi päätettiin 1 Mbit/s, koska väylän pituus oli vain n. 5 m, jolloin voidaan käyttää maksimi väylännopeutta.

Näiden pohjalta muutettiin vaihto/tasasuuntaajasta solmun ID-numeroksi 4 ja väylännopeus arvoksi 0, joka vastaa 1 Mbit/s nopeutta. Näiden parametrien asetuksen jälkeen pystyttiin nollaamaan parametrien asettamattomuudesta johtuva virhekoodi ja vaihto/tasasuuntaaja oli valmis käytettäväksi.

Taajuusmuuttajan parametointi aloitettiin kuten vaihto/tasasuuntaajankin. Kytkettiin laitteeseen  $24 V_{DC}$  jännite päälle, liitettiin taajuusmuuttaja tietokoneeseen, avattiin DriveStudio ja aloitettiin parametointi taajuusmuuttajan Firmware-manuaalin ohjei-

den mukaan. Parametointi aloitettiin syöttämällä induktiomootorin tiedot. Nämä tiedot löytyivät kyseisen sähkömootorin tyyppikilvestä. Tyyppikilpi kuviossa 26.



KUVIO 26 ABB:n 7,5 kW induktiomootorin tyyppikilpi

Tyyppikilven oikeat arvot otettiin tehdyn kytkennän kohdalta, eli 400 Y. Tämä tarkoittaa, että induktiomoottori on kytketty 400 V verkkoon ja siinä on käytetty tähtikytkentää. Näistä tyyppikilven arvoista asetettiin taajuusmuuttajan parametreihin moottorintyyppi AM, toimintajännite 400 (V<sub>AC</sub>), nimellistaajuus 50 (Hz), nimellisyörimisnopeus 2890 (r/min), nimellisvirta 14,5 (A), moottorin nimellisteho 7,5 (kW) ja tehokerroin 0,84 (cos φ). Lisäksi asetettiin moottorinlämpösuojauksen parametri, eli lämpötilamittauksena toimii moottorin sisäinen PTC-anturi. Näiden parametrien asetuksen jälkeen tehtiin sähkömootorin tunnistusajo, jonka aikana sähkömoottori pyöri eri nopeuksilla ja, jonka mukaan taajuusmuuttaja asettaa loput sähkömoottorille vaadittavat parametrit kohdalleen. Näitä tunnistusajoja taajuusmuuttajalla voidaan suorittaa erilaisia, kuten normaali, supistettu ja paikallaan suoritettava ajo. Tässä sovelluksessa voitiin käyttää normaalia tunnistusajoa, koska moottoriin ei oltu kytketty kuormaa.

Tunnistusajon jälkeen suoritettiin manuaalissa seuraavaksi olevat parametrien tarkistukset. Näissä tarkistuksissa huomattiin, että moottorin pyörimisnopeudeksi oli rajoi-



tettu 1500 1/min, vaikka nimellinopeus on 2980 1/min. Tämän parametrin arvo korjattiin oikeaksi. Näiden tarkistusten ja korjausten jälkeen suoritettiin toinen tunnistusajo. Seuraavaksi vielä tarkastettiin nopeussäätimen P ja I arvot manuaalin ohjeen mukaan. P ja I arvot osoittautuivat toimiviksi vakio asetuksilla.

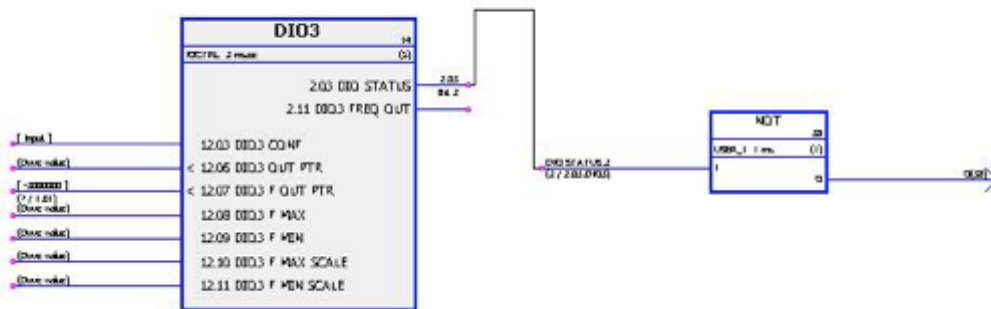
Näiden parametrien asetusten lisäksi kenttäväyläyhteys asetettiin päälle, solmun ID-numeroksi 3 ja kenttäväylän nopeus arvoksi 0. Koska taajuusmuuttajan ohjaus käynnistettäisiin tuomalla tieto sen DI1 liittimeen, vaihdettiin ensisijaiseksi käynnistysparametriksi In1, joka vastaa kyseistä digitaalista tuloa.

Name	Value	Unit	Min	Max
<b>1 ACTUAL VALUES</b>				
1 SPEED ACT	0.00	rpm	-30000.00	30000.00
2 SPEED ACT PERC	0.00	%	-1000.00	1000.00
3 FREQUENCY	0.00	Hz	-30000.00	30000.00
4 CURRENT	0.00	A	0.00	30000.00
5 CURRENT PERC	0.0	%	0.0	1000.0
6 TORQUE	0.0	%	-1000.0	1000.0
7 DC-VOLTAGE	570.37	V	0.00	2000.00
8 ENCODER 1 SPEED	0.00	rpm	-32768.00	32768.00
9 ENCODER 1 POS	0.00000000	rev	0.00000000	1.00000000
10 ENCODER 2 SPEED	0.00	rpm	-32768.00	32768.00
11 ENCODER 2 POS	0.00000000	rev	0.00000000	1.00000000
12 POS ACT	0.000	rev	-32768.000	32768.000
13 POS IND ENC	0.000	rev	-32768.000	32768.000
14 SPEED ESTIMATED	0.00	rpm	-30000.00	30000.00
15 TEMP INVERTER	23.7	°C	-40.0	160.0
16 TEMP DC	23.9	°C	-40.0	160.0
17 MOTOR TEMP	0.0	°C	-10.0	250.0
18 MOTOR TEMP EST	20	°C	-40	1000
19 USED SUPPLY VOLT	406.2	V	0.0	1000.0
20 BRAKE RES LOAD	0	%	0	1000
21 CPU USAGE	74	%	0	100
22 INVERTER POWER	0.00	kW	-32768.00	32768.00
26 ON TIME COUNTER	09.58	h	0.0	25791304.1
27 RUN TIME COUNTER	2.42	h	0.0	25791304.1
28 PAN ON TIME	3.38	h	0.0	25791304.1
31 PECH TIME COUNT	0.000	s	0.000	32767.000
38 TEMP INT BOARD	45.2	°C	-40.0	160.0
<b>2 0/0 VALUES</b>				
<b>3 CONTROL VALUES</b>				
<b>6 DRIVE STATUS</b>				
<b>8 ALARMS &amp; FAULTS</b>				
<b>9 SYSTEM INFO</b>				
<b>10 START/STOP</b>				
<b>11 START/STOP MODE</b>				
<b>12 DIGITAL I/O</b>				
<b>13 ANALOGUE INPUTS</b>				
<b>15 ANALOGUE OUTPUTS</b>				
<b>16 SYSTEM</b>				
<b>17 PANEL DISPLAY</b>				
<b>20 LIMITS</b>				
<b>22 SPEED FEEDBACK</b>				
<b>24 SPEED REF MODE</b>				

## KUVIO 27 Parametrintiohjelma

Hätäseis-painikkeen saattaminen toimintaan vaadittiin muutoksia taajuusmuuttajan toimintalogiikkaan. Tämä muutos tehtiin DriveSPC ohjelmalla. Koska hätäseis-painike oli kytketty sille varattuun DIO3-liittimeen, täytyi sen toimintaa muuttaa. Tämä DIO3 pystyy toimimaan niin digitaalisena tulona kuin myös lähtönä. Se muutettiin toimimaan tuloksi vaihtamalla DIO3 toimintalohkon DIO3 CONF lähteeksi Input. Tämän toimintalohkon DIO STATUS lähtö kytkettiin DRIVE LOGIC toimintalohkon EM STOP OFF3 tuloon. Koska hätäseis-painikkeelta tulee jatkuvasti tieto, että sitä ei ole painet-

tu täytyi DIO STATUS ja EM STOP OFF3 kytkennän väliin laittaa NOT lohko, jotta hätäpysäytys ei olisi jatkuvasti aktivoituna. Tämä lohko muuttaa loogisen ykkösen nolaksi ja nollan ykköseksi. Näin saadaan hätäpysäytys aktivoitua kun hätäseis-painiketta painetaan. Kuviossa 28 näkyy kuinka DIO CONF tulo on muutettu Inputiksi, DIO STATUS lähtöön kytketty NOT lohko, josta nuoli jatkuu edelleen EM STOP OFF3 tuloon.



KUVIO 28 Muutettu toimintalogiikka

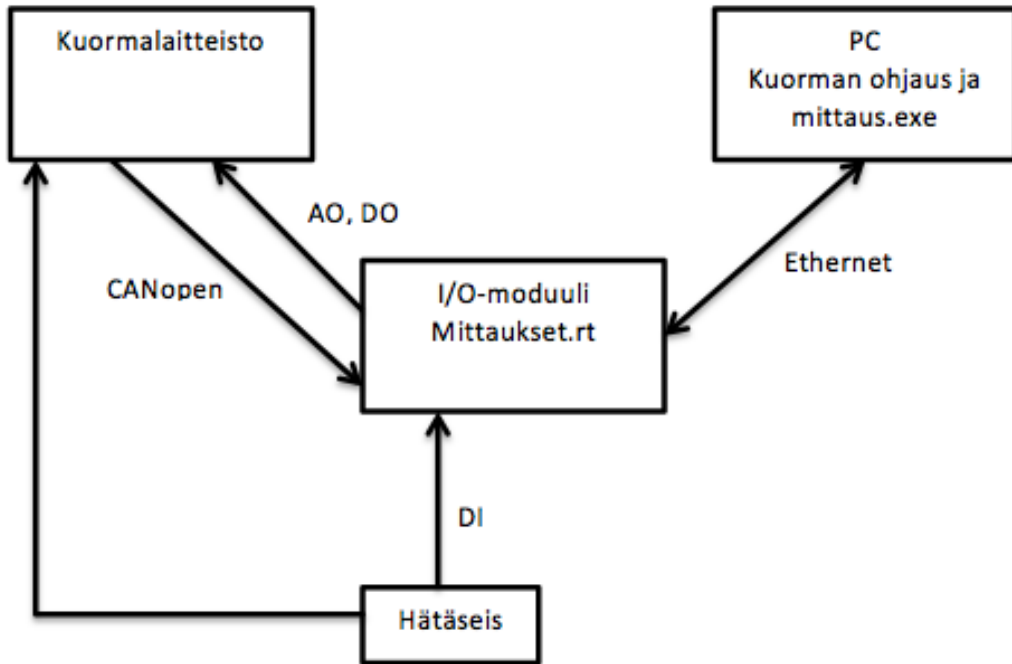
## 11.5 Ohjausohjelma

Ohjausohjelman tekemisen alussa tuli heti ongelmia LabVIEW:n ja I/O-moduulin kanssa. Ongelmia aiheutti kokemattomuus compactRIO alustasta, jossa on sisäinen prosessori ja NI 9881 CANopen-moduulista, joka vaatii toimiakseen prosessorilla olevan alustan, sekä Real-Time ohjelman. Toimiakseen tämä prosessori vaati se sekä FPGA ja Scan-Engine ajurit. Näitä ajureita kuitenkin ei saanut asennettua, ennen kuin ne oli asennettu LabVIEW:hin. LabVIEW asennuksen jälkeen onnistuttiin alustan ajureiden päivityksessä.

Seuraavissa kappaleissa on kerrottu kuinka testauslaitteiston ohjausohjelma on toteutettu. Kappaleessa 11.5.1 on esitelty tehdyn ohjelman toimintaperiaate, kappaleissa 11.5.2 ja 11.5.3 tarkastellaan ohjausohjelmaa tehtyjen koodien näkökulmista ja kappaleessa 11.5.4, kuinka tehtyä ohjausohjelmaa käytetään.

## 11.5.1 Toiminta

Ohjausohjelman toiminta selviää tarkastelemalla kuviota 29.

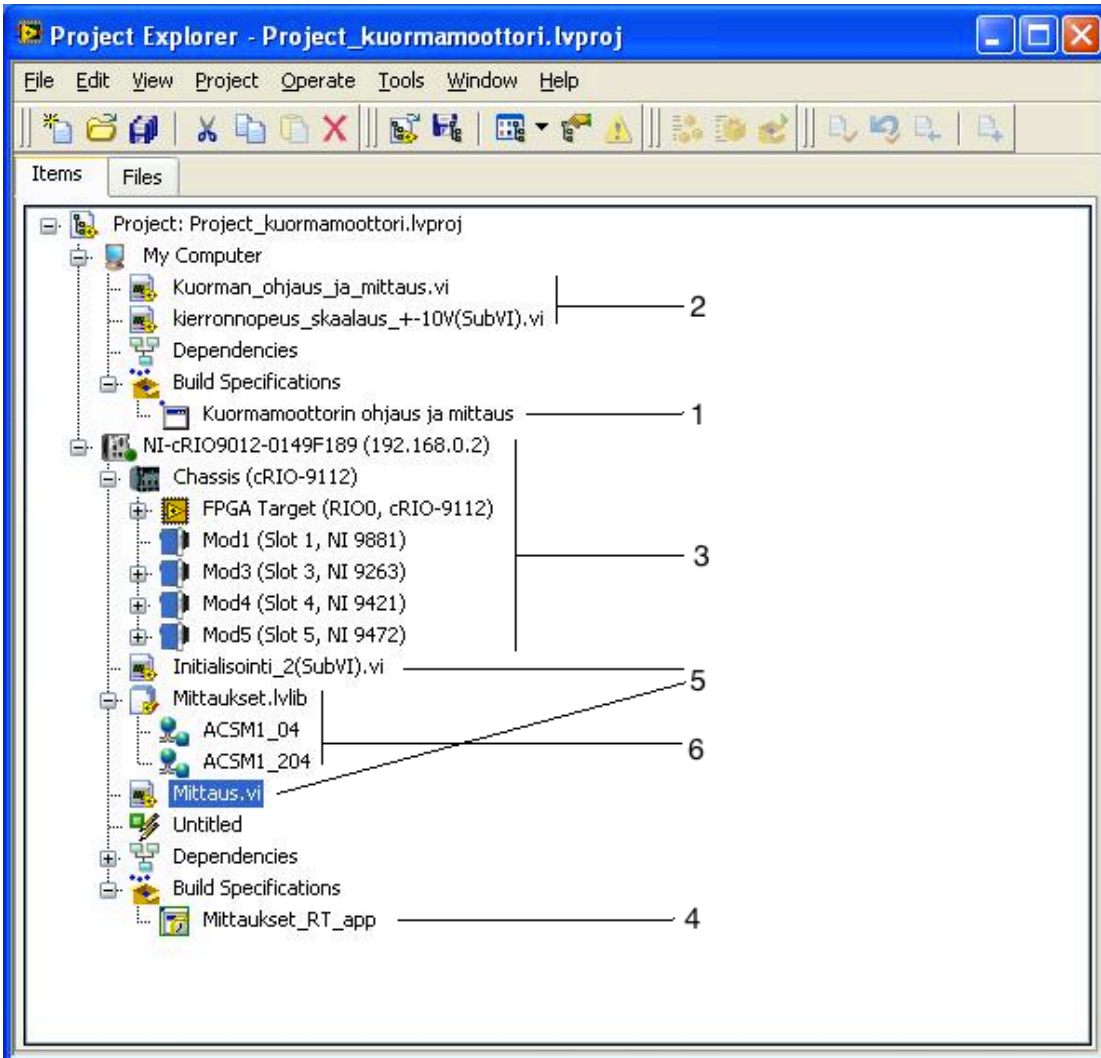


KUVIO 29 Ohjausohjelman toiminta

PC:llä ohjataan ethernet yhteyden kautta I/O-moduulia, joka suorittaa käsketyt toiminnot AO- ja DO-viesteillä kuormalaitteistolle. Hätäseis-painikkeen tilatieto luetaan DI:n kautta I/O-moduulille ja taajuusmuuttajalle. Mittaukset kuormalaitteistolta kerätään CANopen-väylän kautta I/O-moduuliin, josta ne luetaan PC:lle. Itse ohjausohjelma koostuu kahdesta erillisestä pääohjelmasta, mittaukset suorittavasta Real-Time ohjelmasta (Mittaukset.rt), joka pyörii I/O-moduulissa, sekä PC:ssä pyörivästä ohjelmasta (Kuorman ohjaus ja mittaus.exe), jolla ohjataan laitteiden toimintaa ja näytetään Real-Time ohjelmalla kerätyt mittaustiedot.

Kuormalaitteiston ohjausohjelma toteutettiin National Instrumentsin LabVIEW ohjelmalla. Ohjausohjelman tekeminen aloitettiin luomalla uusi projekti (Project\_kuormamoottori) (kuvio 30). Ensimmäisenä projektiin lisättiin I/O-moduuli. Ohjelmointi aloitettiin ohjelmoimalla mittausohjelma aliohjelmineen (Mittaukset\_RT\_app) I/O-moduuliin. Seuraavaksi tehtiin kirjasto tiedosto (Mittaukset.lvlib), johon mittaukset tallennetaan. Lopuksi tehtiin PC:lle ohjausohjelma aliohjelmineen (Kuormamoottorin ohjaus ja mittaus). Aivan viimeiseksi kaikkiin ohjelmakoodeihin lisättiin kommentteja

ohjelman toiminnasta, jotka edesauttavat koodin ja ohjelman toiminnan ymmärtämistä.



KUVIO 30 Projekti PC:ssä oleva ohjausohjelma (1), Ohjausohjelman sisältävät ohjelmat (2), I/O-moduuli (3), I/O-moduulissa oleva Real-Time ohjelma (4), Real-Time ohjelman sisältävät ohjelmat (5), Kirjasto tiedosto (6)

### 11.5.2 Real-Time ohjelma

I/Omoduulissa pyörivä Real-Time ohjelma määriteltiin käynnistyvän automaattisesti kun I/O-moduuliin kytketään virrat päälle. Itse ohjelma koostuu Mittaus.vi pääohjelmasta, Initialisointi\_2.vi aliohjelmasta ja Mittaukset.lvlib kirjastotiedostosta. Ohjelman koodi on esitetty liitteessä 9.

Jotta CANopen moduulin käyttö olisi mahdollista täytyy ensimmäiseksi avata yhteys I/O-moduulissa olevaan FPGA targettiin. Tämän jälkeen luodaan CANopen interface (Interface Create), jossa määritellään käytettäväksi CANopen NI 9881 moduulia (CANopen01) ja väylänopeudeksi (1 Mbit/s), joka on sama mikä aikaisemmin määriteltiin taajuusmuuttajalle ja vaihto/tasasuuntaajalle. Tämän jälkeen siirrytään Initialisointi\_2.vi aliohjelmaan (Liite 10). Aliohjelmassa initialisoidaan eli alustetaan CANopen-väylä NMT-palveluiden avulla ja käynnistetään se hallitusti. Aliohjelmassa on käytetty sekvenssirakennetta (Sequence structure) eli ns. filminauharakennetta, joka tarkoittaa että ohjelmassa edetään ruutu kerrallaan eteenpäin. Tällä tavalla saadaan ohjelman toimintaa jaksotettua.

Initialisointi tehdään kaikille väylän solmuille, jolloin NMT-palveluiden node-ID:ksi on määritetty 0. Ensimmäisenä uudelleen käynnistetään kaikki solmut (Reset Node). Seuraavaksi uudelleen käynnistetään kommunikaatioyhteydet (Reset Communication), siirretään kaikki solmut valmiustilaan (Enter Pre-operational), josta siirretään kaikki solmut toimintaan (Start Remote Node). Näille jokaiselle toiminnalle on varattu 1000 ms eli 1 s suoritus aikaa. Lopuksi kahdessa viimeisessä ruudussa kirjoitetaan TRUE arvot eli loogiset ykköset kanaville DO1 ja DO2 500 ms ajan ja tämän jälkeen FALSE eli loogiset nollat. Näin saadaan nollattua taajuusmuuttajan ja vaihto/tasasuuntaajan mahdolliset vikakoodit. Aliohjelman suoritettua siirrytään takaisin pääohjelmaan.

Seuraavaksi pääohjelmassa luodaan SDO yhteydet solmuille 3 ja 4, eli taajuusmuuttajalle ja vaihto/tasasuuntaajalle. Tämän jälkeen ohjelma siirtyy ajastetun loop-rakenteen sisälle (Timed loop structure). Rakenteen sisällä olevaa koodia suoritetaan aina uudestaan ja uudestaan määritellyn 100 ms (rakenteen dt arvo) välein, eli 10 kertaa/s kunnes loopin STOP-nappia painetaan. Ajastetun looppin rakenteen sisällä on käytetty kahta eri sekvenssirakennetta. Ylemmässä näissä rakenteissa luetaan mittauksetiedot taajuusmuuttajasta eli solmusta 3 ja alemmassa vaihto/tasasuuntaajasta eli solmusta 4. Jokainen mittausparametri luetaan käyttämällä SDO lue objektia (SDO Read), joihin määritellään luettavan parametrin objekti-indeksi (object index), sen alaindeksi (object sub-index) ja luettavan datan pituus (Esim. SDO Read [I32]).

Nämä indeksiarvot määräytyvät ABB:n laitemanuaaleista saadun ohjeen mukaan. Esim. jos halutaan lukea taajuusmuuttajan parametri valikosta 1 alaindeksin 22. tieto eli taajuusmuuttajan teho (Inverter Power), laitetaan objekti indeksin arvoksi 4001h (4000h + halutun parametri valikon numero heksanumerona) ja alaindeksiksi 16h (=

22 desimaalisena). Koska mittaustiedot lähetetään kokonaislukuina täytyi tietää kyseisen mittauksen datan pituus ja mahdollisen skaalauksen arvo. Nämä tiedot löytyivät laitteiden Firmware-manuaaleista. Esim. moottorin pyörimisnopeuden pituus 32 bittiä ja skaalauksen arvo 100.

Luettavia mittaustietoja taajuusmuuttajasta ovat:

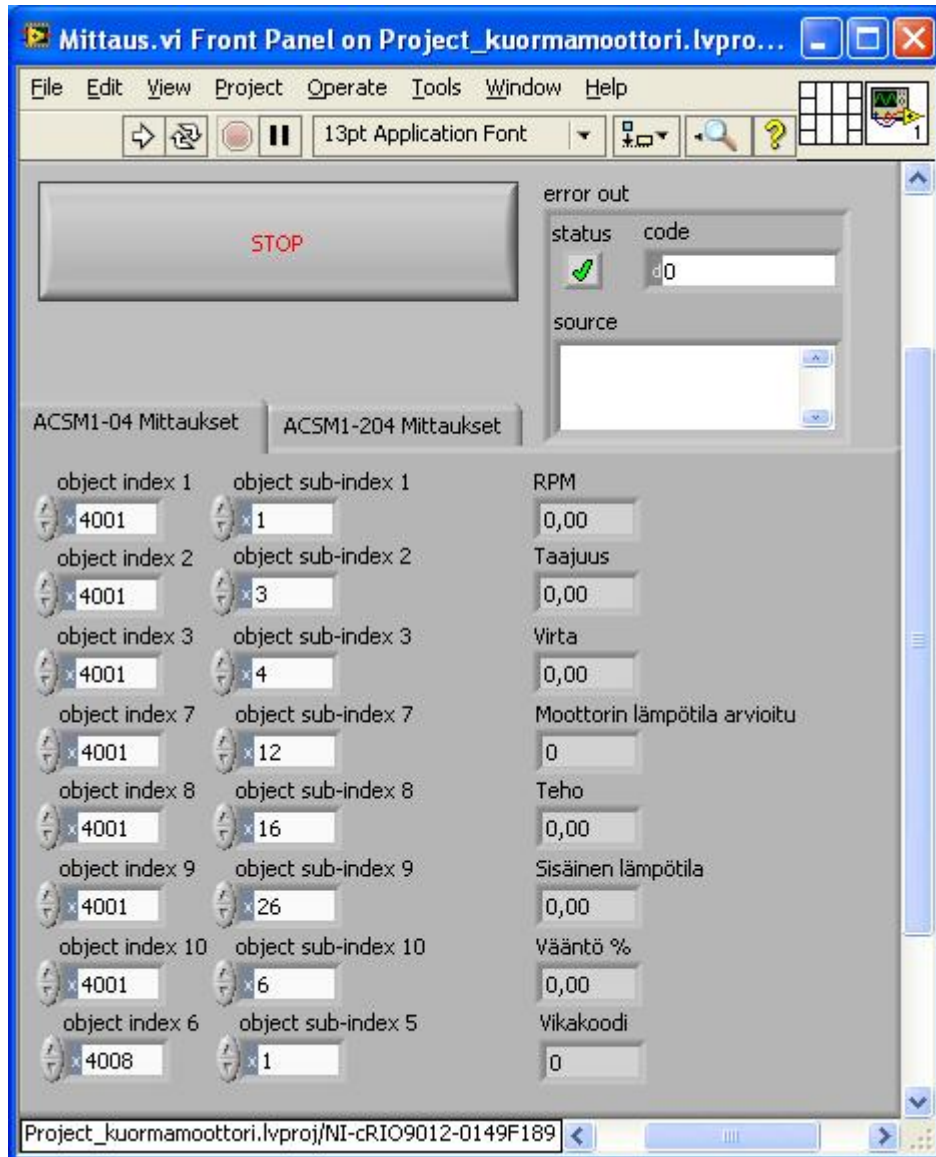
- Moottorin pyörimisnopeus (1/min)
- Moottorille syötettävän jännitteen taajuus (Hz)
- Taajuusmuuttajan virta (A)
- Moottorin arvioitu lämpötila (°C)
- Taajuusmuuttajan teho (kW)
- Taajuusmuuttajan lämpötila (°C)
- Moottorin vääntömomentti prosentteina (%)
- Taajuusmuuttajan vikakoodi

Luettavia mittaus tietoja vaihto/tasasuuntaajasta ovat:

- Vaihto/tasasuuntaajan virta (A)
- DC-välipiirin jännite ( $V_{DC}$ )
- Vaihto/tasasuuntaajan lämpötila (°C)
- Vaihto/tasasuuntaajan vikakoodi

Alemman sekvenssirakenteen viimeisessä ruudussa kaikista yllämainituista mittaus-tiedoista on tehty paikalliset muuttujat. Näiden paikallisten muuttujien arvot kerätään taulukkoihin (Index to Array), jotka tallennetaan laitteiden nimeä kantaviin globaaleihin kirjastotiedostoihin.

Kun ajastettu looppi pysäytetään suoritetaan lopuksi SDO yhteyksien sulkeminen (SDO Close), siirretään kaikki solmut stop-tilaan (stop remote node), suljetaan interface (Interface Close), suljetaan yhteys FPGA targettiin ja tulostetaan mahdolliset virheet (error out).



KUVIO 31 Real-Time ohjelman Front-panel

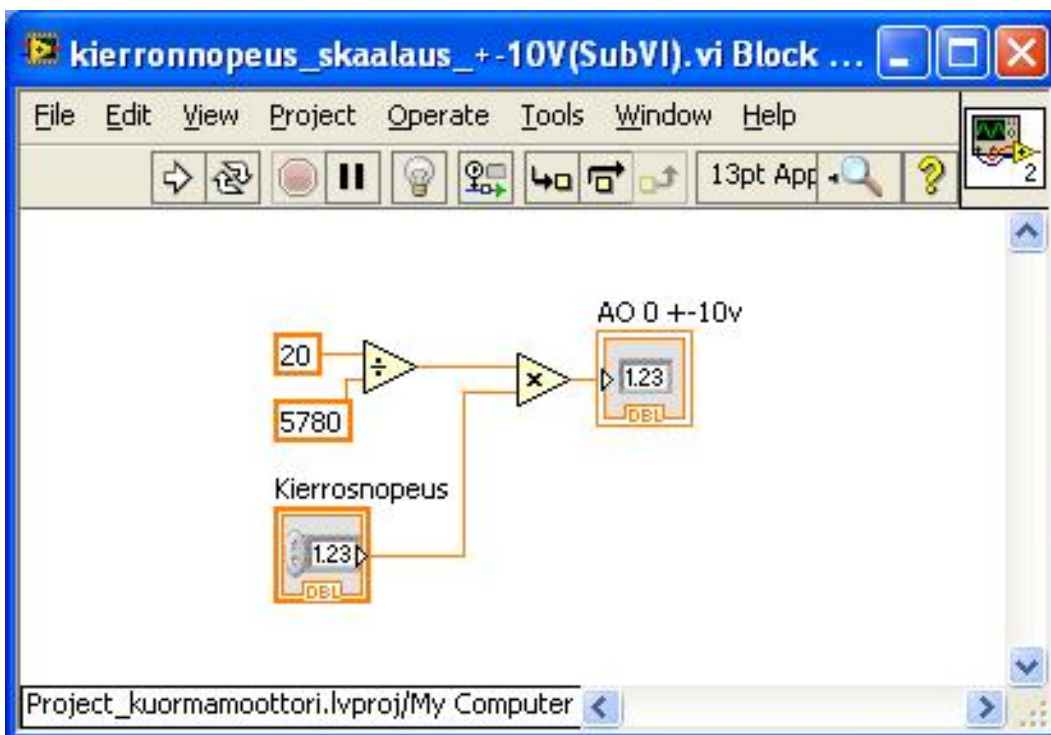
### 11.5.3 Kuormamoottorin ohjaus- ja mittausohjelma

PC:llä käytettävän Kuormamoottorin ohjaus- ja mittausohjelma koostuu Kuorman\_ohjaus\_ ja\_mittaus.vi pääohjelmasta (liite 11) ja kierrosnopeus\_skaalaus\_+10V.vi aliohjelmasta.

Käynnistettäessä tämä .exe tiedosto, ohjelma siirtyy suoraan ajastetun looppi rakenteen sisään. Tämän rakenteen sisällä olevaa koodia suoritetaan määritellyn 100 ms (rakenteen dt arvo) välein eli 10 kertaa/s. Rakenteen sisällä käydään kokoajan läpi kolmea eri ohjelma-aluetta. Luetaan ja kirjoitetaan DI, DO ja AO kanavia, käydään

lukemassa mittaustiedot kirjastotiedostoista ja tarkkaillaan rakenteen pyörimisen toimintaehjoja.

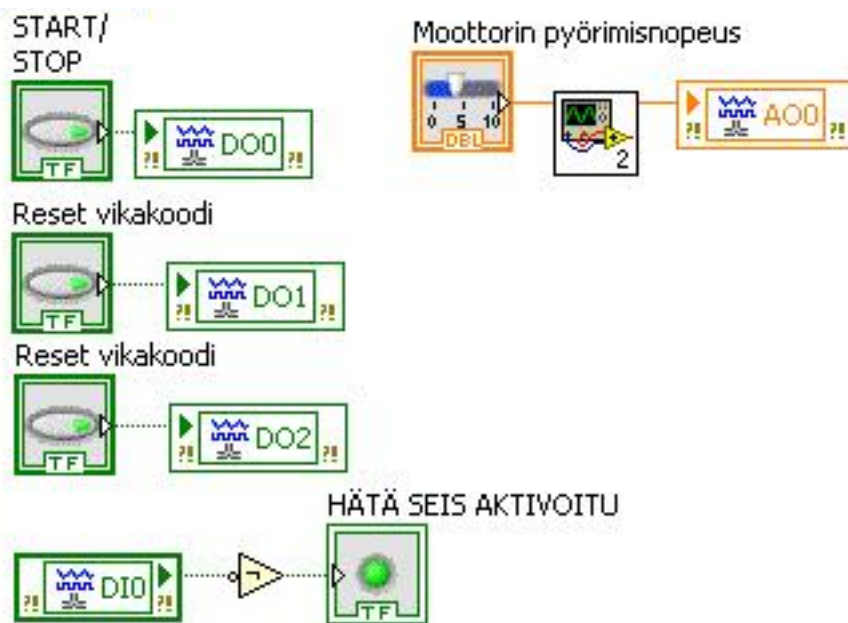
Ensimmäisessä ohjelmaosassa (kuvio 33) käsitellään DI, DO ja AO ohjauksen toimintaa. START/STOP -napin tilatieto TRUE/FALSE kirjoitetaan DO0 kanavaan, jolla ohjataan taajuusmuuttajan käyntitietoa. Reset-vikakoodit napeilla kirjoitetaan TRUE/FALSE -kanavaan DO1 tai DO2 riippuen kumpaa nappia on painettu. Näiden nappien ominaisuutta on muutettu siten, että nappia painettaessa se ei jää päälle vaan käy vain hetken päällä. Näillä napeilla voi nollata taajuusmuuttajan tai vaihto/tasasuuntaajan vikakoodit. DI0-kanavaan tulee tilatieto hätäseis-painikkeelta. Koska hätäseis-painikkeelta tulee jatkuvasti TRUE-arvo, on ennen sen arvon kirjoittamista ledille laitettu NOT-lohko, jotta hätäseis-painikkeen painamisesta kertova ledi (HÄTÄ SEIS AKTIVOITU) toimisi loogisesti oikein. Moottorin pyörimisnopeus kirjoitetaan taajuusmuuttajalle AO0 kanavan kautta. Halutun pyörimisnopeuden voi säätää joko liukukytkimellä tai kirjoittamalla sen näyttökenttään suoraan halutun pyörimisnopeuden. Koska tämä haluttu pyörimisnopeus kirjoitetaan taajuusmuuttajalle  $\pm 10V$  viestiä käyttäen on se skaalattava oikean suuruiseksi jännitteeksi. Tämä skaalaus tapahtuu kierrosnopeus\_skaalaus\_+-10V.vi aliohjelmassa (Kuvio 32).



KUVIO 32 Kierrosnopeuden skaalaus aliohjelman Block-diagram

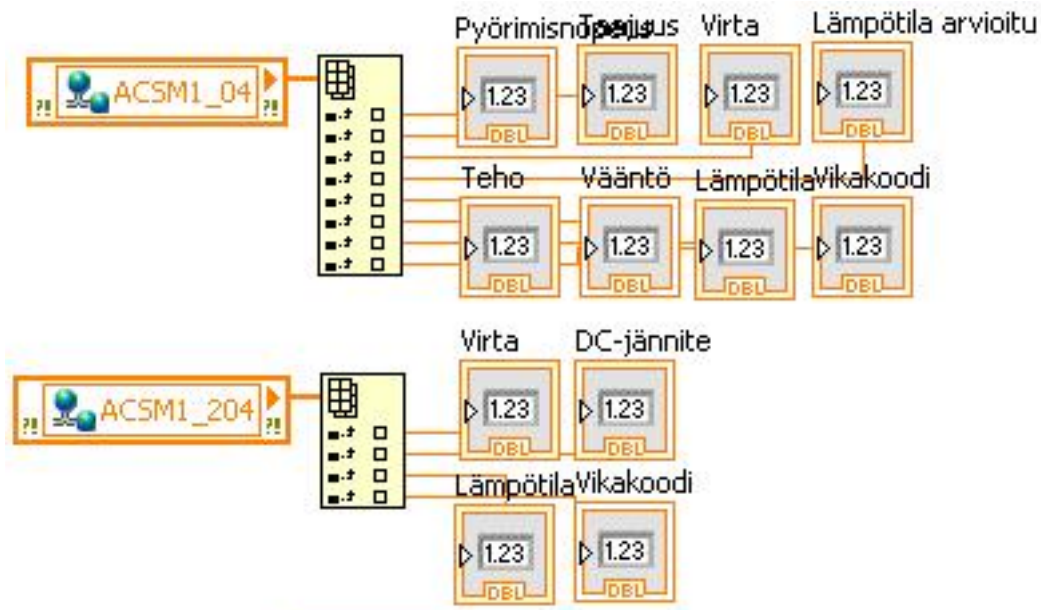


Koska kuormamoottorin maksimi pyörimisnopeus on parametroitu taajuusmuuttajaan 2890 1/min molempiin suuntiin, tulee tällöin pyörimisnopeuden kokonaisalueeksi 5780 1/min. Jänniteviestin ollessa  $\pm 10V$ , tulee tällöin kokonaisalueeksi 20 V. Jakamalla pyörimisnopeuden kokonaisalue jänniteviestin kokonaisalueella saadaan tuloksi luku joka vastaa 1 kierroksen jännitearvoa. Tätä arvoa kertomalla halutulla pyörimisnopeudella saadaan tuloksi haluttua pyörimisnopeutta vastaava jännitteen arvo. Esim. halutaan kirjoittaa pyörimisnopeudeksi 1570 1/min. Tällöin aliohjelmassa suoritettavien laskutoimitusten jälkeen AOO kanavaan kirjoitetaan  $\approx 5,433 V$  jännite ( $20 / 5780 \times 1570 \approx 5,433$ ), joka vastaa 1570 1/min.



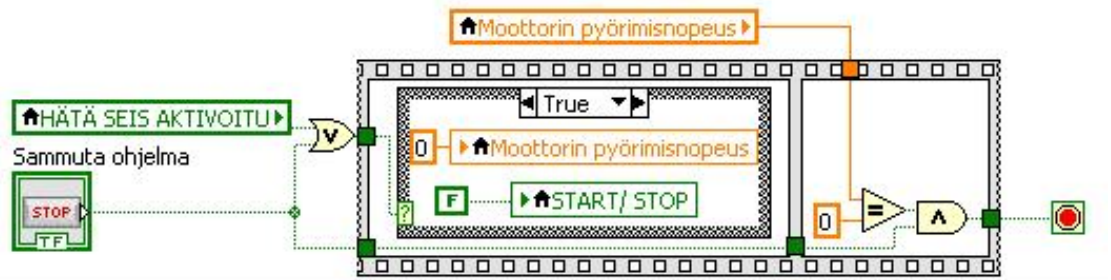
KUVIO 33 Ohjelmaosa 1

Toisessa ohjelmaosassa (kuvio 34) käydään lukemassa ACSM1\_04 kirjastotiedostosta taajuusmuuttajan mittaustiedot taulukkomuodossa ja vastaavasti ACSM1\_204 kirjastotiedostosta vaihto/tasasuuntaajan mittaustiedot. Nämä taulukkomuodossa olevat tiedot puretaan yksittäisiin näyttökenttiin (Array to Index), jotka esitetään ohjausohjelmassa.



KUVIO 34 Ohjelmaosa 2

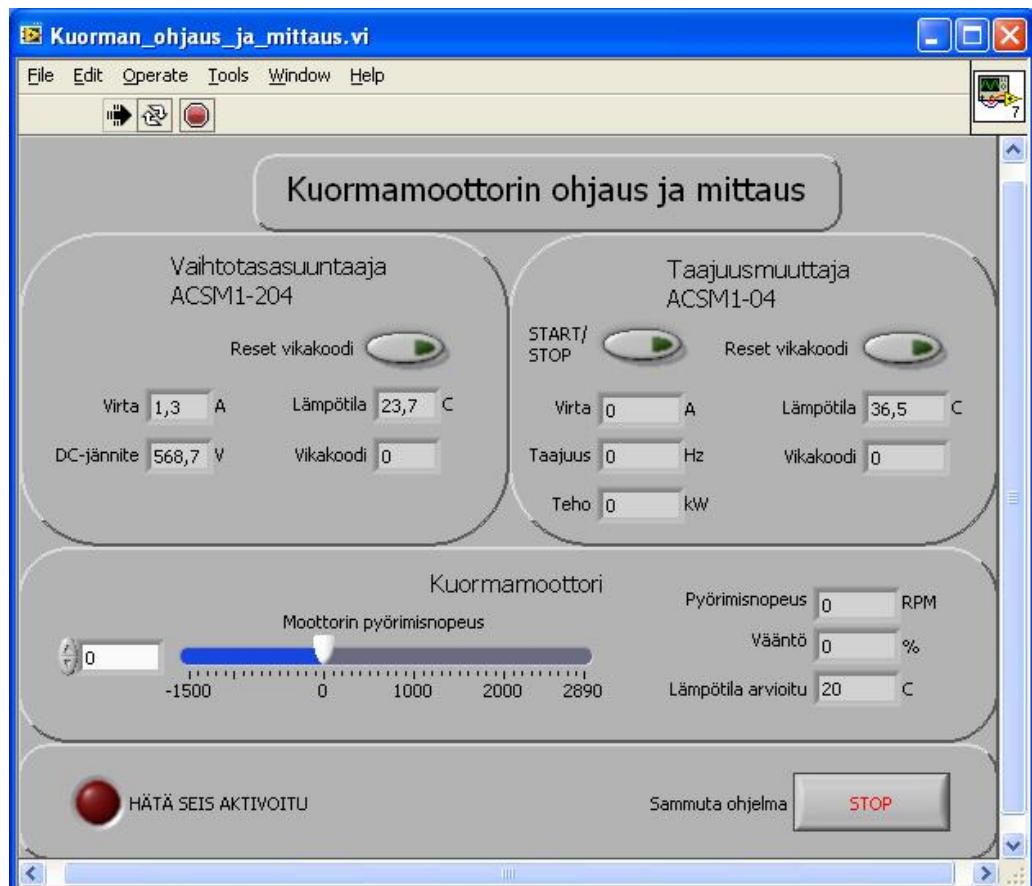
Kolmannessa ohjelmaosiossa (kuvio 35) tarkastellaan ajastetun rakenteen pyörimisehtoa, eli onko STOP-nappia painettu. Tämän toteuttamiseksi on käytetty sekvenssirakennetta ja sen ensimmäisen ruudun sisällä tapausrakennetta (Case Structure). Tapausrakenne sisältää kaksi eri ehtoa TRUE eli tosi ja FALSE eli epätosi. Tässä ohjelmassa on käytetty vain tosi ehtoa. Tämä tosi ehdon sisällä oleva koodi suoritetaan jos käyttäjä on painanut STOP-nappia tai HÄTÄ SEIS AKTIVOITU paikallinen muuttuja saa TRUE arvon. Tämän tai ehto on toteutettu OR-lohkolla. Tällöin moottorin pyörimisnopeudeksi kirjoitetaan ohjelmallisesti 0 1/min ja taajuusmuuttajan START/STOP-napin tilaan kirjoitetaan FALSE. Tällä tavoin painettaessa hätäseis-painiketta ohjausohjelma ei sammuu, mutta taajuusmuuttajan ohjaus katkaistaan ja moottorin pyörimisnopeudeksi asetetaan 0 1/min. Painettaessa STOP-nappia suoritetaan edellä mainitun ohjelman lisäksi vielä sekvenssirakenteen viimeinen ruutu. Tässä ruudussa tarkastetaan, että moottorin pyörimisnopeus on yhtä suuri kuin 0 ja, että STOP-nappia on painettu ennen kuin ohjelmassa siirrytään ajastetun rakenteen ulkopuolelle ja koko ohjelma sammuu. On yhtä suuri vertailu on toteutettu Equals-lohkolla ja molempien ehtojen toteutuminen AND-lohkolla.



KUVIO 35 Ohjelmaosa 3

#### 11.5.4 Ohjausohjelman käyttäminen

Ohjausohjelman käyttäminen aloitetaan kytkemällä virrat kuormalaitteistolle ja I/O-moduulille. Tämä tapahtuu kääntämällä sähkökeskuksesta kuormalaitteiston ja ohjauksen sulakkeet päälle. Kun I/O-moduuli käynnistyy, käynnistyy samalla myös sen sisäinen mittausohjelma. Seuraavaksi käännetään turvakytkin ON-asentoon ja kytetään PC päälle. PC:n työpöydältä käynnistetään ”Kuorman ohjaus ja mittaus” nimisestä pikakuvakkeesta kuviossa 36 näkyvä ohjausohjelma.



KUVIO 36 Ohjausohjelman Front-panel

Ohjausohjelma käynnistetään painamalla vasemmassa yläkulmassa olevaa nuolen muotoista RUN-nappia. Tällöin kuormalaitteiston ohjaus siirtyy ohjausohjelmalle ja ohjelma aloittaa mittaustietojen lukemisen I/O-moduulissa olevista kirjastotiedostoista. Mittaustiedot näkyvät kyseisen laitteen näyttökentissä. Jos jostain syystä vaihto/tasasuuntaajaan tai taajuusmuuttajaan on jäänyt vikakoodi, voidaan nämä nollata Reset vikakoodi napeilla. Taajuusmuuttajan START/STOP-napilla kytketään taajuusmuuttajan ohjaus päälle. Tällöin taajuusmuuttaja alkaa moduloimaan halutun taajuista vaihtosähköä kuormamoottorille. Kuormamoottorin pyörimisnopeutta voidaan säätää liukukytkimellä tai syöttämällä haluttu pyörimisnopeus liukukytkimen vieressä olevaan numerokenttään. HÄTÄ SEIS AKTIVOITU led-merkkivalo syttyy kun hätäseis-painiketta on painettu. Ohjelman käyttö lopetetaan painamalla Sammuta ohjelma tekstin vieressä olevaa STOP-nappia.

## 12 YHTEENVETO

Tälle opinnäytetyölle oli varattu yhteensä 4 kuukautta aikaa (1.2.2012 – 31.5.2012). Ohjaavan opettajan kanssa sovittiin, että työtä tehtäisiin niin pitkälle kuin mahdollista. Aloittaessa opinnäytetyötä työntekijällä oli hieman optimistinen mielikuva työn etenemisestä ja aikataulusta. Mielikuvana oli, että 4 kuukautta on riittävä aika tällaisen työn tekemiseen. Loppujen lopuksi kuitenkin opinnäytetyöntekijä huomasi aiheen laajuuden ja kuinka nopeasti aika suhteessa tehtyyn työhön kulki. Työtä hidastavana tekijänä oli myös laitteiden hankintapäätösten tekeminen Savonia-amk:n hallinnossa. Näiden hankintapäätösten tekemiseen kului n. 2 – 3 viikkoa ja laitteiden toimitusaikoihin 2 viikkoa, jotka veivät tärkeää aikaa opinnäytetyön toteutuksesta.

Lopputuloksena tämän opinnäytetyön aikana saatiin toteutettu tarvittavien laitteiden hankinta kokonaisuudessaan ja testauslaitteiston kuormana toimivan laitteiston asentaminen ja toimintaan saattaminen. Tälle kuormalaitteistolle tehtiin myös CANopen-väylän kautta mittaukset suorittava ja I/O:n kautta ohjattava ohjausohjelmisto. Tätä ohjausohjelmistoa voidaan käyttää hyvänä pohjana testauslaitteiston loppuunsaattamiseksi. Liitteessä 12 esitetty tämän opinnäytetyön aikaansaannos kokonaisuudessaan.

Opinnäytetyöntekijän kannalta tämä opinnäytetyö oli todella hyvä. Työn aikana päästiin soveltamaan ja käytännössä tekemään koko opiskelujen aikana hankittuja ohjelmoinnin, konesuunnittelun, väylä- ja I/O-tekniikoiden, sähkömoottoreiden yms. teoriaa ja osaamista.

Suurimmiksi haasteiksi osoittautuivat sähkösuunnittelu, CANopen-väylän toiminnan toteuttaminen, I/O-moduulin ja LabVIEW:n asetusten oikeaksi saaminen ja ohjelmointiperiaatteen ja ohjelmarakenteen ymmärtäminen.

Sähkösuunnittelusta ei opinnäytetyön tekijällä ollut alussa minkäänlaista kokemusta. Tästä kuitenkin selvittiin konsultoimalla Kuopion sähkövoimatekniikan osastoa ja asennukset tehnyttä sähköasentajaa. Vaikka teoriaa opiskeltiinkin työn aikana CANopen-väylästä ja sen ominaisuuksista, niin kuitenkin sillä saatiin toteutettua vain kuormalaitteiston mittaukset käyttämällä SDO-palvelua. Mahdollisuutena väylän kautta voitaisiin myös toteuttaa koko laitteiston toiminta, niin ohjaukset kuin mittauksetkin PDO-palvelun kautta.

LabVIEW:n ja I/O-moduulin kanssa tulleet ongelmat ratkesivat yrityksen ja erehdyksen kautta. Lisäksi LabVIEW:n vaadittujen lisäosien asentamisen onnistui vasta tekniseen tukeen yhteydenoton jälkeen. Edes koulumme IT-tuki ei tiennyt, että koululla oli vaadittuihin lisäosiin lisenssit ja, että ne täytyivät asentaa erikseen.

Testauslaitteiston saattaminen valmiiksi vaatisi karkean arvion perusteella n. 2-3 kuukauden lisätyön. Lisäksi laitteistoa voisi kehittää lisäämällä kuormalaitteiston syöttoa ohjaavan kontaktorin, jolloin laitteistolle voitaisiin kytkeä virrat päälle ohjausohjelmasta, sähkökeskuksesta sulakkeiden päällä kytkemisen sijaan. Lisäksi kehitystä voisi tehdä akkupaketin osalta, esim. hyödyntämällä koululla olevaa viallista litiumioni-akkujen testausjärjestelmää. Tästä järjestelmästä voisi ottaa hyötykäyttöön latauslaitteen, sekä akut, joille voisi tehdä oman tai valmiina rakennussarjana saatavan akunhallintajärjestelmän.

## LÄHTEET

Alanen, J. Schollier, J. 2004. *EN 13149 –standardin sovellusohje. Ohjeita liikennöijälaitteiden väliseen väyläpohjaiseen tiedonsiirtoon joukkoliikennevälineissä.* [verkkojulkaisu] Tampere: Liikenne- ja viestintäministeriö. [viitattu 14.6.2012]. Saatavissa: [http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/fits/julkaisut/hanke1/fits33\\_2004.pdf](http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/fits/julkaisut/hanke1/fits33_2004.pdf)

Andrea, D. 2010. *Battery Management System for Large Lithium-Ion Battery Packs.* Norwood, MA. ARTECH HOUSE.

AXCO-Motors Oy. Aksiaalivuotekniikka. [viitattu 30.4.2012]. Saatavissa: <http://www.axcomotors.com/aksiaalivuomoottori/aksiaalivuotekniikka.html>

Battery University. Comparison Table of Secondary Batteries. [viitattu 12.5.2012]. Saatavissa: [http://batteryuniversity.com/learn/article/secondary\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/secondary_batteries)

CiA. System design. Technology. CANopen. [viitattu 14.6.2012]. Saatavissa: <http://www.can-cia.org/index.php?id=systemdesign-canopen>

Electricmotorsport. [viitattu 11.5.2012]. Saatavissa: [http://www.electricmotorsport.com/store/images/pmac\\_gen4\\_kit.jpg](http://www.electricmotorsport.com/store/images/pmac_gen4_kit.jpg)

EVELINA.-hankkeen www-sivu [viitattu 17.6.2012]. Saatavissa: <http://www.hermia.fi/evelina/>

Halme, J. Parikka, R. 2005. *AC-servomoottori – rakenne, vikaantuminen ja havainnointimenetelmät.* [verkkojulkaisu]. Espoo: VTT. [viitattu 20.4.2012]. Saatavissa: [http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori\\_rakenne\\_vikaantum\\_inen&havainnointi.pdf](http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori_rakenne_vikaantum_inen&havainnointi.pdf)

Hentunen, M. 2012. *Akkukemia, osa 2.* Litium-ioniakkuteknologian opetuksen ja tutkimuksen kehittäminen Varkaudessa –hanke. Savonia-ammattikorkeakoulu. Koulutusmateriaali.

Hietalahti, L. 2011a. *Sähkökäyttö- ja hybriditekniikka ajoneuvo- ja työkonenäyttöön.* Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Hietalahti, L. 2011b. *Muuntajat ja sähkökoneet.* Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Husain, I. 2010. *Electric and Hybrid Vehicles Design Fundamentals*. Second Edition. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group.

Ilmasto.org. Ilmastonmuutos. Torjuminen. Päästöjen vähentäminen Suomessa. Liikenne. [viitattu 17.6.2012]. Saatavissa: <http://www.ilmasto.org/>

Intelligent Motion System. *Quick Reference*. [verkkojulkaisu]. [viitattu 14.6.2012]. Saatavissa: [http://www.imshome.com/downloads/quickreference/QR\\_CANopen.pdf](http://www.imshome.com/downloads/quickreference/QR_CANopen.pdf)

Kortelainen, A. 2009. Sähkömoottorin hyötysuhteella on väliä. [verkkojulkaisu]. ABB. [viitattu 23.4.2012]. Saatavissa: <http://www02.abb.com>

Lappeenranta University of Technology. Etusivu. Teknillinen tiedekunta. LUT Energia. Sähkötekniikka. Sähkötekniikka nyt. [viitattu 26.3.2012]. Saatavissa: <http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/Sivut/Default.aspx>

Linden, D. Reddy, T. 2010. *Linden's Handbook of Batteries*. Fourth edition. United States of America: McGraw-Hill Prof Med/Tech

Mäkinen, M. J.J. Kallio, R. 2004. *Teollisuuden sähköasennukset*. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

Nam, K. H. 2010. *AC Motor Control and Electric Vehicle Applications*. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group.

Powerfinn. *PAC 3200 Asennus- ja käyttöohje*. [verkkojulkaisu]. [viitattu 14.6.2012]. Saatavissa: [http://www.powerfinn.fi/file/44646/PAP3200\\_FI.pdf](http://www.powerfinn.fi/file/44646/PAP3200_FI.pdf)

Saha, H. 2006. *CANopen perusteet*. [verkkojulkaisu]. FLUID Finland. [viitattu 14.6.2012]. Saatavissa: <http://www.canopen.fi/artikkelit/CANopen.pdf>

Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry. 1997. Taajuusmuuttajat Käyttö • Asennus • Häiriöt. Espoo: Sähköinfo Oy.

Wikipedia a. LabVIEW. [viitattu 13.5.2012]. Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>

Wikipedia b. Autodesk Inventor. [viitattu 13.5.2012]. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk\\_Inventor](http://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor)



wiseGEEK. What Is AutoCAD. [viitattu 12.6.2012]. Saatavissa: <http://www.wisegeek.com/what-is-autocad.htm>

Zeltwanger, H. 2011. *CANopen – the standardized embedded control network*. [verkkojulkaisu]. Engineering review. [viitattu 14.6.2012]. Saatavissa: [http://www.can-cia.org/uploads/media/engrreview\\_1-2011\\_01.pdf](http://www.can-cia.org/uploads/media/engrreview_1-2011_01.pdf)

**AC-Induktiomoottori, 4-napainen, M0-AC04-/4-AS**

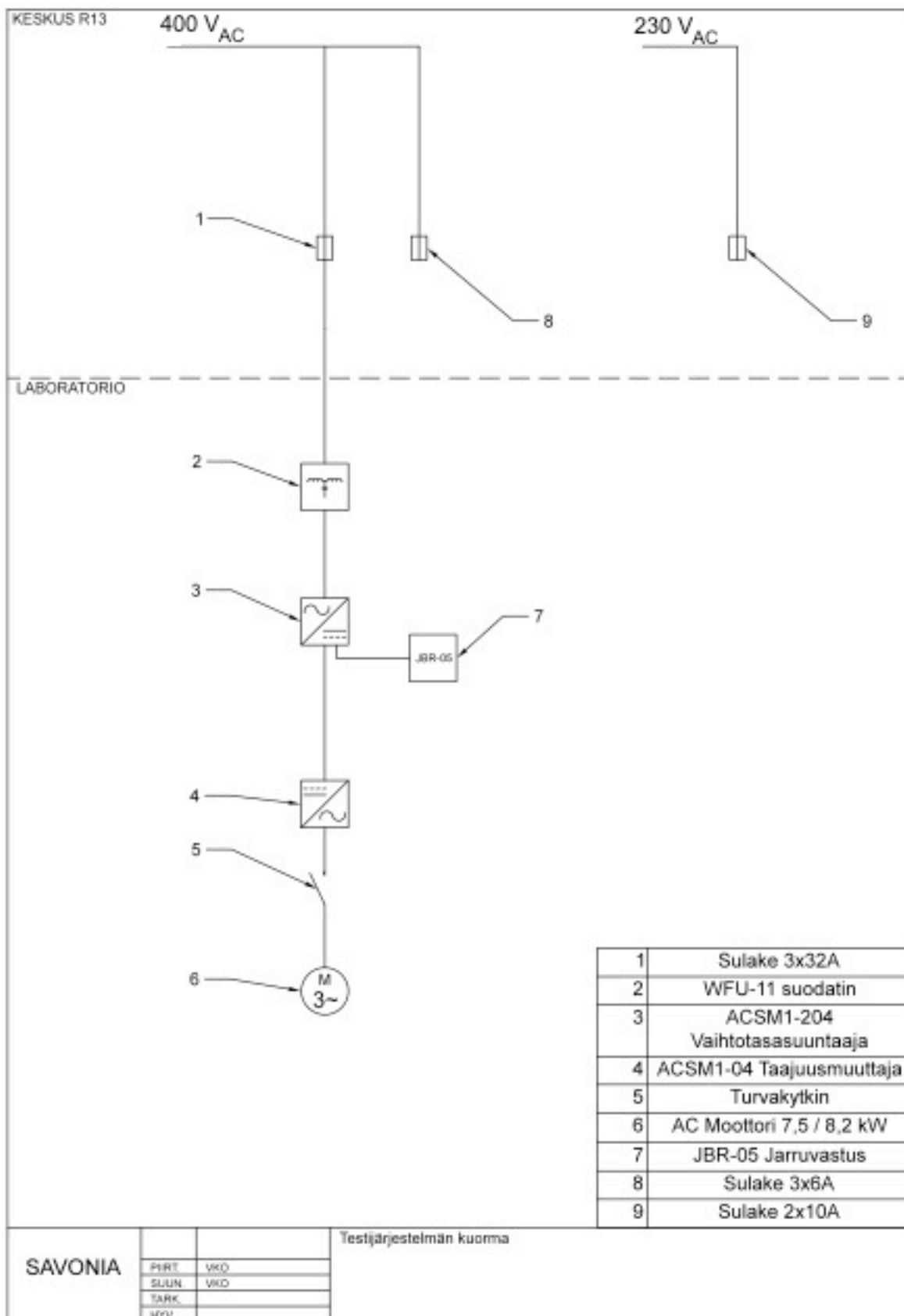
Jännite:	48 V <sub>DC</sub>
Nimellisteho (1h):	4 kW
Teho (piikki 60s):	6 kW
Vääntö (piikki 60s):	30 Nm
Nimellisvirta (1h):	120 A
Maksimivirta (60s):	200 A
Nimellistaajuus:	100 Hz
Nimellis kierrosnopeus:	2900 1/min
Maksimi kierrosnopeus:	9000 1/min
Paino:	21 kg
IP-luokka:	IP66

**AC-Induktiomoottori, 4-napainen, M0-AC04-/4-AH**

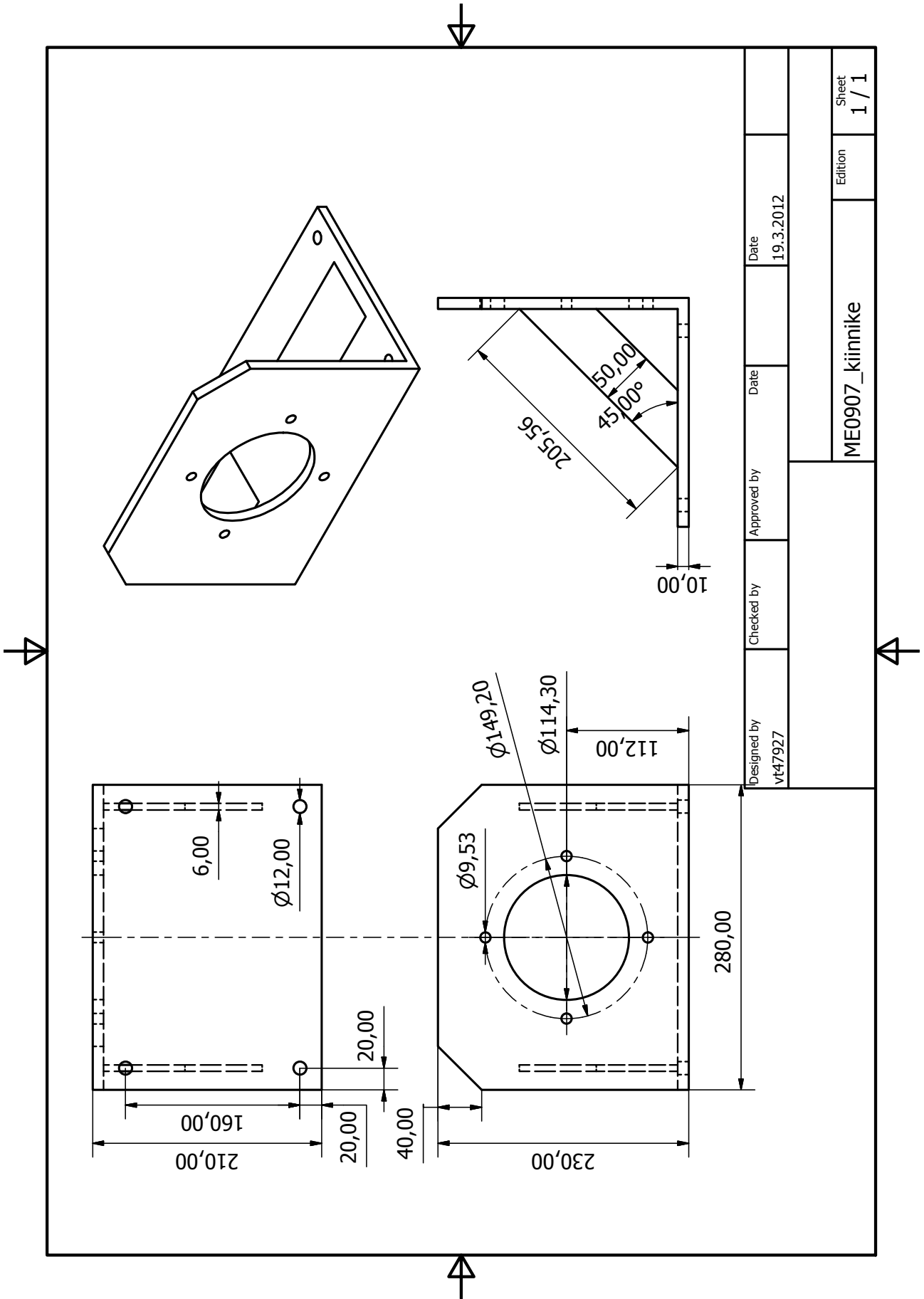
Jännite:	48 V <sub>DC</sub>
Nimellisteho (1h):	4 kW
Teho (piikki 60s):	4,5 kW
Vääntö (piikki 60s):	45 Nm
Nimellis kierrosnopeus:	1500 1/min
Maksimi kierrosnopeus:	3000 1/min
Paino:	20 kg
IP-luokka:	IP55

**AC-Kestomagneettimoottori, 4-napainen, Motenergy ME0907**

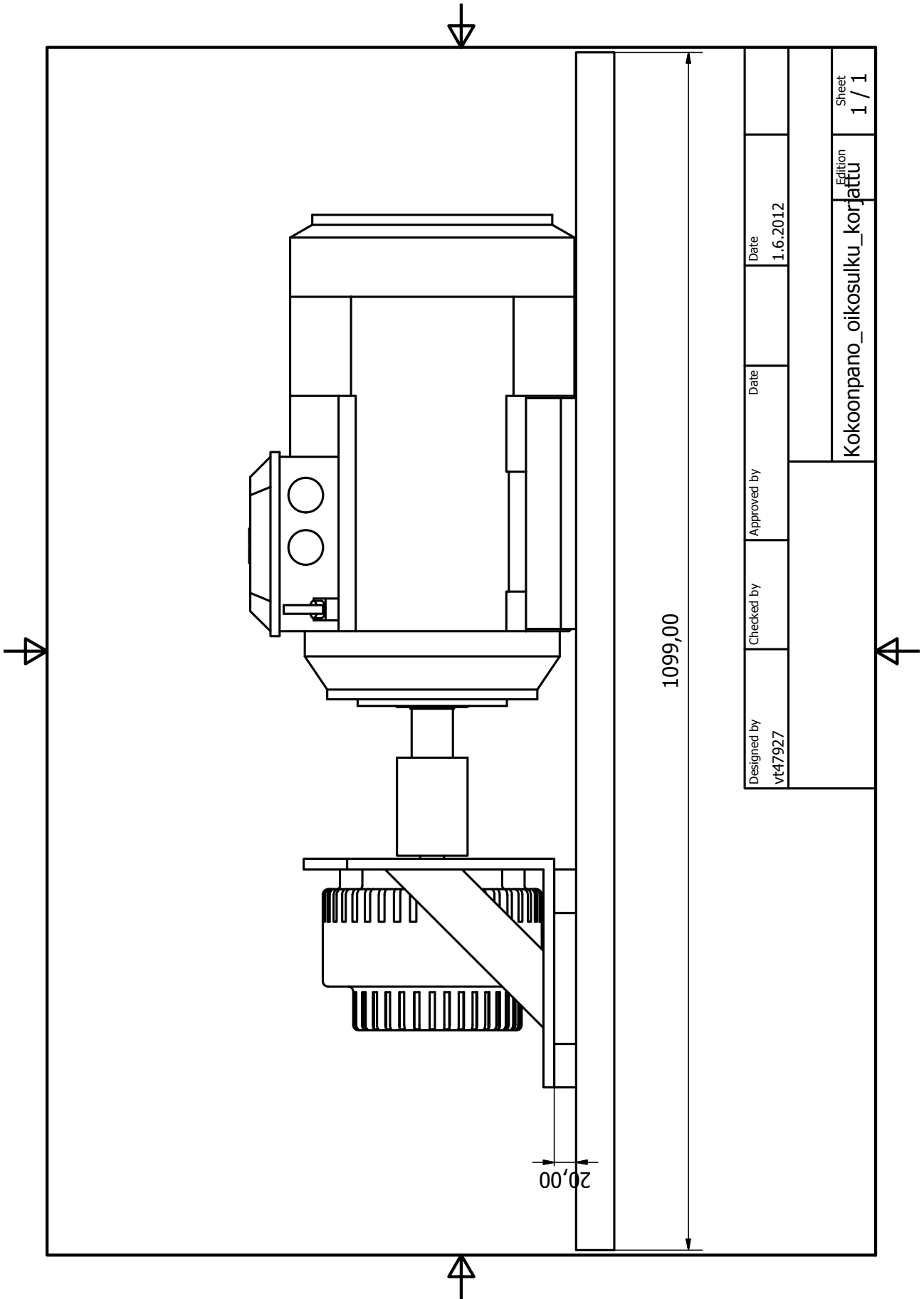
Jännite:	0-48 V <sub>DC</sub>
Nimellisteho (1h):	4 kW
Teho (piikki 60s):	11 kW
Vääntö (piikki):	45 Nm
Nimellisvirta (jatkuva):	100 A
Maksimivirta (piikki):	300 A
Nimellis kierrosnopeus (48v):	3360 1/min
Maksimi kierrosnopeus:	5000 1/min
Paino:	9,98 kg
Sisäiset lämpötila anturit	



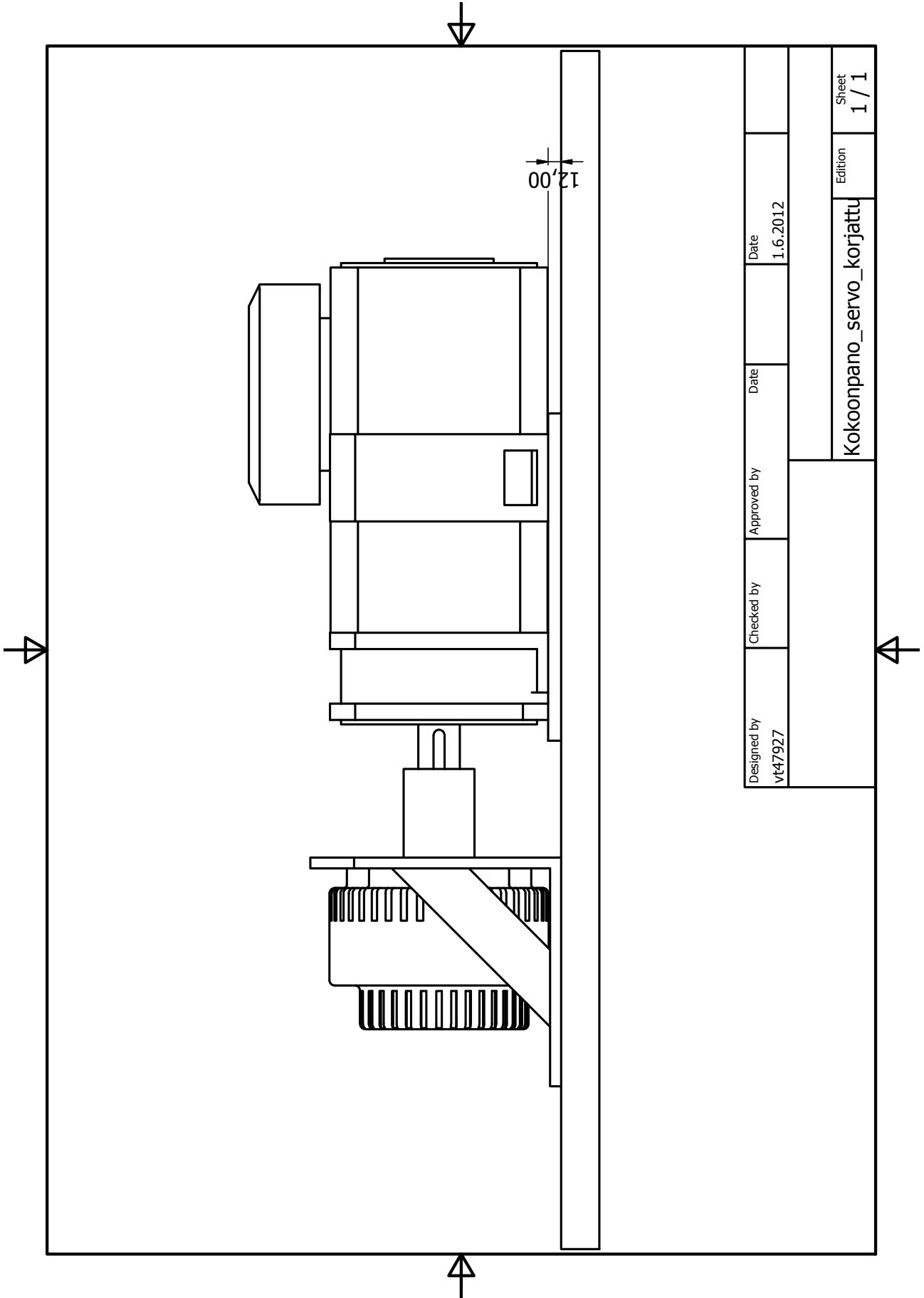




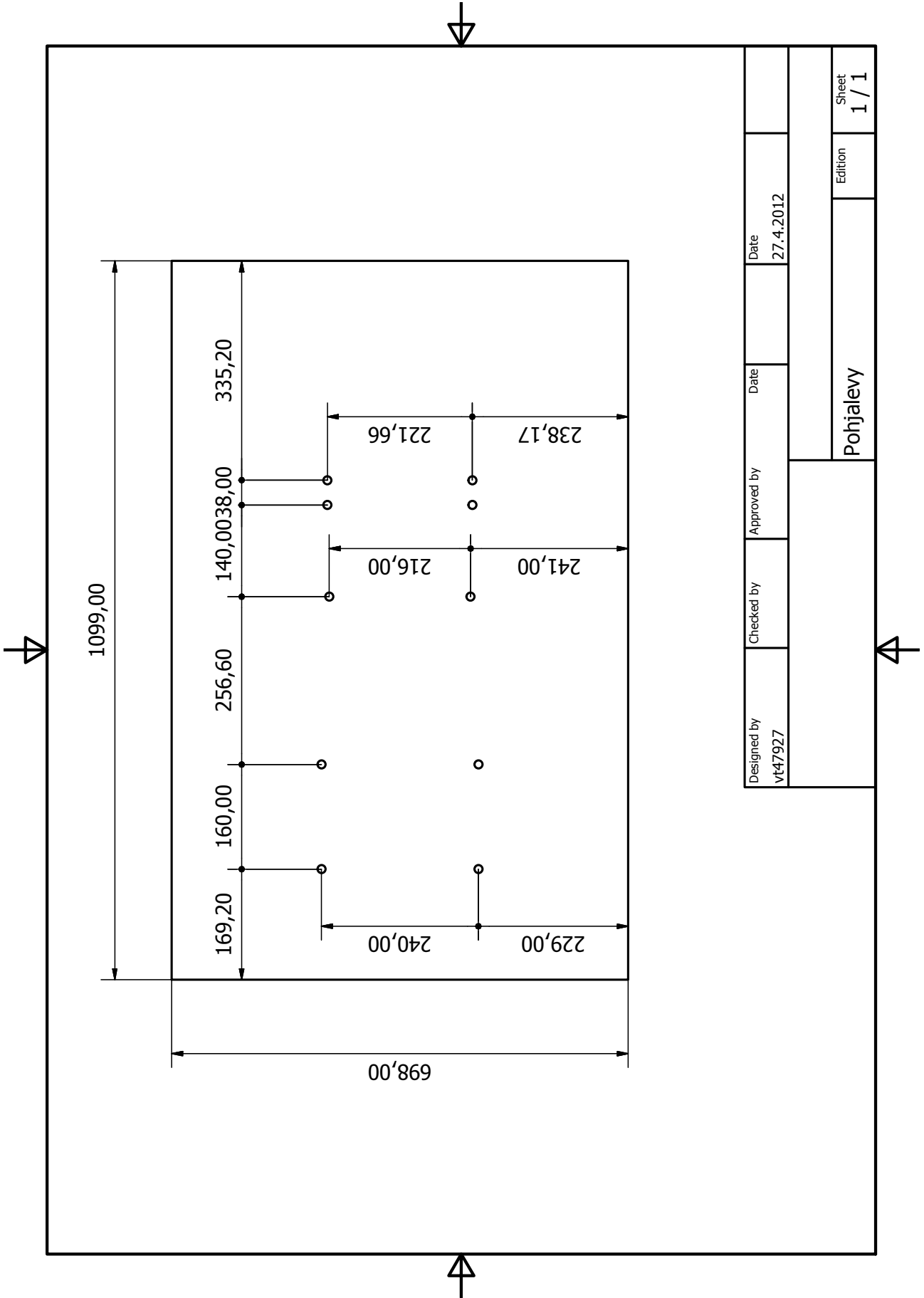
Designed by vt47927	Checked by	Approved by	Date 19.3.2012	Sheet 1 / 1
ME0907_kiinnike			Edition	



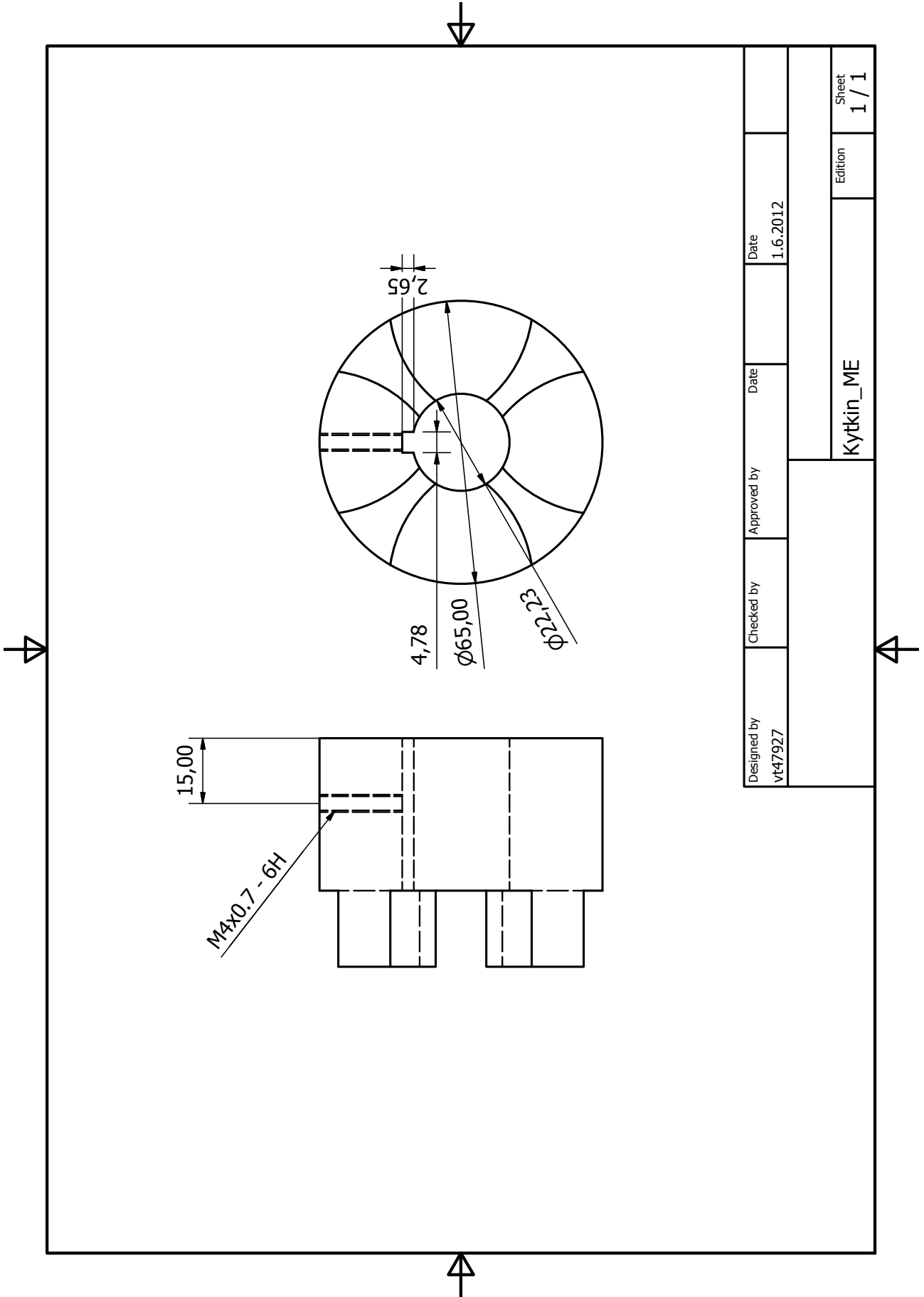
Designed by vt47927	Checked by	Approved by	Date 1.6.2012	Date 1.6.2012
Kokoonpano_oikosulku_korjattu				Edition 1 / 1



Designed by vt47927	Checked by	Approved by	Date 1.6.2012	Date 1.6.2012	Sheet 1 / 1
Kokoonpano_servo_korjattu				Edition	1 / 1



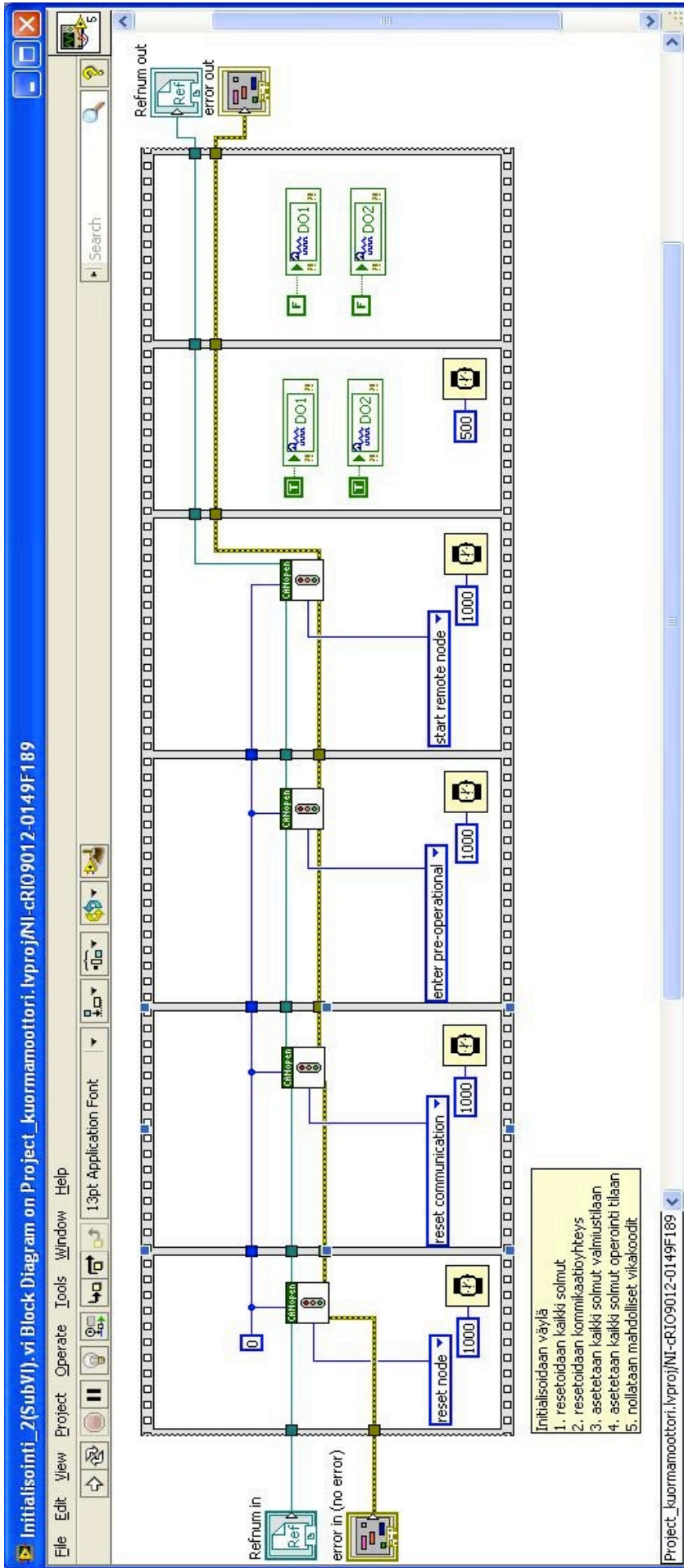


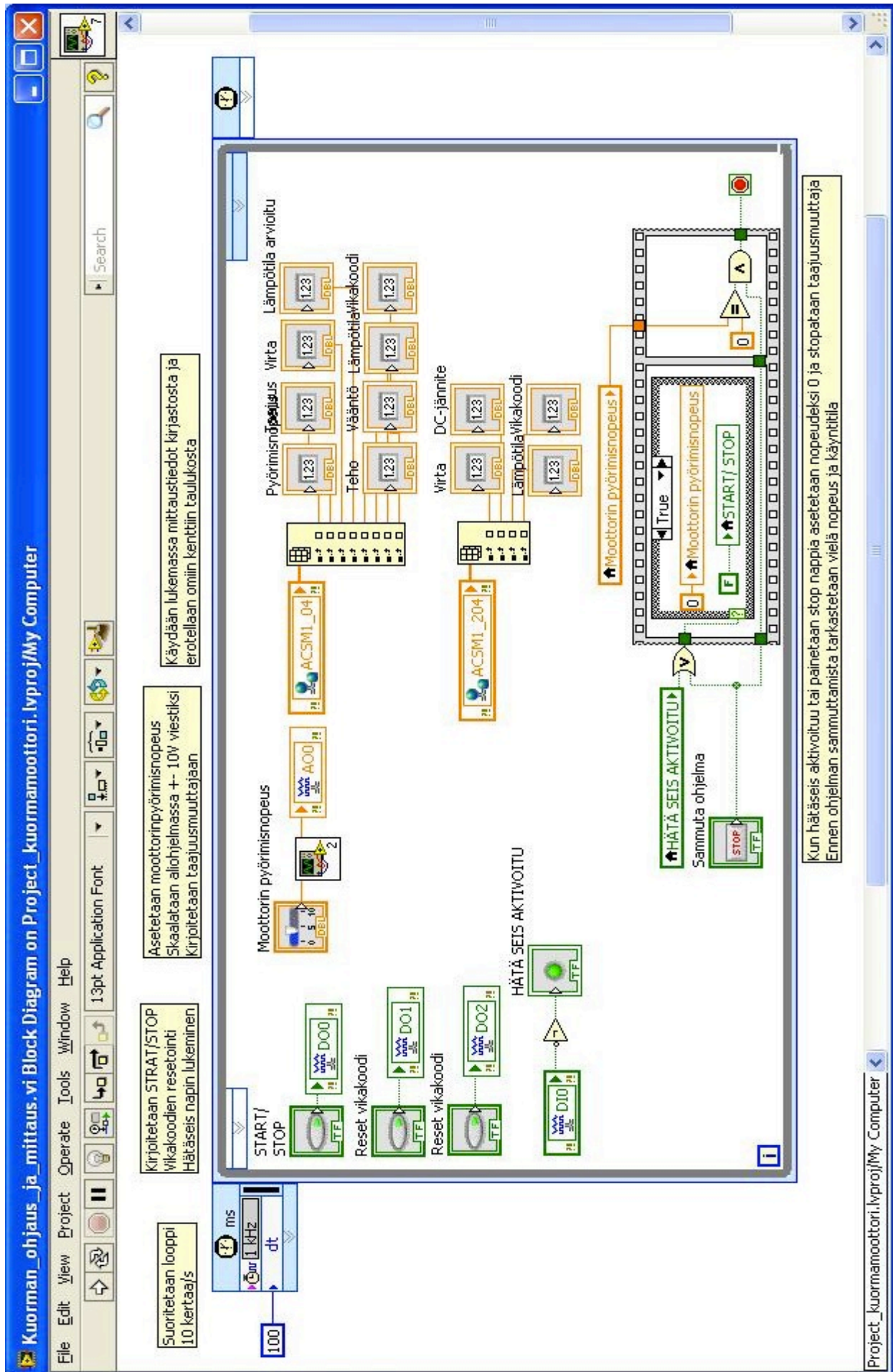


Designed by vt47927	Checked by	Approved by	Date 1.6.2012	Date 1.6.2012	Sheet 1 / 1
Kytkin_ME				Edition	









Käydään lukemassa mittaustiedot kirjastosta ja erotellaan omiin kenttiin taulukosta

Asetetaan moottoripyörimisnopeus skaalataan alohjelmasa +- 10V viestiksi Kirjoitetaan taajuusmuuttajaan

Kirjoitetaan START/STOP vikakoodien resetointi Häätäseis napin lukeminen

Suoritetaan looppi 10 kertaa/s

Kun häätäseis aktivoituu tai painetaan stop nappia asetetaan nopeudeksi 0 ja stopataan taajuusmuuttaja Ennen ohjelman sammuttamista tarkastetaan vielä nopeus ja käyntitila



