

Jon Köhler

Askelmoottoritoteutus hiukkaskiihdyttimen suihkukollimaattoreihin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

28.4.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jon Köhler Askelmoottoritoteutus hiukkaskiihdyttimen suihkukollimaatto-reihin 32 sivua + 8 liitettä 28.huhtikuu.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Kappaletavara-automaatio
Ohjaajat	Lehtori Jussi Pakarinen Laboratorioinsinööri Harri Tyrväinen
<p>Tämän insinööriyön tarkoitus oli automatisoida Helsingin yliopiston 5MV:n hiukkaskiihdyttimen suihkukollimaattorien toiminta. Kollimaattorien toiminta muutettiin käsitoimisesta automaattiseksi askelmoottoritoteutuksen avulla. Työ suoritettiin useassa eri jaksossa Helsingin yliopiston Kumpulan kampuksella sijaitsevassa hiukkaskiihdytinlaboratoriossa vuosina 2013 ja 2014.</p> <p>Insinööriyössä rakennettiin prototyyppi nykyisen kollimaattoriratkaisun korvaavasta laitteesta. Sille tehtiin PLC-sovellusohjelma RSLogix5000:lla ja suunniteltiin käyttöliittymä Labviewilla. Uutta kollimaattoriratkaisua testattiin ensin useaan kertaan testiympäristössä, jonka jälkeen siitä tehtiin kaksi kopiota. Kaikki kolme rakennettua laitetta liitettiin lopulta hiukkaskiihdyttimeen.</p> <p>Opinnäytetyössä käydään läpi askelmoottorien toimintaperiaatetta, minkälainen laitteisto lopulta rakennettiin, kuinka laitteet on kytketty ohjelmoitavalle logiikalle, jolla ohjaus on toteutettu. Kuinka ohjelmoitava logiikka kommunikoi OPC-rajapinnan kautta SCADA:an ja kuinka SCADAssa on tehty valvomonäytöt.</p> <p>Tämän työn tuloksena saatiin toimiva automatisoitu suihkukollimaattoriohjaus kolmelle hiukkaskiihdyttimen suihkukollimaattorille. Laitteitteen tarkkuus (+/-0,02mm per askel) ja vääntökyky riittävät kiihdyttimen tyhjiössä liikkuvien metallilevyjen ohjaukseen.</p>	
Avainsanat	Askelmoottori, hiukkaskiihdytin, Labview, Rockwell

Author Title	Jon Köhler A stepper motor implementation to the beam collimators of the particle accelerator
Number of Pages Date	32 pages + 8 appendices 28 April 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Engineering
Specialisation option	Manufacturing automation
Instructors	Jussi Pakarinen, Senior Lecturer Harri Tyrväinen, Laboratory Engineer
<p>The purpose of this thesis was to automatize the beam collimators of the 5MV particle accelerator in the University of Helsinki. The functionality of the collimators was changed from manual to automatic by using a stepper motor device. The project was carried out in several periods during the years 2013 and 2014 in the Particle Accelerator Laboratory of the University of Helsinki in the campus of Kumpula.</p> <p>In this Bachelor's thesis a prototype of the new replacing collimator device was built. The PLC code was written using RSLogix5000 and the user interface was made with Labview. The new collimator device was tested several times in a test environment before making two copies of it. After that they were all assembled to the particle accelerator.</p> <p>In this Bachelor's thesis the following sections are covered. The function principles of the stepper motor are explained as well as what kind of a machine was finally built. How the device is connected to the programmable logic controller and how the control was accomplished. How the programmable logic controller communicates to the SCADA through the OPC and how the HMI is made in the SCADA.</p> <p>The result of this project was a fully functional automatized beam collimator control for the particle accelerator. The precision of the device is +/- 0.02 mm per step. The torque of the device is strong enough to move the metal plates in the vacuum of the particle accelerator.</p>	
Keywords	Stepper motor, particle accelerator, Labview, Rockwell

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Hiukkaskiihdytin	1
2.1	Yleiskuvaus ja historia	1
2.2	Tandem-kiihdytin	2
2.3	Toiminta slittien osalta	2
3	Askelmoottorit	4
3.1	Askelmoottorin kolme perustyyppiä	4
3.2	Lineaariliikkeinen askelmoottori	8
3.3	Askelmoottorihjain	10
3.4	Ohjainmoduuli	11
3.5	Moottorin ja ohjaimen valinta	11
3.6	Insinööriyössä käytetyt laitteet	13
4	Kollimaattori (Slit)	16
5	Ohjauksen toteutus	18
5.1	Ohjelmistolohkojen sijoittelu järjestelmässä yleisesti	18
5.1.1	Laitehallinta	21
5.1.2	Laitteistopaneeli	22
5.1.3	HMI	22
5.2	Rslogix-SCADA OPC -rajapinta	23
5.3	Slit SCADAssa ja käyttöliittymässä	24
5.4	Slit RSLogix-PLC -ohjelma	26
5.5	Ohjelman testaus ja ongelmat	29
6	Yhteenveto	30
	Lähteet	31

Liitteet

Liite 1. Slit sivukuva

Liite 2. Slit yläkuva

Liite 3. Liittimet ja päätyliitännät

Liite 4. Laikkojen kuvat

Liite 5. Sähkökuvat

Liite 6. Add-on slit ohjelma

Liite 7. Add-on MotorContDrive ohjelmat molemmille moottoreille

Liite 8. XControllin taustapaneeli

Lyhenteet

AMS	<i>Atomic Mass Spectrometer.</i> Atomin massaspektrometri.
BPM	<i>Beam Profile Monitor.</i> Hiukkassuihkun profiilin monitorointi.
cRIO	<i>Real-time embedded industrial controller.</i> Reaaliaikainen sulautettu teollisuusohjain.
DSC	<i>National Instruments datalogging and supervisory control.</i> Datat keruu- ja valvontaohjain.
FBD	<i>Function block diagram.</i> Ohjelmoitavan logiikan ohjelmointikieli.
HMI	<i>Human Machine Interface.</i> Ihmisen ja koneen välinen raja, jolla voidaan ohjata laitteistoa esimerkiksi nappulat, kytkimet tai kosketusnäyttö.
NMR	<i>Nuclear Magnetic Resonance.</i> Ydinmagneettinen resonanssi on ilmiö, jossa voimakkaassa magneettikentässä oleva atomiydin absorboi energiaa radiotaajuisesta sähkömagneettisesta kentästä.
OLE	<i>Object Linking and Embedding.</i> Microsoftin kehittämä teknologia, joka mahdollistaa upottamisen ja linkityksen dokumentteihin ja muihin kohteisiin.
OPC	<i>OLE for Process Control.</i> OPC-liittymä on avoimen tiedonsiirron standardi, jota käytetään teollisuuden automaatiosovelluksissa.
PC	<i>Personal computer.</i> Henkilökohtainen tietokone.
PLC	<i>Programmable Logic Controller.</i> Ohjelmoitava logiikka on pieni tietokone, jota käytetään tosiaikaisten automaatioprosessien ohjauksessa.
PCI	<i>Peripheral Component Interconnect.</i> Tietokoneväylä, jonka avulla liitetään lisälaitteita tietokoneeseen.

- PXI *PCI eXtensions for Instrumentation*. PXI on avoin, PC-pohjainen alusta testaukseen, mittauksiin ja ohjaukseen.
- SCADA *Supervisory Control And Data Acquisition*. Valvomo-ohjelmisto tai PC-valvomo, jossa on toteutettu graafinen käyttöliittymä automaatiojärjestelmiin.
- ShV *Shared Variables*. Labviewissä käytetty muuttujatyyppi.
- Taskeri Taskeri on kokoelma ohjelmia, joita voidaan hallita. Taskeri mahdollistaa ajon aikana koodin muokkauksen DSC:ssä.

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena oli korvata vanha Neuvostoliiton aikainen käsikäyttöinen kollimaattorihjaus uudenaikaisella automatisoidulla askelmoottorisovelluksella. Tällä pyritään vähentämään inhimillisten virheiden ja fyysisen työn määrää sekä tehostamaan laitoksen käyttöä.

Tässä insinööriyössä käydään läpi tandem-hiukkaskiihdytintä yleisesti, askelmoottorien toimintaperiaatteita ja askelmoottorin soveltamista hiukkaskiihdyttimen kollimaattorien (eli slittien) lineaariliikkeen ohjauksessa. Lisäksi käydään läpi käytössä ollut RSlogix - SCADA yhteys OPC-rajapinnan kautta sekä yleisesti SCADA-liitynnät kyseisessä järjestelmässä. Lopuksi käsitellään ohjelman toimintaa.

Työn tavoite oli suunnitella ja valmistaa automatisoitu suihkukollimaattorikonaisuus. Tämä toteutettiin lineaariliikeaskelmoottoreilla, joita ohjataan PLC:llä, joka saa käskyjä ohjaamolta. Työ suoritettiin rakentamalla automatisoitu suihkukollimaattorin prototyyppi, jota ensin testattiin runsaasti testiolosuhteissa. Sen jälkeen laitteisto asennettiin hiukkaskiihdyttimeen, jonka oli oltava asennuksen ajan poissa käytöstä eli kiihdyttimessä ei ollut tyhjiötä. Uusi ohjaus toteutettiin käyttäen lineaariliikeaskelmoottoreita, joilla päästään hyvin suureen tarkkuuteen (0,02 mm per askel). Askelmoottorit kytkettiin Allen Bradley AENT-1734 hajautettuun I/O:hon CSD-92 askelmoottorihjauspiirillä. Moottoreille tehtiin RSLOGIX5000-ohjelmoitavan logiikan ohjelma, jolla niitä ohjataan. PLC on liitetty OPC-rajapintaa käyttäen SCADAan, jonne tehtiin käyttöliittymä. Tekstissä käytetty sana *slit* on yleisnimitys kollimaattorille.

2 Hiukkaskiihdytin

2.1 Yleiskuvaus ja historia

Helsingin yliopistolla on käytössään hiukkaskiihdytin, joka on teholtaan ja muodoltaan 5 MV:n EGP-10-II "tandem" -kiihdytin. Iso osa kiihdyttimen materiaaleista on ostettu tai saatu Neuvostoliitolta liikaa maksettujen sotakorvauksien takaisinmaksuna Suomelle. Kiihdytinlaboratorion historia alkaa vuodesta 1941, kun käynnistettiin suunnittelutyöt ionikiihdyttimen saamiseksi fyysiikan laitokselle. Ionikiihdyttimen ajateltiin tarjoavan par-

haat mahdollisuudet laaja-alaiselle kokeellisen ydinfysiikan perustutkimukselle ja koulutukselle. Hankintapäätös tehtiin vuonna 1945, mutta silloin jouduttiin toteamaan, ettei yhtään valmista kiihdytintä ollut kaupan. Tavoitteena oli itse rakentaa laite, joka käyttöominaisuuksiltaan vastaisi parhaita sen ajan sähköstaattisia kiihdyttimiä. 1970-luvun alussa laboratorion tutkimusohjelman katsottiin tarvitsevan uuden, entistä soveliaamman kiihdyttimen. Esitykset sen hankinnasta johtivat tulokseen vuonna 1975, jolloin valtioneuvosto päätti myöntää varat sähköstaattisen EGP-10-II tandem-kiihdyttimen hankintaan Neuvostoliitolta. Uudelle kiihdyttimelle ei ollut tilaa Siltavuorenpenkereellä, joten sille jouduttiin etsimään uutta sijoituspaikkaa. Sopiva alue löytyi Kumpulasta. Kiihdytinlaboratorio pääsi muuttamaan sinne ensimmäisenä nousseeseen rakennukseen helmi-maaliskuun vaihteessa 1981. Kiihdyttimen asennustyöt saatiin valmiiksi joulukuussa 1981, ja elokuussa 1982 kiihdytin luovutettiin Helsingin yliopistolle. [15, s.3].

2.2 Tandem-kiihdytin

Kiihdytintä käytetään antamaan ioneille eli varauksellisille atomeille sellainen nopeus- ja liike-energia, että ne pystyvät tunkeutumaan kohtioaineeseen tai niiden ytimet kohtioaineen atomiytimiin. Kaikilla kiihdyttimillä on ionilähde kiihdytettävien ionien valmistamiseksi, kiihdytyskammio halutun nopeuden antamiseksi ioneille sähkökenttää käyttäen sekä laitteet ionisuihkujen ohjaamiseksi sähkö- ja magneettikenttien avulla. Sähköstaattisissa kiihdyttimissä ioneille saadaan annetuksi nopeutta panemalla ne kulkemaan suurjännitteen (tasajännite) ja maan eli nollapotentiaalisen välisessä vakio potentiaalitentässä. EGP-10-II -kiihdytin on kaksiassteinen, tandem-tyyppiä. Tälle kiihdyttimelle on tunnusomaista, että ionilähde on käytännöllisesti katsoen maan potentiaalissa ja kiihdyttäminen tapahtuu kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa negatiiviset ionit kiihtyvät maan potentiaalista kohti positiivista suurjännite-elektrodia. Suurjännite-elektrodin saavuttaneiden ionien varaus muutetaan positiiviseksi, jolloin samaa suurjännitettä voidaan käyttää karkoittamaan positiiviset ionit kohti maan potentiaalia. [15, s.5].

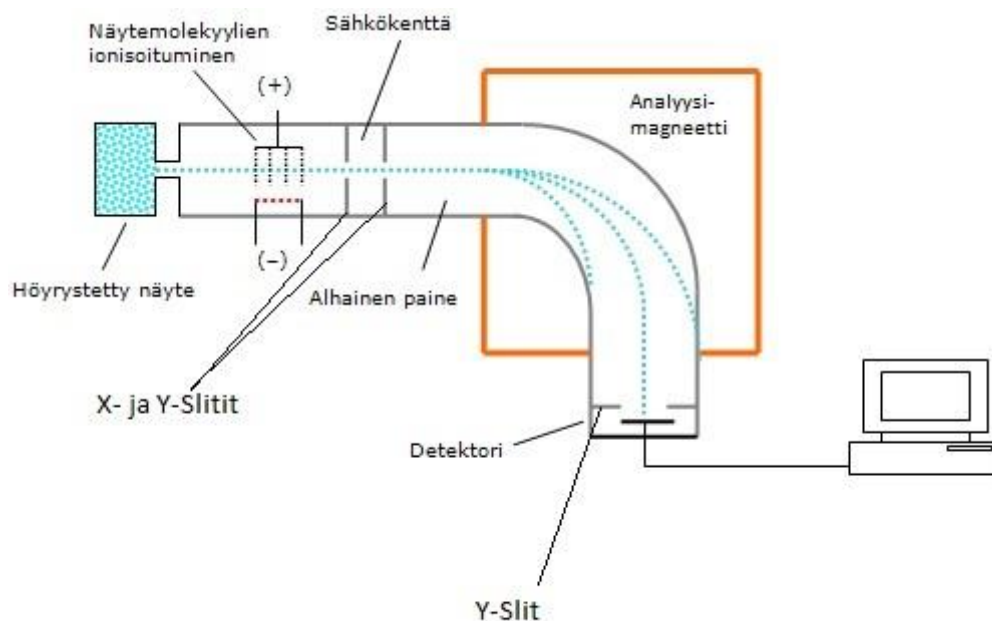
2.3 Toiminta slittien osalta

Hiukkaskiihdytin toimii slittien osalta massaspektrometrin tavoin. Massaspektrometria perustuu varattujen hiukkasten käyttäytymiseen sähkö- ja magneettikentässä. Massa-

spektrometrissa hiukkaset, joilla on sama massa ja varaus, kulkevat detektorille eli ilmaisimelle samaan pisteeseen.

Ionilähteestä tulevat hiukkaset kiihdytetään sähkökentässä ja johdetaan homogeenisen magneettikentän läpi, jolloin magneettikentän aiheuttaman voiman vaikutuksesta ionisuihku kaartuu. Massaltaan erisuuruiset hiukkaset kaartuvat eri radansäteillä, jolloin erimassaiset hiukkaset erottuvat toisistaan ja niitä voidaan tutkia.

Ennen analyysimagneettia olevat x- ja y-suuntaiset slitit suodattavat tässä vaiheessa hiukkassuihkusta kaiken muualla kuin putken keskellä liikkuvat hiukkaset. Analyysimagneetti kääntää hiukkassuihkun vertikaalisesta horisontaaliseksi erotellen samalla erimassaiset hiukkaset eri liikeradoille (kuva 1).



Kuva 1. Hiukkaskiihdytin kollimaattorien osalta [1].

Analyysimagneetin jälkeen on toinen y-slit, jolla saadaan suodatettua kaikki massaltaan väärän suuruiset, tutkittavasta aineesta erottuneet, hiukkaset pois suihkusta. Liian raskaat ytimet osuvat slitin alapuoliseen levyyn ja liian kevyet ylempään. Halutut hiukkaset jatkavat matkaansa tyhjiöputkessa ja ne saadaan analysoitaviksi. Levyihin osuneet hiukkaset aiheuttavat levyihin sähkövirtaa, joka voidaan mitata levyistä kaapelilla, joka on tuotu tyhjiön ulkopuolelle. [15, s.5].

3 Askelmoottorit

3.1 Askelmoottorin kolme perustyyppiä

Askelmoottori on harjaton, tahdistettu moottori, joka käyttää digitaalisia pulsseja muodostaakseen mekaanista pyörimisliikettä. Askelmoottori jakaa täyden 360 asteen kiertymän useisiin askeliin. Toisin kuin harjaton tasavirtamoottori, joka pyörii jatkuvasti, kun sille syötetään tasajännitettä, askelmoottori pyörii erotetuissa askelissa. Askelmoottoreita valmistetaan seuraavilla arvoilla: 12, 24, 72, 144, 170 ja 200 askelta per yksi 360 asteen kierros, eli yksi askel vastaa 30, 15, 5, 2.5, 2 tai 1.8 asteen kiertymää per askel. Näistä yleisimmin käytetty on 360 astetta per 200 askelta eli 1.8 astetta/pulssi. Koska jokainen pulssi liikuttaa moottoria tarkalleen tietyn matkan verran akselin ympäri, voidaan moottorin sijaintia ohjata tarkasti ilman takaisinkytkentää. Kun pulssien syöttötaajuus nostetaan suureksi, askelmoottorin yksittäisten askeleiden väli häviää ja liike muuttuu yhtenäiseksi liikkeeksi, jonka pyörimisnopeus on suoraan verrannollista pulssien syöttötaajuuteen. [6; 7].

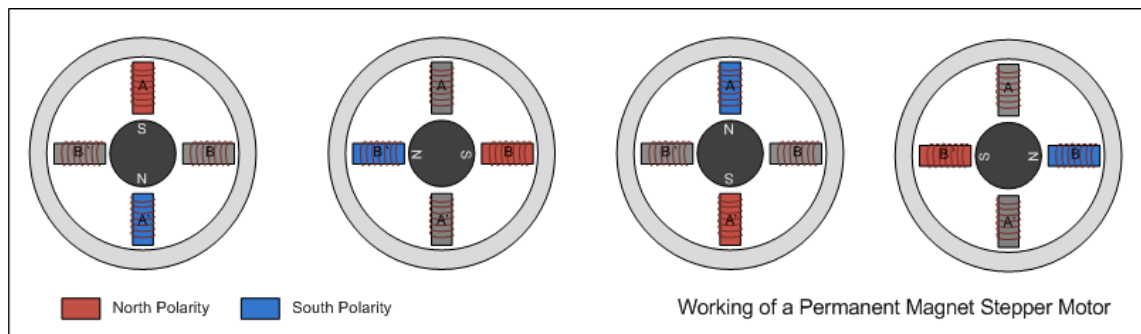
Askelmoottorilla on kolme erilaista toimintatilaa. Täysiaskel (full step), puoliaskel (half step) ja mikroaskel (micro step). Hybridiaskelmoottorissa standardina on 200 roottorihammasta eli 200 täysiaskelta per yksi kierros moottorin akselin ympäri. Näin ollen liiketarkkuudeksi saadaan $360^\circ / 200$ askelta = $1,8^\circ$ per askel. Normaalisti käytetyssä täysiaskel-tilassa, askelmoottorin molemmat käämit energisoidaan samanaikaisesti ja niissä kulkevan virran suuntaa käännetään tasaisesti. Tässä tilassa yksi moottorinohjaimelta saatu digitaalinen pulssi vastaa yhtä askelta. [6].

Puoliaskel-tila tarkoittaa yksinkertaisesti sitä, että sama standardin mukainen askelmoottori pyörii askeltaajuudella 400 (2 x 200) per yksi 360° kierros. Tässä tilassa vain toinen moottorin kahdesta käämistä energisoidaan vuorotellen, jolloin päästään puolitamaan pyörimisliike normaalista, eli standardimoottorilla tarkkuutta saadaan pudotettua $1,8^\circ$:sta per askel $0,9^\circ$:seen per askel. Tarkkuutta parantamalla menetetään kuitenkin moottorin vääntötehosta noin 30% täysiaskeltilaan verrattuna. [6].

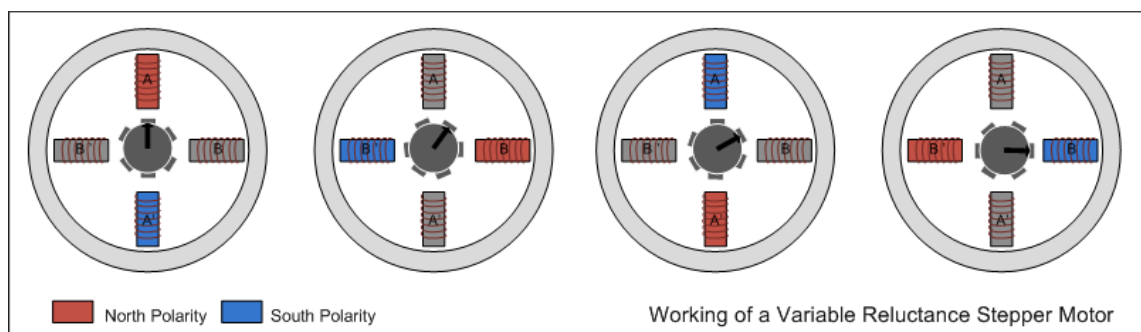
Mikroaskel-tila on verrattain uusi askelmoottoritekniikassa. Jotkin moottorinohjaimet pysyvät jakamaan $1,8^\circ$ askeleen vielä 256:een mikroaskeleeseen. Näin mikroaskelilla päästään huikkeen tarkkoihin jopa $360^\circ / 51200$ askeleen tarkkuuksiin eli $0,007^\circ$ per

askel. Tämä onnistuu säätämällä käämiin menevän virran määrää niin, että se jakaa askelten määrän napojen välissä vielä pienempiin askeliin. Kuten puoliaskel-tilassa, tässäkin vääntövoima laskee keskimäärin 30 %. [6; 7].

Askelmoottorin toiminta perustuu sähkömagnetismiin. Siinä on magneettisesti pehmeä metallinen tai magneettinen roottoriakseli, joka on ympäröity sähkömagneettisilla staattoreilla. Roottorilla ja staattorilla on omat napaisuutensa ja ne voivat olla hammastettu riippuen askelmoottorin tyypistä. Kun staattorit on energisoitu, roottori liikuttaa itsensä napaisuuksien mukaan kohtisuoraan staattorin kanssa (kuva 2 kestmagneettiaskelmoottori) tai liikkuu saadakseen pienimmän mahdollisen välin staattorin ja hammastetun roottorin kanssa (kuva 3 reluktanssiaskelmoottori). Näin ollen staattorit energisoidaan jaksoissa, joilla saadaan askelmoottori pyörimään. [6].



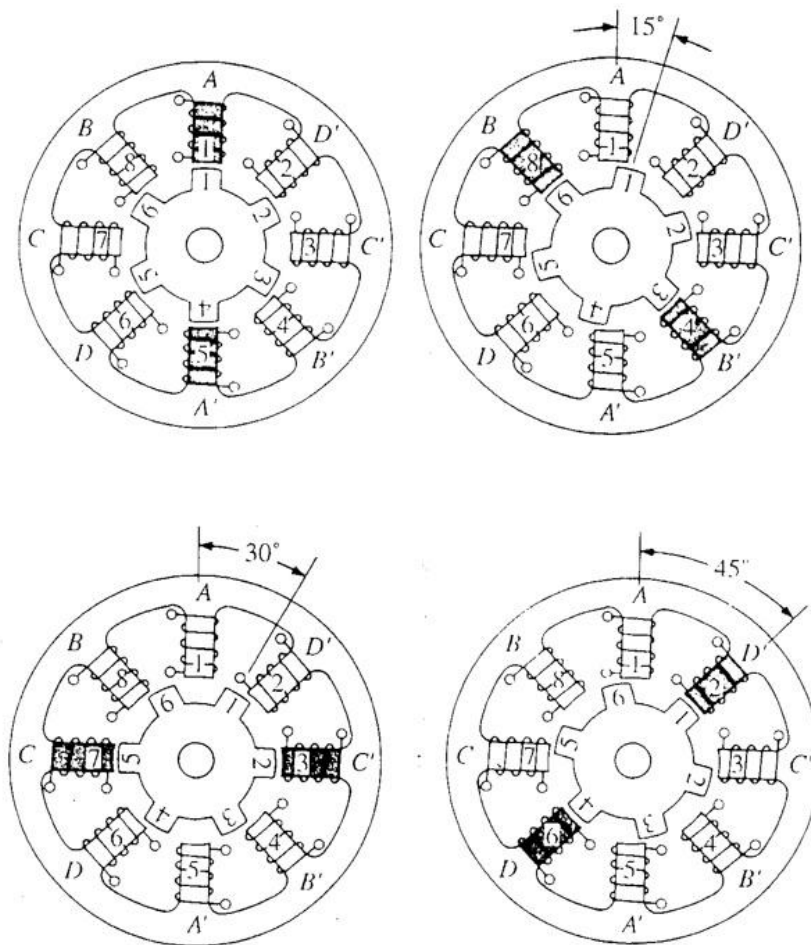
Kuva 2. Kestomagneettiaskelmoottorin toimintaperiaate [5].



Kuva 3. Reluktanssiaskelmoottorin toimintaperiaate [9].

Askelmoottorityyppejä on siis kolme erilaista: Kestomagneettiaskelmoottori, reluktanssiaskelmoottori ja hybridiaskelmoottori. Kestomagneettiaskelmoottorissa ei staattoria eikä roottoria ole hammastettu. Sen sijaan roottorina on kestmagneetti, jonka toinen

pää on positiivinen ja toinen negatiivinen. Se on sijoitettu käämparien keskelle niin, että parien napaisuutta vaihtelemalla saadaan moottori liikkumaan. (Kuva 4).



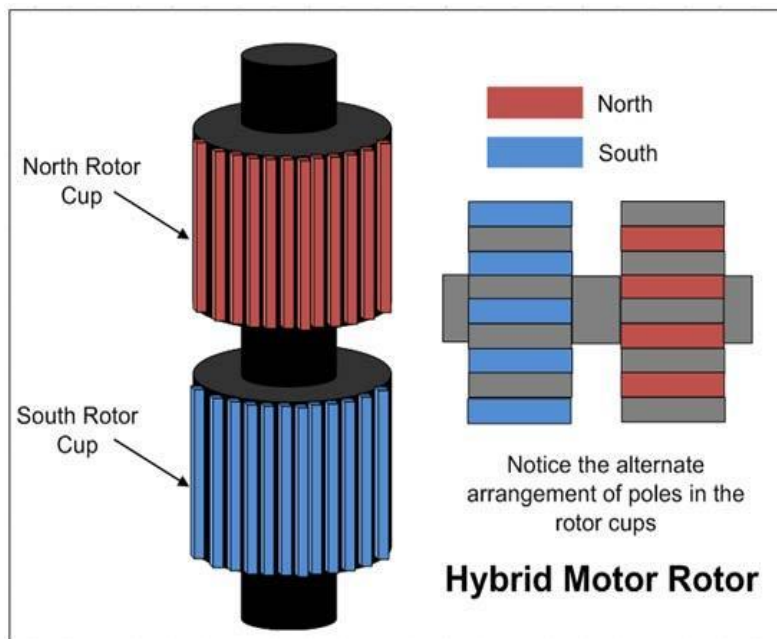
Kuva 4. Moottorin käämien energisointi ja liike täysiaskel-tilassa [20].

Moottorille on ominaista paikallaan pitävä voima, joka määrittää kuinka paljon energiaa moottori vaatii, että se lähtee liikkeelle. Kestomagneettiaskelmoottorin tärkeä piirre on se, että sen paikallaan pitävä voima pitää moottorin paikallaan, kun se pysäytetään. Kun käämeihin ei syötetä virtaa, syntyy pieni magneettinen voima kestopagneetin ja staattorien välillä, joka pitää moottorin paikallaan. Tätä voimaa kutsutaan jäännösmomentiksi. Kuva 2 havainnollistaa kestopagneettiaskelmoottorin toimintaperiaatetta.

Reluktanssiaskelmoottorissa ei ole kestopagneettia, kuten kestopagneettiaskelmoottorissa, eikä näin ollen jäännösmomenttiakaan, joka pitäisi moottorin paikallaan virran syötön katkettua. Moottorin roottori on hammastettu (kuva 4) ja se on magneettisesti

pehmeää metallia. Kun moottorin staattorit energisoidaan, roottorin hampaat asettuvat lähimpään mahdolliseen asentoon staattorin kanssa. Tämän moottorin toiminta perustuu reluktanssivoiman eli magneettisen vastuksen minimalisointiin, joka on pienin roottorin ja staattorin ollessa mahdollisimman lähellä toisiaan. Vaihdellen energisoituneina olevia käämejä, roottori pyörii uuteen asentoon ja moottori liikkuu haluttuun kohtaan. Tarkkuutta tässä moottorissa voidaan nostaa lisäämällä roottoriin hampaita tai lisäämällä käämejä.

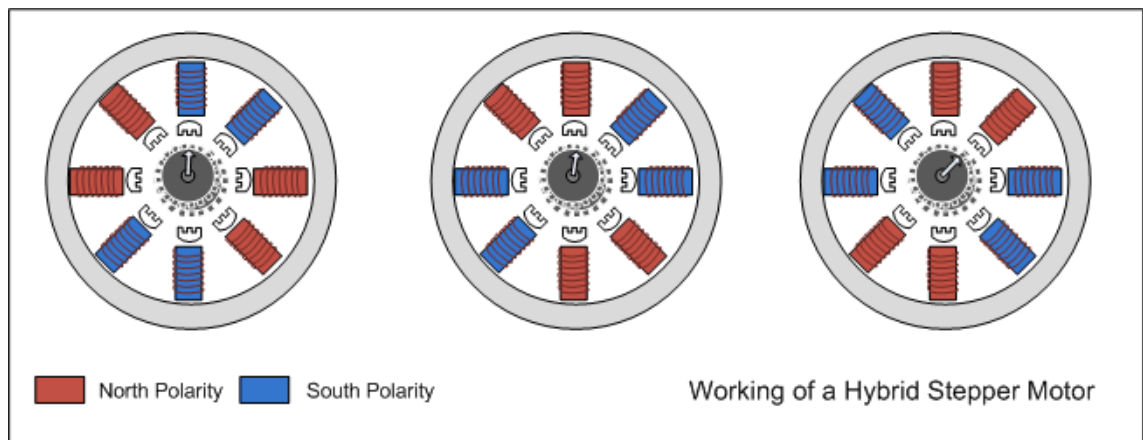
Hybridiaskelmoottori yhdistää sekä kestmagneettiaskelmoottorin että reluktanssiaskelmoottorin. Siinä on magneettinen hammastettu roottori, joka ohjaa tarkemmin magneettivuon haluttuun kohtaan. Roottorilla on kaksi magneettista roottori "kuppia". Toinen on N-napaisesti magnetisoitunut ja toinen S-napaisesti. N ja S navat ovat lomittain toisiinsa nähden (kuva 5).



Kuva 5. Hybridiaskelmoottorin roottorikupit [10].

Moottori toimii reluktanssiaskelmoottorin tavoin, etsien pienimmän mahdollisen välimatkan roottorin ja staattorin välistä. Ainoa poikkeus reluktanssiaskelmoottoriin on, että hybridiaskelmoottorissa vastakkain olevat käämit ovat samannapaisesti kytketty. Kahden eri vaiheessa olevan staattorin hampaan välinen ero suhteessa roottorin hampaisiin, jotta ne olisivat yhdenmukaiset, on puolikkaan hampaan verran. Moottorin vääntö

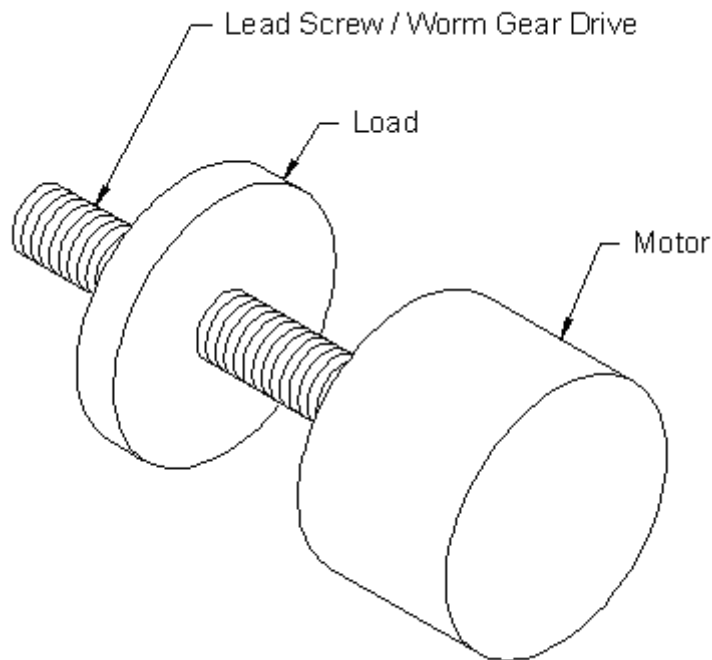
syntyy kestmagneettien ja staattorien magneettikentän yhteisvaikutuksesta. Hybridimoottorin toimintaperiaate kuvassa 6. [4;5;7;9].



Kuva 6. Hybridiaskelmoottorin toimintaperiaate [10].

3.2 Lineaariliikkeinen askelmoottori

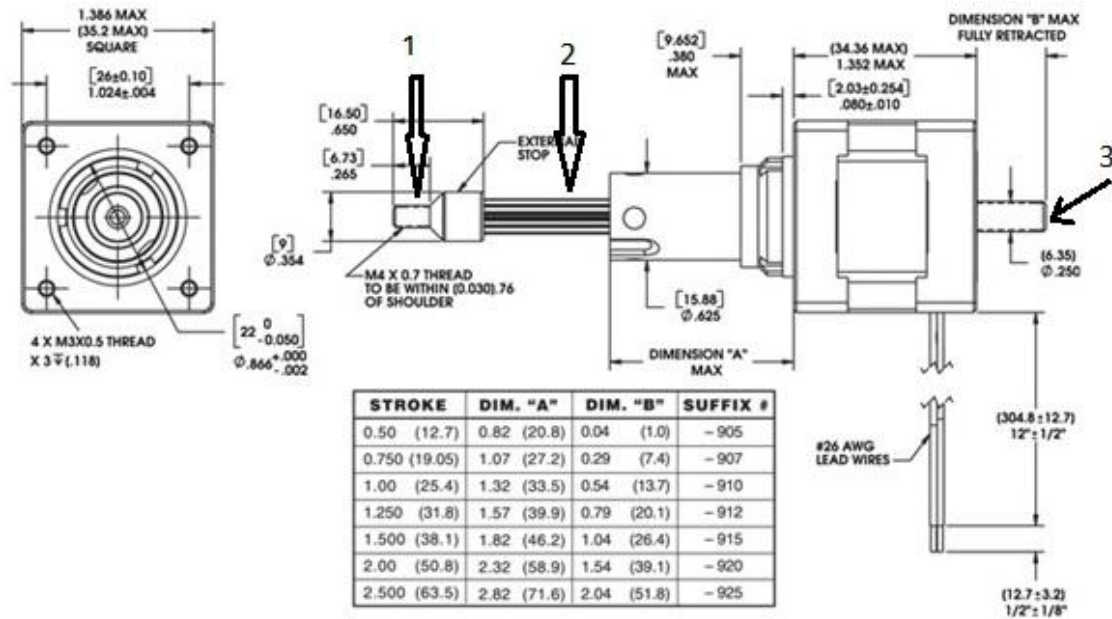
Tässä insinööriyössä käytetyt askelmoottorit ovat lineaariliikkeisiä askelmoottoreita eli niiden pyörintäliike muutetaan lineaariliikkeeksi. Askelmoottorin liikkeen muuttaminen lineaariliikkeeksi onnistuu ohjausruuvien avulla, kuten kuvassa 7.



Kuva 7. Askelmoottorin ja ohjainruuvien toimintaperiaatteen hahmotus [18].

Moottori pyörittää ohjainruuvia, joka liikuttaa kierteillä varustettua ohjainosaa (esimerkiksi mutteria), johon kuorma on kiinnitetty. Kuorma pysyy samassa asennossa ja sen sisäiset kierteet liikuttavat kappaletta haluttaessa eteenpäin tai taaksepäin riippuen moottorin pyörimissuunnasta. Tässä työssä käytetty moottori toimii kuitenkin yleisestä menetelmästä poiketen päinvastaisesti eli moottori pyörittää paikallaan pysyvää kierteitä ohjainosaa, joka liikuttaa ohjainruuvia. [8].

Moottorin pyörähtäessä yhden 360° :n kierroksen liikuttaa ohjainruuvi kuormaa joka kerta tarkalleen yhtä pitkän matkan. Yhden askeleen ja liikutun matkan suhde on näin ollen lineaarinen. Jos yhtä kierrosta vastaava työntöliike on yhden tuuman pituinen ja yhteen kierrokseen sisältyy 200 askelta, on ohjainruuvien antaman lineaariliikkeen määrä 0,005 tuumaa eli noin 0,127 millimetriä per yksi liikuttu askel. [8].



Kuva 8. Lineaariliikkeisen askelmoottorin kuva [11].

Työssä käytetty lineaariliikkeinen askelmoottori on kuvassa 8. Moottorin sivukuvassa oikealla näkyy ulostuleva liikeruuvi (3) ja vasemmalla ruuvi, johon kuorma kiinnitetään (1). Ennen tätä kuormaruuvia (1) on varsi (2), joka työntyy moottorista ulos. Tämä erillinen varsi estää kuorman pyörimisen ruuvin mukana. Moottorista on olemassa myös avomalli, jossa liikutettava kuorma on kiinnitetty suoraan ohjainruuviin ja näin ollen pyörii ohjainruuvin mukana.

3.3 Askelmoottorihjain

Askelmoottorit vaativat erillisen askelmoottorihjaimen toimiakseen. Ohjain saa askelmäärän ja pyörimissuunnan signaalit ohjainmoduulilta (esimerkiksi ohjelmoitava logiikka) ja muuttaa nämä signaalit sähköisiksi signaaleiksi, joilla ohjataan askelmoottoria. Yksi pulssi vaaditaan jokaista moottorin akselin liikettä kohden. Täysiaskel-tilassa, standardin mukaisella 200 askeleen moottorilla, vaaditaan 200 askelta yhden 360° pyörähdysen suorittamiseen eli ohjain lähettää moottorille 200 pulssia. Pyörimisen nopeus on suoraan verrannollista pulssien syöttötaajuuteen. Joissain ohjaimissa on sisäinen oskillaattori, joka mahdollistaa ulkoisten analogiasignaalien tai ohjaussauvan (joystick) käytön moottorin ohjaamiseen.

Moottorin suorituskyky liikenopeuden ja vääntömomentin suhteen perustuvat täysin sähkövirtaan, joka kulkee ohjaimelta moottorin käämeille. Virran muutoksia rajoittavaa tekijää tai käämin energisoimista hidastavaa tekijää kutsutaan induktanssiksi. Induktanssi huomioidaan muun muassa sillä, että suurin osa ohjainpiireistä on suunniteltu suuremmalle jännitelähteelle kuin mikä moottorin annettu jännitearvo on. Mitä suurempi on ohjaimen lähtöjännite sitä suurempi nopeus ja vääntömomentti moottorista saadaan. Yleisesti ohjaimen lähtöjännite (väyläjännite) pitäisi olla 5 - 20 kertaa korkeampi kuin moottorin jännitearvoksi on annettu. Moottorin suojaamiseksi vahingoilta, pitäisi askelmoottorinohjaimen virta olla rajoitettu moottorille sopivalle tasolle. [8].

3.4 Ohjainmoduuli

Ohjainmoduuli, kuten esimerkiksi ohjelmoitava logiikka, lähettää ensisijaisesti askel- ja suuntatietosignaaleja moottorinohjaimelle. Usein systeemi vaatii, että ohjainjärjestelmä lähettää myös muita tietoja, kuten kiihdytys, hidastus, askeleet minuuttia kohden ja matka. Ohjainmoduuli pystyy myös hallitsemaan muita ulkoisia signaaleita.

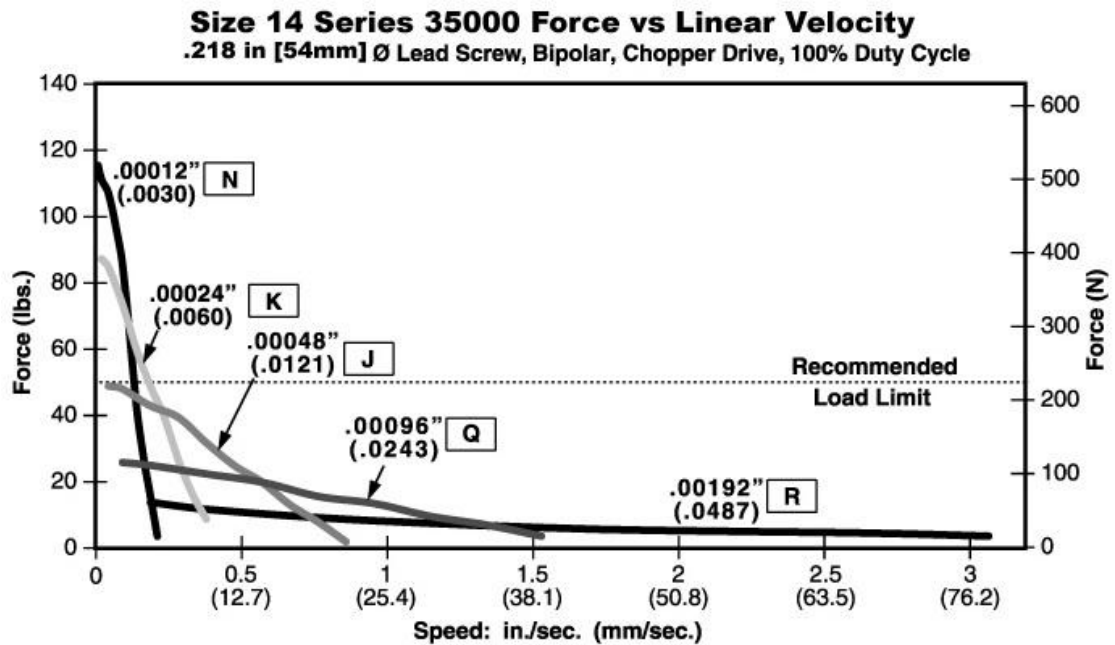
Kommunikaatio moottorinohjaimelta ohjainmoduulille tapahtuu yleensä RS-232 sarjaportin kautta ja joissain tapauksissa RS-485 portin kautta. Kummassakin tapauksessa ohjainmoduuli on kykenevä vastaanottamaan käskyjä ylemmältä tasolta kuten päälaitteena toimivalta PC:ltä ja tuottamaan vaadittavat askel- ja suuntapulssit moottorinohjaimelle.

Ohjainmoduuli sisältää lisä I/O:n ulkoisille sisääntulosignaaleille kuten esimerkiksi Go, Jog, Home tai Limit switch. Tässä insinööryössä *home switch* eli kotikytkin on erittäin tärkeässä roolissa, kun halutaan määrittää lineaariaskelmoottorien tarkka sijainti ensimmäisellä käyttökerralla. Moduulilla on myös mahdollista käynnistää muita laitetointoja I/O:n lähtöpinnien kautta. [8].

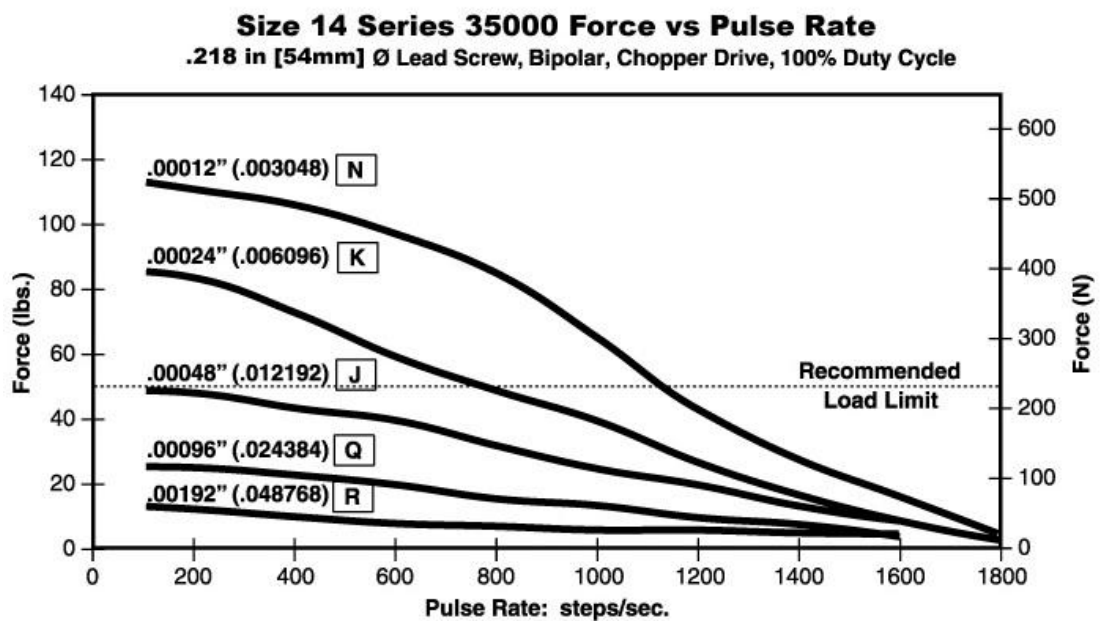
3.5 Moottorin ja ohjaimen valinta

Askelmoottorin valinta riippuu käyttökohteen vaatimasta tarkkuus, vääntömomentti- ja nopeusvaatimuksista. Moottorintyypiksi valikoituu useimmin joko kestopagneettiaskelmoottori, joka on halpa ja askelväli suuri, yleisimmin $7,5^\circ$ tai 15° , tai hybridiaskel-

moottori, joka on kalliimpi ja tarkempi lisäksi siinä on tehokkain vääntömomentti. Moottoria valittaessa verrataan moottorin vääntömomentti/nopeus-käyrää tarvittavaan työkohteeseen (löytyy jokaisen ohjaimen tuoteselosteesta, esimerkkinä työssä käytetyn moottorin kuvaajat, kuvat 9 ja 10).



Kuva 9. Käytetyn moottorin voima suhteessa lineaariliikkeen nopeuteen [8].



Kuva 10. Käytetyn moottorin voima suhteessa pulssinopeuteen [8].

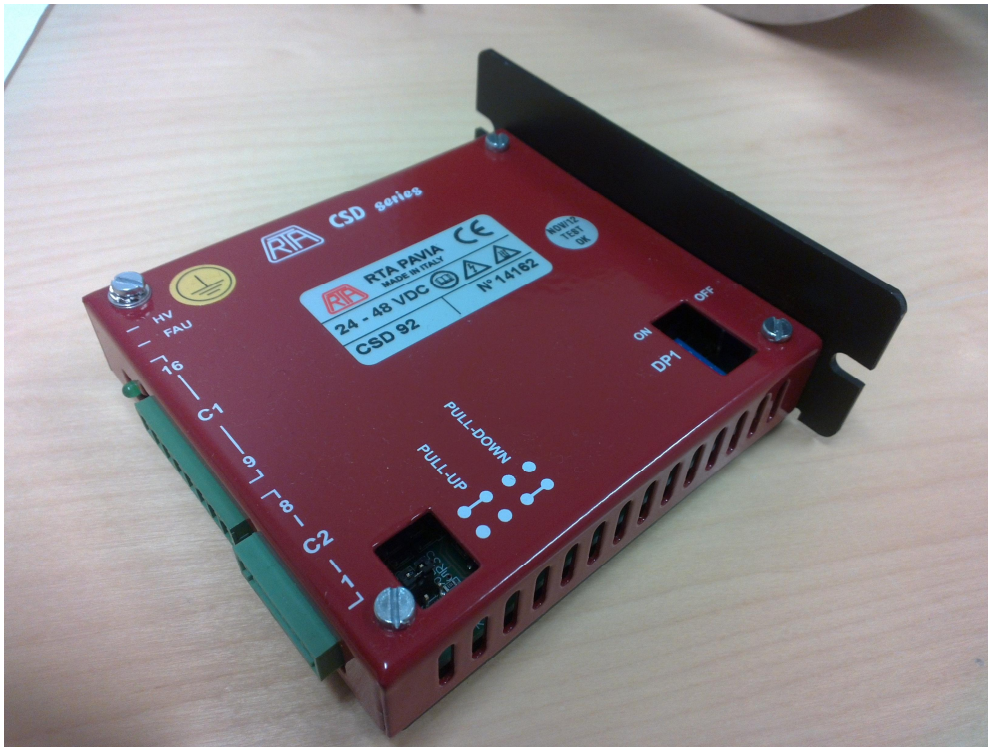
Jokaiselle moottorinohjaimelle pitäisi löytyä vääntömomentti/nopeus-käyrä ohjaimelle suositeltavista moottoreista. Jos vääntömomentti- ja nopeusvaatimukseen päästään useammalla eri askelmoottorilla, pitäisi ensin valita ohjain, joka perustuu järjestelmän vaatimiin erikoisuuksiin kuten esimerkiksi askel/suunta, itsenäinen ohjelmitavuus, analogiset sisääntulot tai mikroaskellus. Vasta sitten tulisi valita ohjaimelle suositeltu moottori. Suositeltujen moottorien lista perustuu laajaan valmistajan tekemään testaukseen, jolla varmistetaan optimaalinen suoritus askelmoottorin ja ohjaimen yhdistelmällä. [8].

3.6 Insinööriyössä käytetyt laitteet

Insinööriyössä käytetyt kuusi lineaariliikeaskelmoottoria ovat merkiltään Haydon Switch & Instrument Incin tuotteita. (Tuote numero 35H4N-2.33-910). Moottorien työntövoima täysiaskel-tilassa on 23 kg, tehonkulutus 5,7 W ja askeltarkkuus 0,003 mm/askel.

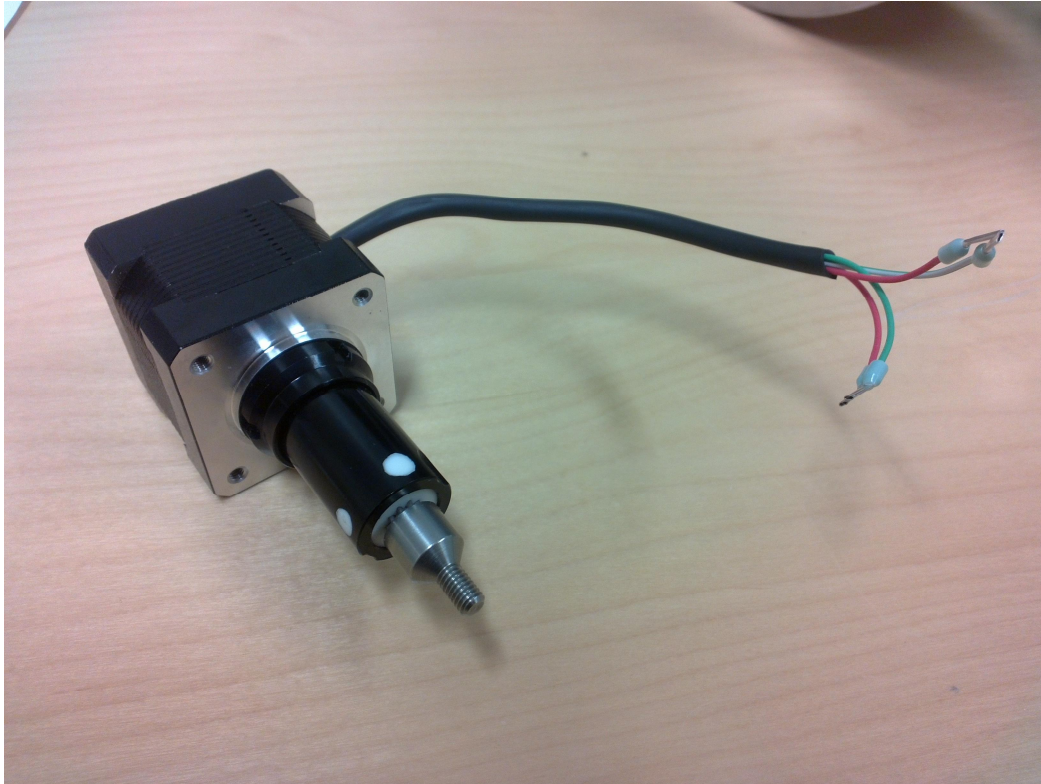
Kuvissa 9 ja 10 näkyy työssä käytetyn moottorin voima/lineaariliikkeen nopeus ja voima/askelta per sekunti kuvaajat. Moottorin tunnus on kuvaajissa N. Sen suositeltu kuormarajoitus on noin 50 paunaa tai 230 newtonia, joka saavutetaan pulssitaajuudella 1150 askelta per sekunti. Kuvassa 9:n havaitaan, että vastaavat voiman arvot saavutetaan lineaariliikkeessä noin 5 millimetriä per sekunti nopeudella. Tämä tarkoittaa, että moottori jaksaa vääntää isommallakin kuormalla, mutta vauhti hidastuu, eikä moottori välttämättä kestä hyvin jatkuvassa käytössä. Tässä käyttökohteessa moottorin nopeus ei ole oleellista, mutta sen vääntökyky on. Niinpä työhön valittiin taulukon eniten vääntöä antava moottori. [8].

Jokainen järjestelmän moottori vaatii ohjaimekseen RTA Motion Control Systemsin A-CDS 92 ohjaimen (kuva 11).



Kuva 11. A-CDS 92 moottorinohjain

CSD on RTA Motion Control Systemsin tuotenimi kaksinapaisille hakkuri miniaskel ohjaimille, joilla voi ajaa kaksivaiheisia askelmootoreita neljällä, kuudella tai kahdeksalla johdolla. Vaiheilla tarkoitetaan yhteen kytkettyjen käämikokonaisuuksien määrää. Kytkennästä riippuen, käämistä voidaan ottaa ulos eri määrä johtoja. Laitetta käytetään 24V käyttöjännitteellä. Siihen tuodaan askelmootorin kahden käämityksen johtoparit, kuvassa 12 näkyvät punainen pari, sekä vihreä pari. Lisäksi ohjaimelle tuodaan ohjelmoitavan logiikan AMCI 3401 point I/O stepdrive moduulista neljä johtoa, joilta ohjain saa suunta- ja askelkäskyn. Sähkökaavio löytyy liitteenä 5. [11].



Kuva 12. Käytetty askelmoottori

Ohjainmoduulina kokoonpanossa käytetään ulkopuolisen valmistajan AMCI:n (Advanced Micro Controllers INC.) 3401 point I/O stepdriveä (Kuva 13).



Kuva 13. Ohjainmoduuli AMCI 3401 point I/O stepdrive [19].

AMCI valmistaa myös muita Allen Bradley yhteensopivia tuotteita. Jokaista moottorinohjainta varten on yksi AMCI 3401 moduuli, joka on kiinni Allen Bradleyn 1734-AENT point I/O:ssa (hajautettu I/O).

Tällä moduulilla voidaan päästä jopa 1 MHz lähtöpulssitaajuuksiin, joka tarvittaessa mahdollistaa nopean liikkeen. Moduulin liikkuma alue on +/- 8 388 607 pulssia. Käytävissä olevat moottorin liikutuskäskyt ovat absoluuttinen liike, relatiivinen liike tai sovellettu liike, jossa käyttäjä pystyy ohjelmoimaan monimutkaisemman liikeprofiilin. Ulkoisina liitäntöinä moduulissa on kotikytkin ja rajakytkin, joka voidaan ohjelmoida CW tai CCW rajakytkimeksi tai hätäpysäytykseksi. Laite tarvitsee 5 V dc jännitettä ja se sopii yhteen 1734-TB tai TBS Rockwell Automation kiinnitysalustaan. [19].

4 Kollimaattori (Slit)

Kollimaattori eli slit on lyhyt, noin 25 cm pitkä komponentti kiihdytinputkessa, jonka lävitse hiukkaset kulkevat. Tähän työhön liittyviä slittejä on yhteensä kolme kappaletta, joista kaksi on asennettu ennen suihkun vertikaalitasosta horisontaaliliikkeeksi taittavaa analyysimagneettia ja yksi sen jälkeen. Käytännössä slit on hiukkassuihkua kohtisuorassa olevista kahdesta sivuttain liikkuvasta metallilevystä rakennettu kokonaisuus (kuva 14).

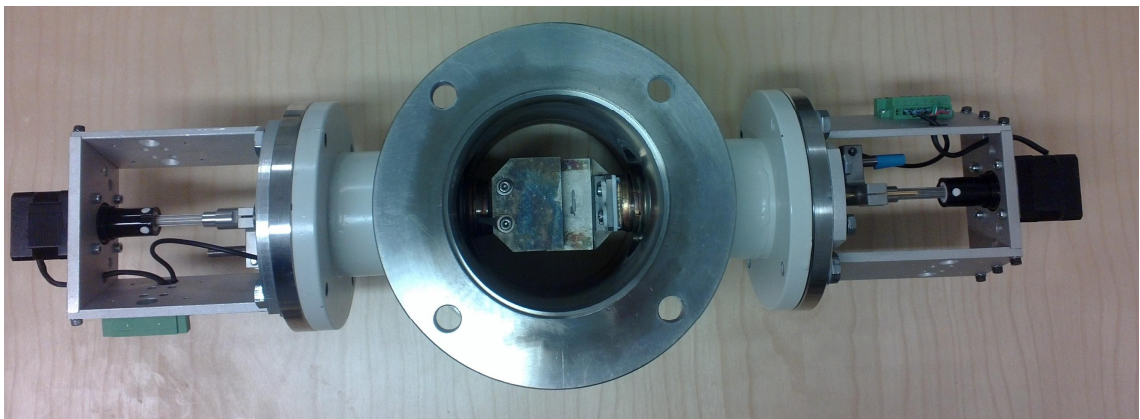


Kuva 14. Slittien sädettä estävät metallilaikat

Sen tarkoitus on päästää hiukkasia läpi levyjen aukoksi asetetun leveyden matkalta. Ennen analyysimagneettia olevat x- ja y -suuntaiset slitit ovat 90° kulmassa toisiinsa nähden ja muodostavat putkeen hiukkasen tulosuunnasta katsottuna suorakulmion

muotoisen säädettävän aukon, jolloin suihkusta saadaan kaikki ylimääräinen hajonta leikattua pois. Analysimagneetti kääntää suihkun vertikaalisesta horisontaaliseksi. Käännöksessä eri hiukkaset erottuvat massansa perusteella eri kohtiin suihkuputkea. Raskaammat valuvat putkessa alemmas ja kevyemmät ylemmäs. Y-suuntaisella analysimagneetin jälkeisellä slitillä saadaan erotettua suihkusta ne poikkeavat hiukkaset, joita ei haluta otettavaan näytteeseen. Slittien metallilevyihin on kiinnitetty kuparijohdin, joka on vedetty tyhjiöputkesta ulos. Tämä johdin voidaan kiinnittää erilliseen anturiin, jolla voidaan mitata slitteihin muodostuvaa virtaa ja päätellä kuinka paljon varautuneita hiukkasia osuu levyihin.

Aikaisemmin slittejä on ohjattu neuvostoliittolaisilla mikrometriruuveilla haluttuun asentoon. Tämä tarkoitti, että kiihdyttimen käyttäjän täytyy joka kerta mennä paikan päälle siirtämään mikrometriruuvien asentoa. Tämä on hyvin hankalaa ja työlästä sekä jättää paljon varaa inhimillisille virheille, koska käyttäjän pitää tietää missä asennossa mikrometriruuvi on. Lisäksi kiihdyttimellä on useita käyttäjiä, jolloin toinen käyttäjä on voinut käydä vaihtamassa ruuvien paikkaa ja mittaus epäonnistuu. Tämän työn myötä slittien asennoitus on automatisoitu ja mikrometriruuvit korvattu askelmoottorijärjestelmällä. Kuvassa 15 on esitetty koko slit -ratkaisu.



Kuva 15. Rakennettu Slit kokonaisuus

Uudistettu askelmoottorijärjestelmä on keskielementin molemmissa päissä. Slit koostuu siis kahdesta lineaariaskelmoottorilla ohjatusta metallilevystä, jotka ovat ohjelmoitavalla logiikalla yhdistetty ohjelmallisesti yhdeksi slit kokonaisuudeksi. Putken sisällä nähdään ionisuihkua leikkaavat säädettävät laikat, jotka liikkuvat kuvassa horisontaalisesti ulostai sisäänpäin putken keskipisteestä. Molempien levyjen kärjessä, eli hiukkassuihku-

päässä, on viiden asteen kulmapoikkeama eli hiukkassuihkun tulosuunnasta kulma on 85° , jolloin levy leikkaa suihkua tarkemmin. Liite 4.

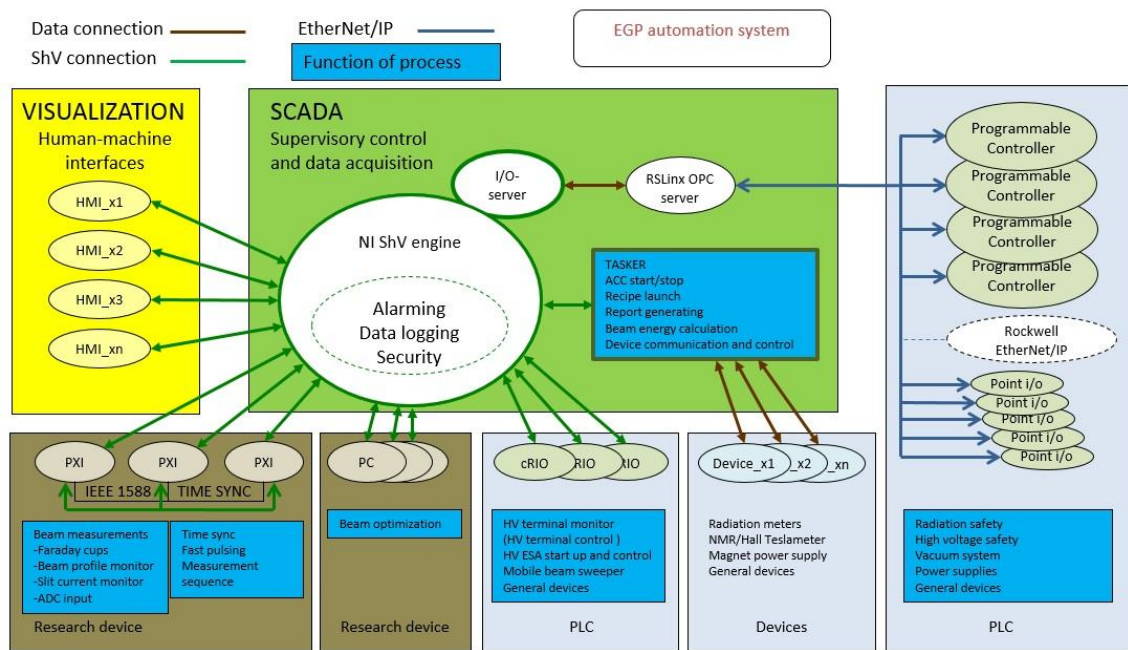
Alun perin molemmat levyt oli tarkoitus ajaa toisiinsa kiinni eli molempien ollessa ”koto-na”, oli slit täysin kiinni, levyt olivat kiinni toisissaan eikä hiukkassuihku pääse siitä lävitse. Viime hetken muutoksena ennen laitteiden lopullista kokoamista päätettiin, että levyjen ei kannata olla suorassa linjassa toisiinsa nähden. Koska levyt eivät sijoitu ionisuihkun suuntaisesti putken keskelle vaan noin kolme senttimetriä keskikohdasta sivulle, voidaan toinen levy kääntää sen kiinnityssuunnassa 180° ympäri. Näin molemmat levyt voivat liikkua lomittain toistensa ohitse. Kuvassa 15 nähdään, että askelmoottorit eivät ole enää peilikuvia toisistaan. Myös levyt ovat kuvassa toistensa päällä. Tämän muutoksen myötä slitille saadaan isompi liikealue ja pystytään varmistamaan, etteivät levyt vahingossakaan törmää. Päätettiin, että molemmat levyt pystyvät ajamaan 5mm yli putken keskikohdan, jota aikaisemmin levyjen ollessa yhdessä, ei pystytty toteuttamaan, koska koti-asento sensorin yli ei pysty moottoria ajamaan. Koti pitää asettaa moottorin ehdottomaksi liikkeen raja-arvoksi, joka ensimmäisessä ratkaisussa oli kohdassa, missä toinen levy tuli vastaan eli putken keskellä. Uuden muutoksen ansiosta aukon molemmat reunat voivat olla keskikohdan kummallakin puolella ääritilanteissa, kun se on mekaanisesti mahdollista.

Ennen laitteiston putkeen asennusta, kaikki putken sisälle jäävät osat täytyy puhdistaa erittäin huolellisesti. Lika ja rasva eivät tee hyvää tyhjölle ja tällöin voi tulla mittausvirheitä. Metallilevyt pestiin ultraäänipesurilla, kaikki muu putken sisältö pestiin huolellisesti etanolilla.

5 Ohjauksen toteutus

5.1 Ohjelmistolohkojen sijoittelu järjestelmässä yleisesti

Ohjausjärjestelmä muodostuu neljästä lohkokosta: SCADAsta, käyttöliittymistä, toimilaitteista ja tutkimusta tukevista laitteista. Ohjauksen kuvaus kuva 16.



Kuva 16. Kommunikointi eri laitteiden välillä [13].

SCADA on toteutettu National Instrumentsin DSC moduulia käyttäen. DSC:ssä on sisäänrakennettu tiedonsiirto, tietokantaan tallennus, hälytysten generointi ja käyttäjien oikeuksien rajaaminen. SCADAn yhteyteen on tehty Taskeri, jossa suoritetaan kaikki ylemmän tason prosessinohjaus. SCADAssa jokaisella laitteella on oma kirjastonsa, jossa kaikki kyseisen laitteen muuttujat ovat. Nämä muuttujat määrittelevät laitteiston rakenteen ja näiden muuttujien kautta tapahtuu kaikki toiminnallisuus. Käyttöliittymissä ei ole toiminnallisuuteen vaikuttavia ohjelmia, ne vain välittävät pyyntöjä SCADAlle ja ilmentävät laitteiston tilaa.

Toimilaitteiden ohjaus on toteutettu automaatio-ohjaimilla. Pääosalta Allen-Bradley:n CompactLogix laitteilla, myös National Instrumentsin cRio ohjaimia on käytössä. Laittekohtainen toiminnallisuus on toteutettu kyseisillä logiikoilla. Toimilaitteet kommunikoivat vain SCADAn kanssa, eivät koskaan suoraan käyttöliittymien kanssa. Ethernettiin helposti liitettävien laitteiden ohjaus tehdään Taskerissa.

Ohjausjärjestelmään liittyvät tutkimusta tukevat laitteet on pääasiassa PXI-alustalla toteutettuja. Joitakin toimintoja on toteutettu myös PC:tä käyttäen. Nämäkin laitteet käyttävät tiedonsiirtoon SCADAssa olevia muuttujia. Tutkimusta tukeva laite saattaa muodostua useammasta PXI-alustasta, tällaisessa laitteen sisäinen kommunikointi on toteutettu suoraan PXI-alustojen kesken. [12; 13].

Ohjelmistolohkojen sijoittelu järjestelmässä:

Ohjelmoitavat logiikat

- Kiihdyttimen turvallisuuteen vaikuttavat toiminnot

- Säteilynvalvonta
- Ionilähdetilojen lukitus
- Hätäseis-tilanne

- Laitteistojen ja yksittäisten laitteiden suojaus

- Lämpilyöntitilanteiden hallinta
- Tyhjiöjärjestelmä
- Suojausta vaativien laitteiden ohjaus

- Logiikan sisältämät kokonaisuudet

- Magneettien automaattinen säätö.

Tasker (SCADA)

- Kiihdyttimen käytettävyyttä parantavat toiminnot

- Kiihdyttimen toiminnan hallinta
- Käynnistys/Pysäytys
- Reseptit
- Massaskannaus
- Mittaussekvenssit
- Automaattinen kiihdyttimen optimointi

- Erillislaitteiden ohjaus

- Säteilymittarit
- NMR -mittari
- Analyysimagneetti.

Tutkimusta tukevat laitteet

- Mittaussekvenssit

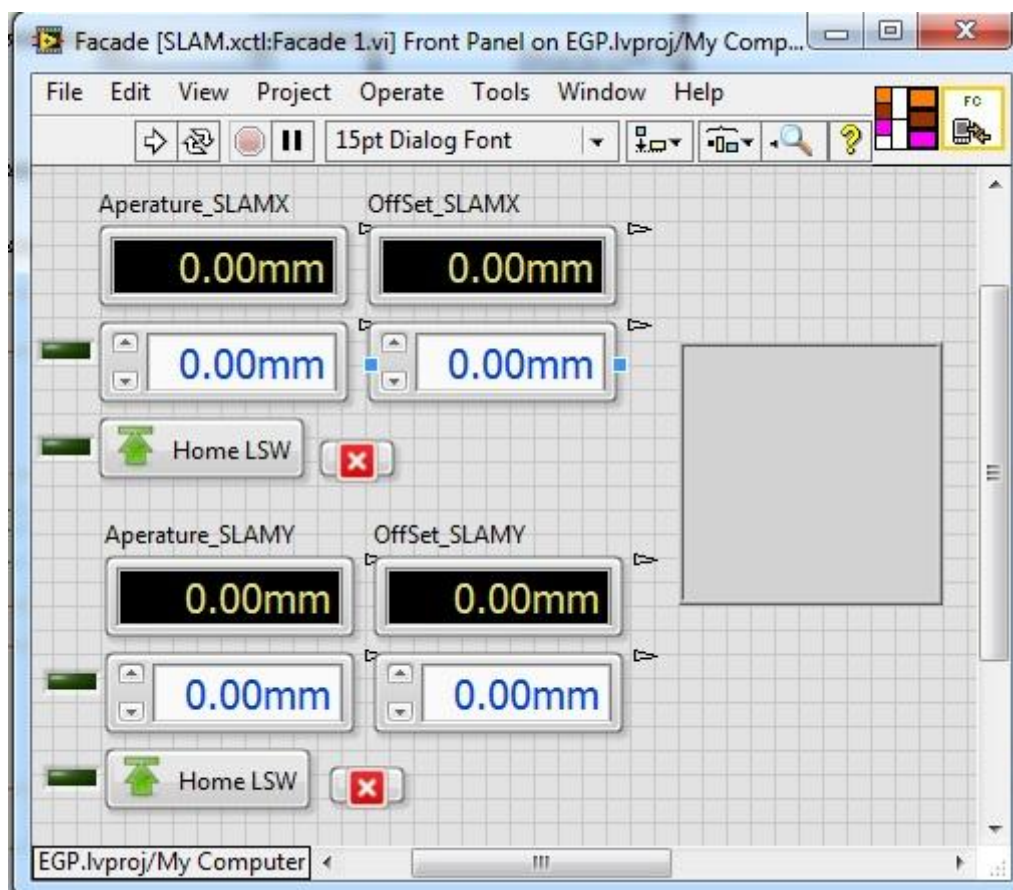
- AMS -mittaus, nopea massan vaihto

- Ionisuihkun monitorointi

- Faraday -kupit
- Slittien virranmittaus
- Analogia-digitaali muuntimet
- BPM digitalisointi.

5.1.1 Laitehallinta

Jokaiselle laitteelle on oma näyttömoduuli, joka sisältää sen kaikki indikaattorit ja ohjaimet. (Esimerkkinä slitin indikaatio- ja säätömuuttujat kuva 17. Siinä on kaikki slitin muuttujat, jotka logiikalta tuodaan SCADA:an ja halutaan operaattorin näkevän.)



Kuva 17. Slitin käyttöliittymästä tehty XControlli/näyttömoduuli

Nämä kommunikoivat SCADAssa laitetta edustavien muuttujien kanssa. Kommunikaatiossa käytetään indikaattorien ja säätömuuttujien Data Binding -ominaisuutta eli tietojen sitomista toisiinsa. Näyttömoduulin käytön mahdollistava toiminta määräytyy laitekohtaisen Status- eli tila -muuttujan mukaan. Tyypillistä toimintaa näyttömoduulissa on estää tai sallia säätimen käyttö. Status-muuttujan arvo määrittellään siinä ohjelmointiympäristössä, jossa laitteen toiminnallisuus on toteutettu. Näyttömoduulit on toteutettu XControl-menetelmällä. Lyhyesti XControl on Labviewin etupaneeliobjekti (kuva 20), jossa laitteen toiminnallisuus visualisoidaan. XControllissa on myös liitetty ohjelmaosa (liite 8), joka toistaa halutut toiminnot. XControllin etuina on muun muassa niiden uudel-

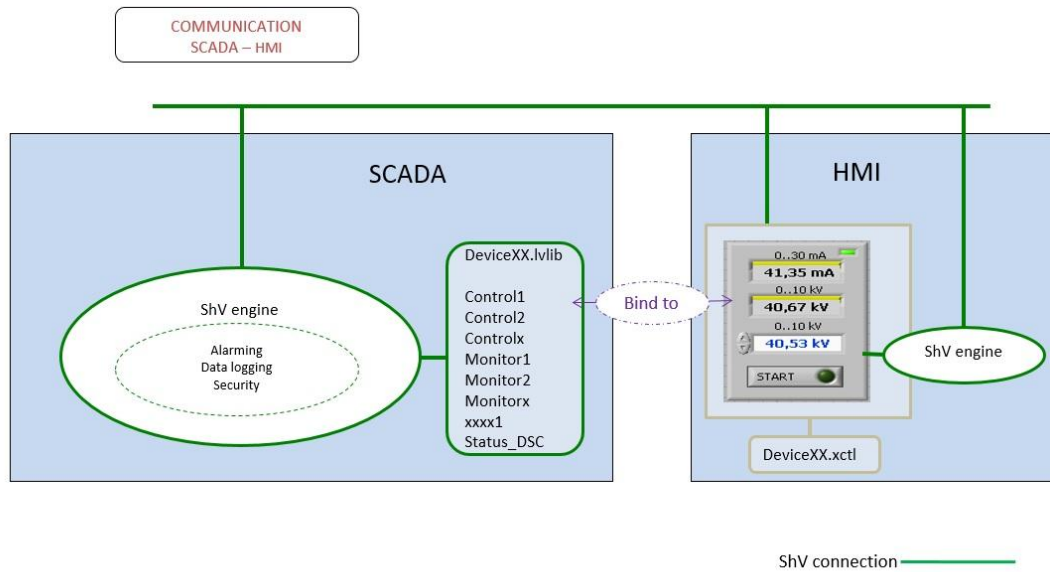
leen käytettävyys, mahdollisuus lisätä isonkin määrän sisältävä objekti koodiin. Niitä voi myös käyttää vaivattomasti eri työpisteellä. [13; 16; 17].

5.1.2 Laitteistopaneeli

Kokonaisuudet, jotka halutaan esittää yhdessä, on koottu laitteistopaneeliksi eli ohjelmaikkunaksi, jossa on kaikki esimerkiksi ionisuihkun monitorointiin liittyvät laitteet. Paneelit muodostuvat näyttömoduuleista ja näitä päivittävästä ohjelmalohkosta. Indikaattorit ja säädinmuuttajat, joihin ei tarvita toiminnallisuutta näytössä, on toteutettu LabViewn perinteisillä näyttöobjekteilla. Nämäkin kommunikoivat Data Binding-ominaisuutta käyttäen SCADAssa olevien muuttujien kanssa. Näyttöobjektien kommunikation laaduntarkkailuun on tehty ohjelmalohko, joka tuo Data Binding Statuksen esille kommunikation ollessa epätäydellinen. [13].

5.1.3 HMI

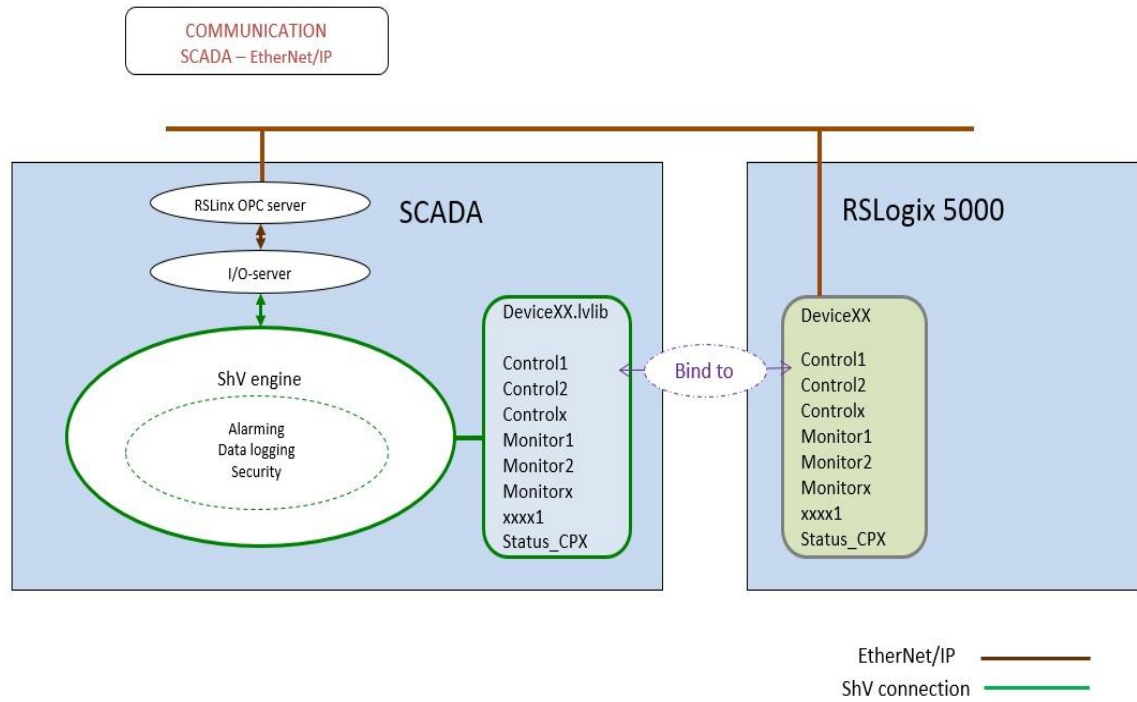
HMI muodostuu kokoelmasta paneeleita ja näiden toimintaa ohjaavasta ohjelmasta. Tämä ohjelma on melko yksinkertainen, sen pääasiallinen tarkoitus on avata ja sulkea käyttäjän haluamia paneeleja. Lisäksi se tarjoaa HMI:n päivitystoiminnan. HMI on toteutettu National Instruments Labviewillä kuten SCADAKin, joten ne pystyvät kommunikoimaan helposti samoilla ShV-tiedoilla, jotka on data bindattu. Lisäksi se sisältää yksittäisiä ohjauksia ja ilmaisimia. Edellä mainitut asiat on järjestelty omiin kokonaisuuksiinsa eli paneeleihin, joista tapahtumia on helppo seurata. Lisäksi HMI:ssä on mahdollisuus päivittää jossain muualla XControlleihin tai muihin HMI:n osiin tehdyt muutokset helposti. [12; 13].



Kuva 18. SCADA-HMI yhteys [13]

5.2 Rslogix-SCADA OPC -rajapinta

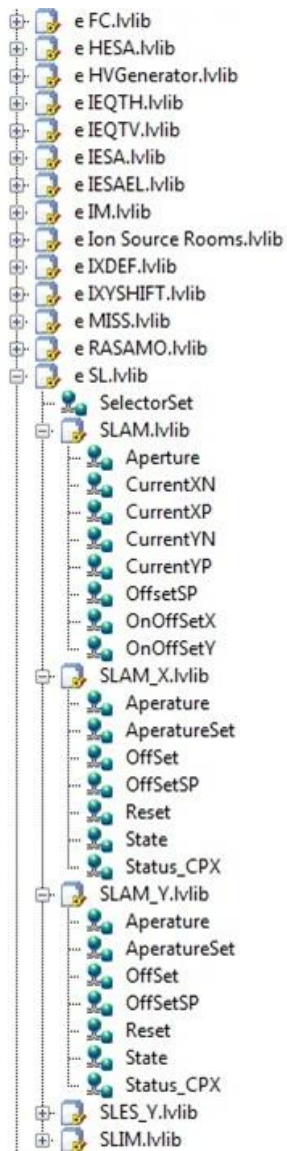
Kiihdyttimellä on useita ohjelmoitavia logiikoita eri laitekokonaisuuksia varten, jotka täytyy saada kytketyksi valvomo-ohjelmistoon eli SCADAan. Tämä on toteutettu kuvan 18 mukaisesti. Oikealla kuvassa on ohjelmoitava logiikka, jossa pyörii RSLogix5000 ohjelma. Laite on kytkettyä Ethernetin välityksellä PC:seen, jossa toimii SCADA ja RSLinx OPC serveri. Ennen kuin ohjelmoitava logiikka saadaan kommunikoidaan ShV -enginen kanssa, jonne kaikki data on tarkoitus linkittää, täytyy se kierrättää RSLinx OPC -serverin kautta. RSLinxillä taas saadaan kosketus National Instrumentsin I/O serveriin ja sitä kautta ShV -engineen. [13].



Kuva 19. Logiikan ja SCADAn yhteensovittaminen [13].

5.3 Slit SCADAssa ja käyttöliittymässä

Kollimaattoria varten tehtiin omat ShV-muuttujat ja niistä XControl, joka pystytään liittämään laitteistopaneeliin, jossa sitä käytetään. Kuvassa 20 nähdään avattuna kaksi slittejä varten tehtyä ShV –muuttujakokonaisuutta.



Kuva 20. Kaikista sliteistä tehdyt ShV -muuttujat

Ennen analyysimagneettia olevat slitit SLAM_X.lvlib ja SLAM_Y.lvlib, sekä niihin liittyvä tiedosto SLAM.lvlib, jota käytetään virran mittauksiin (ei liity tähän työhön). SLAM_X ja Y sisältävät kaikki tiedot, mitä yhteen slittiin pitää ja voi syöttää. Aperature, AperatureSet, OffSet, OffSetSP, Reset, State ja Status_CPX. Nämä kaikki on linkitetty Ohjelmoitavalle logiikalle tehtyihin controller tageihin, joilla moottoreita ohjataan, sekä ohjaamon näyttöihin, joista tietoja seurataan ja käskyt sliteille annetaan.

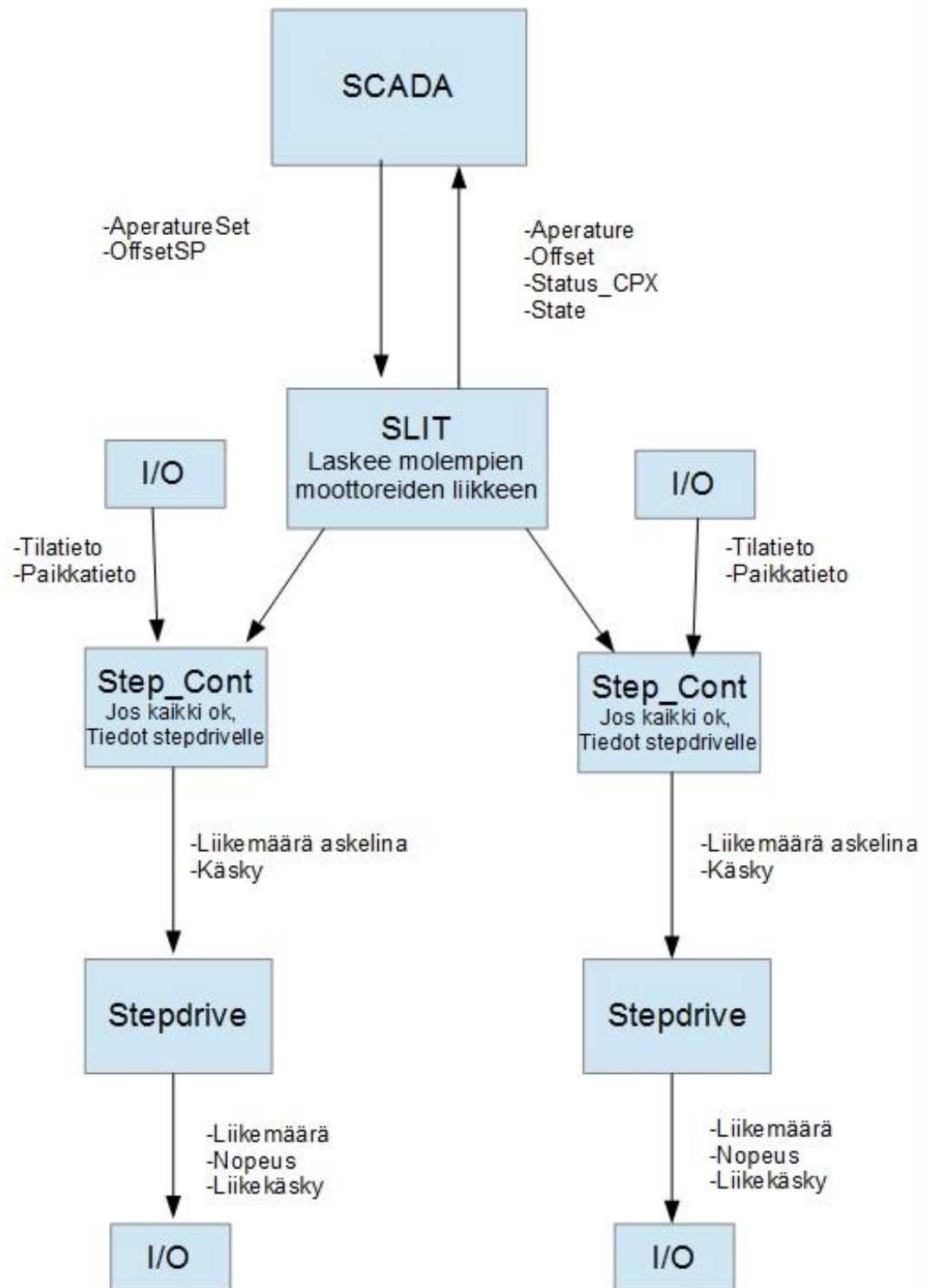
Kuvassa 17 ja liitteessä 8 nähdään ennen analyysimagneettia olevien kahden slitin yhteinen XControl-ohjelma. Kuvassa 17 on käyttöliittymään tuleva näkymä. Siinä voidaan molemmille sliteille antaa erikseen aukon koko ja poikkeama putken keskikohdas-

ta. Kun molemmille sliteille annetaan aukon koko, muodostuu oikealla näkyvään harmaaseen kuutioon valkoisella värillä suorakuution muotoinen auki olevan aukon hahmo. Esimerkiksi X-slitin ollessa 5 mm auki ja Y-slitin 10 mm, muodostuu neliöön 5 mm leveä ja 10 mm korkea valkoinen neliö.

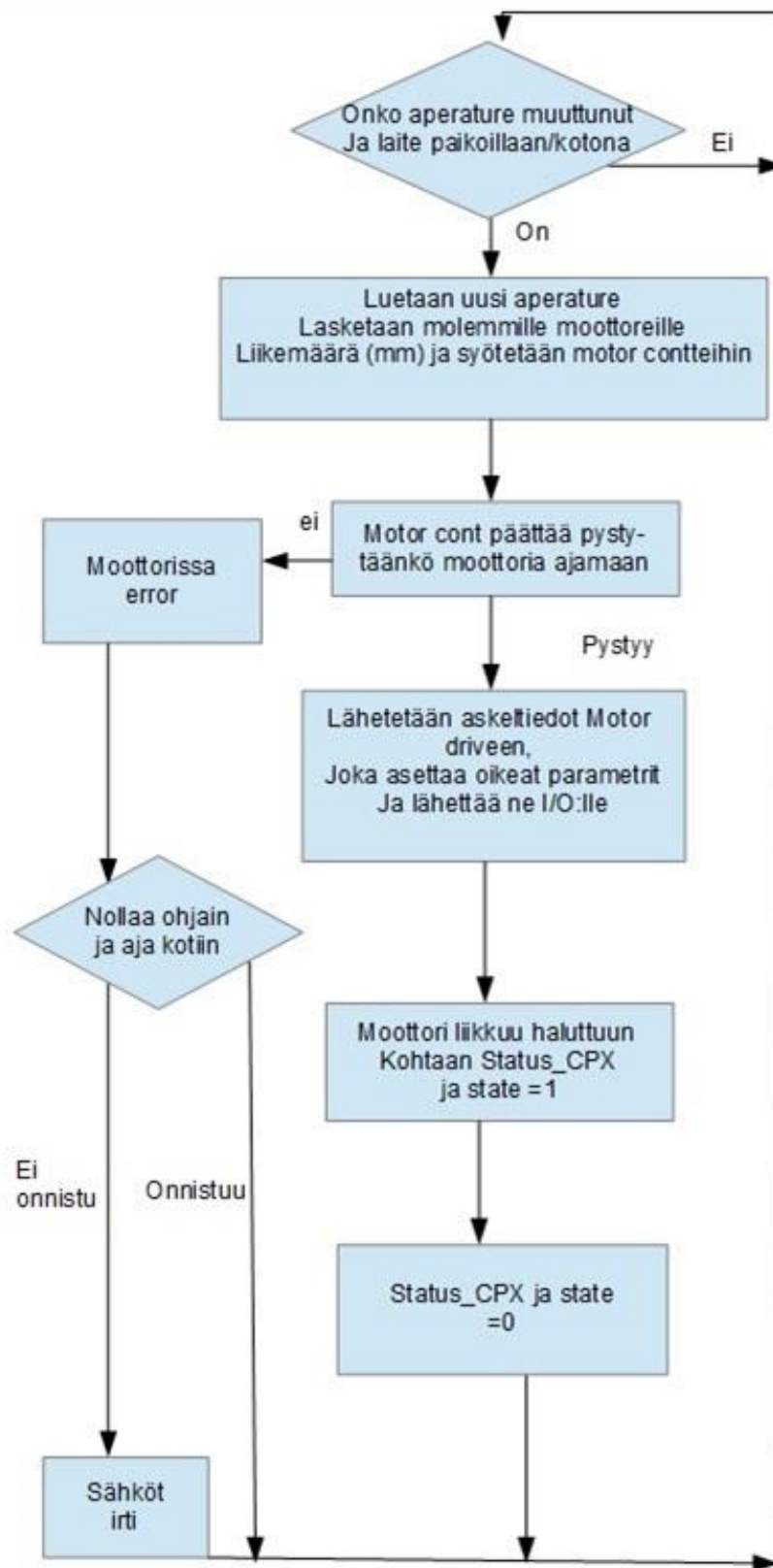
5.4 Slit RSLogix-PLC -ohjelma

Askelmoottorien ohjelma on toteutettu niin, että se on jaettu kolmeen osaan, pääohjelmaan ja kahteen aliohjelmaan. Ensimmäisenä ja alimpana toimiva ohjelman osa (Step Drive), lähettää moottorinohjaimelle liikkumiskäskyn, liikkeen määrän ja suunnan. Siitä hierarkiassa yhtä ylempänä toimiva aliohjelma (Step Cont) laskee annetusta millimetrimäärästä, kuinka monta askelta moottorin pitää tehdä saavuttaakseen kyseinen millimetrimäärä. Lopulta se lähettää askelmäärän alempaan aliohjelmaan eli Step Driveen. Step Cont tarkastaa I/O:lta moottorin tilan, onko moottori liikkeessä, pysähtynyt tai error-tilassa, sekä paikan missä moottori on. Tämän jälkeen Step Cont päättää pitääkö moottori ensin ajaa kotiin (kotikytkimelle), nollata tai suorittaa ohjaamon antama käsky.

Hierarkiassa ylimpänä oleva pääohjelma ohjaa sitten koko slit-järjestelmää eli molempia moottoreita. Se laskee kuinka paljon täytyy molempien moottoreiden liikkua, että aukko saadaan halutun kokoiseksi ja sille saadaan haluttu poikkeama keskikohdasta. Lisäksi tähän pääohjelmalohkoon on pistetty rajoitukset, etteivät moottorit liiku liian auki. Tämä on myös toteutettu ohjaamossa, joka estää käyttäjää syöttämästä vääriä arvoja moottoreille. Lisäksi ainoastaan tästä ohjelmalohkosta otetaan controller tagit eli ohjausmuuttujat, jotka viedään aikaisemmin mainitulla tavalla OPC:n kautta SCADAan. Alkuperäinen ohjelma on tehty structured text -formaattissa, mutta siitä haluttiin tehdä add-on lisäosia, joita voidaan lisätä function block diagram (FBD) ohjelmointikielellä ohjelmoitaessa. Add-on lisäosissa kyseistä koodia voi käyttää mille tahansa askelmoottorille, ilman että sen sisältämää koodia joutuu muuttamaan tai käymään läpi. Tarkoitus on ainoastaan, että käyttäjän täytyy linkittää function blockin ulos ja sisään menevät signaalit. Kuvassa 21 kuvataan Slitin ohjelman hierarkiaa ja muuttujien välitystä. Kuvassa 22 on ohjelman vuokaavio, joka esittää ohjelman toiminnan. Liitteessä 6 ja 7 on yhden slitin kokonainen ohjaus add-on lisäosia käyttäen.



Kuva 21. Slit-ohjelman hierarkia ja muuttujien välitys



Kuva 22. Vuokaavio Slit-ohjelman toiminnasta

5.5 Ohjelman testaus ja ongelmat

Ohjelmaa ja laitteistoa testattiin ohjaamalla moottoria kaikkiin mahdollisiin asentoihin ja testaamalla kaikkia komentoja ja niiden toiminnallisuutta useaan kertaan. Testaukset tehtiin sekä Labviewin käyttöliittymäpaneelistä, että RSlogix5000 ohjelmasta. Ohjelmaan jouduttiin tekemään useita muutoksia, jotta molemmat moottorit saatiin toimimaan ilman ongelmia. Erityisesti moottorien nollauskäskyssä (reset) ilmeni ongelmia, koska molemmat moottorit eivät jostain syystä saaneet nollauskäskyä joka kerta. Syyinä oli FBD-ympäristön ominaisuus kirjoittaa jatkuvasti dataa muistipaikkaan mihin se on liitetty. Ohjelma tämän takia välillä nollasi alustuskäskyn ennen kuin sitä oli edes ehditty käyttää. Ratkaisu ongelmaan oli tehdä erillinen structured text -muotoinen ohjelmalohko (joka kirjoittaa vain silloin, kun se halutaan) ja kaksi lisämuuttujaa, joilla pystyttiin varmistamaan, ettei ohjelma kirjoita sisään tulevan signaalin päälle. Kun ohjelmaan tulee sisään uusi nollaus-käsky ja koko ohjelma menee tilaan ”ei saa kirjoittaa”, siirtyy ohjelma lukemaan nollaus-käskyä ulos lähtevästä signaalista. Näin vältetään kirjoittamasta alkuperäisen muistipaikan päälle.

Hardware ongelma muodostui hetkeksi kotiutuskytkimen väärä napaisuus, joka aiheutti, että moottori lähti kokoonpanoa käynnistäessään etsimään kotia väärästä suunnasta. Näin ollen moottori olisi voinut rikkoutua, koska se jäisi jatkuvasti pyörimään. Ongelma pystyttiin ratkaisemaan ohjelmakoodista muuttamalla kuinka home kytkin siinä tulkitaan. Toinen harkittu vaihtoehto oli vaihtaa kotikytkiminä käytetyt Omron EE-SX 871P kytkimet päinvastaisesti toimivaan versioon.

Asennettaessa laitteistoa putkeen, suurimmaksi haasteeksi muodostui Neuvostoliittolaista tekoa olevan putkenosan epäsymmetrisyys. Näin ollen molempien slittiin kuuluviin askelmoottoripäiden asentoa ei voitu määrittää, ennen putkeen asettamista, vaan se piti tehdä paikan päällä mittaamalla. Tästä johtuen asennukseen tuli mahdollisesti hieman virhettä, mutta ei liikaa. Slit pystyttiin määrittämään putken keskikohtaan noin viiden millimetrin tarkkuudella.

6 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli automatisoida ja dokumentoida Helsingin yliopiston hiukkaskiihdyttimen suihkukollimaattorit. Näissä asioissa onnistuttiin. Päähuomio työssä kiinnittyi askelmootoreihin ja niiden ohjaukseen liittyvään PLC-ohjelmaan. Askelmootorit, RSlogix5000-ohjelma ja ensisijaisesti käytetty ohjelmointikieli *structured text*, josta myöhemmin tehtiin FBD-ohjelmointikieleen sopivat add-on -lisäosat, olivat työn tekijälle entuudestaan täysin tuntemattomia. Työssä tehdyt sähkö- ja muut kuvat on tehty AutoCADilla.

Työtä tehdessä askelmootorin toimintaperiaate ja RSlogix5000 tulivat tutuiksi. Työn suurimmat haasteet tulivat vastaan ohjelman kirjoituksessa, jossa ilmeni paikoin pieniä, mutta hankalasti ratkaistavia ongelmia. Työssä tehtiin jokaisen slitin ohjausta varten RSlogix5000-ohjelma, joka yhdisti kaksi yksittäistä askelmoottoria yhdeksi isommaksi kokonaisuudeksi nimeltä slit. Slittiä varten rakennettiin myös käyttöliittymään liitettävät XControl-näyttömoduulit. Järjestelmän toiminta todettiin testaamalla sitä useaan kertaan testiympäristössä, sekä RSlogixilla ohjattuna, että Labviewillä. Lopulta slitit asennettiin kiihdyttimeen niille varatuille ja jo aikaisemmin johdotetuille paikoille. Asennuksen jälkeen toiminta vielä varmistettiin ennen virallista käyttöönottoa.

Työnaikana ohjelman ja slitin rakennetta muutettiin useampaan kertaan. Alun perin ei ollut täysin selvä, minkälainen kokonaisuus laitteesta tulisi ja se kehittyi työn edetessä.

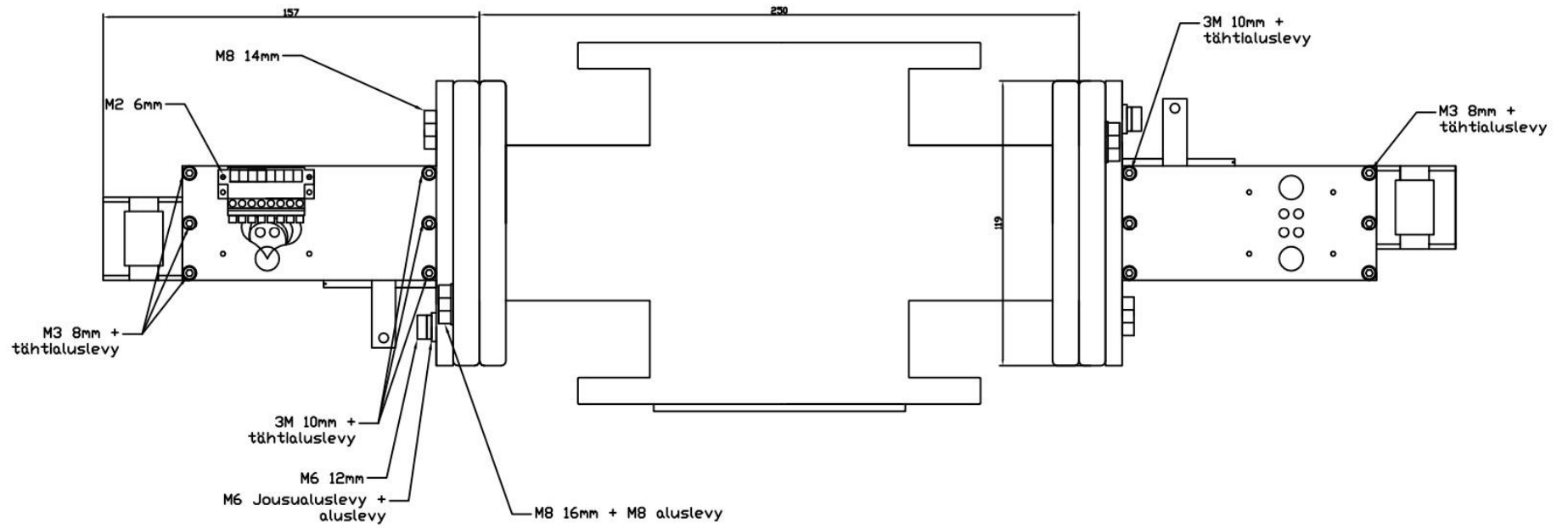
Lähteet

- 1 Opetushallitus Laboratorioanalyysit. Verkkodokumentti http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat_5-5_massaspektrometria.html Luettu 12.3.2014
- 2 Young & Freedman: "27.5", *University Physics with Modern Physics*, 11. painos, s. 1034. Pearson, 2004. ISBN 0-321-20469-7.
- 3 OPC Foundation. 2011. What is OPC? Verkkodokumentti http://www.opcfoundation.org/Default.aspx/01_about/01_what_is.asp?MID=AboutOPC Luettu 12.3.2014
- 4 EngineersGarage. Nikhil Agnihotri. Stepper motors or step motors. Verkkodokumentti. <http://www.engineersgarage.com/articles/stepper-motors> Luettu 12.3.2014
- 5 EngineersGarage. Nikhil Agnihotri. Stepper motors or step motors. Kestomagneettiaskelmoottori. Verkkodokumentti. <http://www.engineersgarage.com/articles/stepper-motors?page=2> Luettu 14.3.2014
- 6 Omega Corp. Askelmoottorin määritysohjeet. Verkkodokumentti. http://www.omega.com/prodinfo/stepper_motors.html Luettu 12.3.2014
- 7 CircuitSpecialists. Askelmoottorin yleistiedot. Verkkodokumentti. <http://www.circuitspecialists.com/stepper-motor> Luettu 23.3.2014
- 8 HaydonKerk solutions. Askelmoottorin tiedot. Verkkodokumentti. <http://www.haydonkerk.com/LinearActuatorProducts/StepperMotorLinearActuators/LinearActuatorsHybrid/Size14LinearActuator/tabid/77/Default.aspx> Luettu 24.3.2014
- 9 EngineersGarage. Nikhil Agnihotri. Stepper motors or step motors. Reluktanssiaskelmoottori. Verkkodokumentti. <http://www.engineersgarage.com/articles/stepper-motors?page=3> Luettu 25.3.2014
- 10 EngineersGarage. Nikhil Agnihotri. Stepper motors or step motors. Hybridiaskelmoottori. Verkkodokumentti. <http://www.engineersgarage.com/articles/stepper-motors?page=4> Luettu 25.3.2014

- 11 Wexon. Haydonkerk askelmoottorien toimittaja suomessa. Verkkodokumentti. http://wexon.fi/sites/default/files/pdf/7b_mekatroniikka_2013-14_s306-360_23.10.2013.pdf Luettu 4.4.2014
- 12 Laboratorioraportti hiukkaskiihdyttimeltä. Pasi Siiki. Helsinki 2012.
- 13 Powerpoint esitys hiukkaskiihdyttimen SCADA liitännöistä. Pasi Siiki. Helsinki 2012
- 14 National Instruments. <http://zone.ni.com/devzone/cda/ph/p/id/28> Noudettu 4.4.2014
- 15 Helsingin yliopiston kiihdytinlaboratorio -esittely opas. 1992.
- 16 Labview wiki. Ram Kudukoli. XControl. Verkkodokumentti. <http://labviewwiki.org/XControl> Luettu 22.4.2014
- 17 National Instruments. 30.3.2012. Verkkodokumentti. Creating New Front Panel Objects with LabVIEW XControls. <http://www.ni.com/white-paper/3198/en/> Luettu 22.4.2014
- 18 Kuva. Lineaariaskelmoottorista. http://www.omega.com/prodinfo/Stepper_linear.html Luettu 22.4.2014
- 19 AMCI. AMCI 3401 stepper motor controller. Verkkodokumentti. <http://www.amci.com/stepper-motor-control/point-io-stepper-motor-controller.asp> Luettu 22.4.2014
- 20 Variable reluctance stepper motor. www.faculty.umassd.edu/xtras/cats/.../3625.ppt Verkkodokumentti. Luettu 22.4.2014.

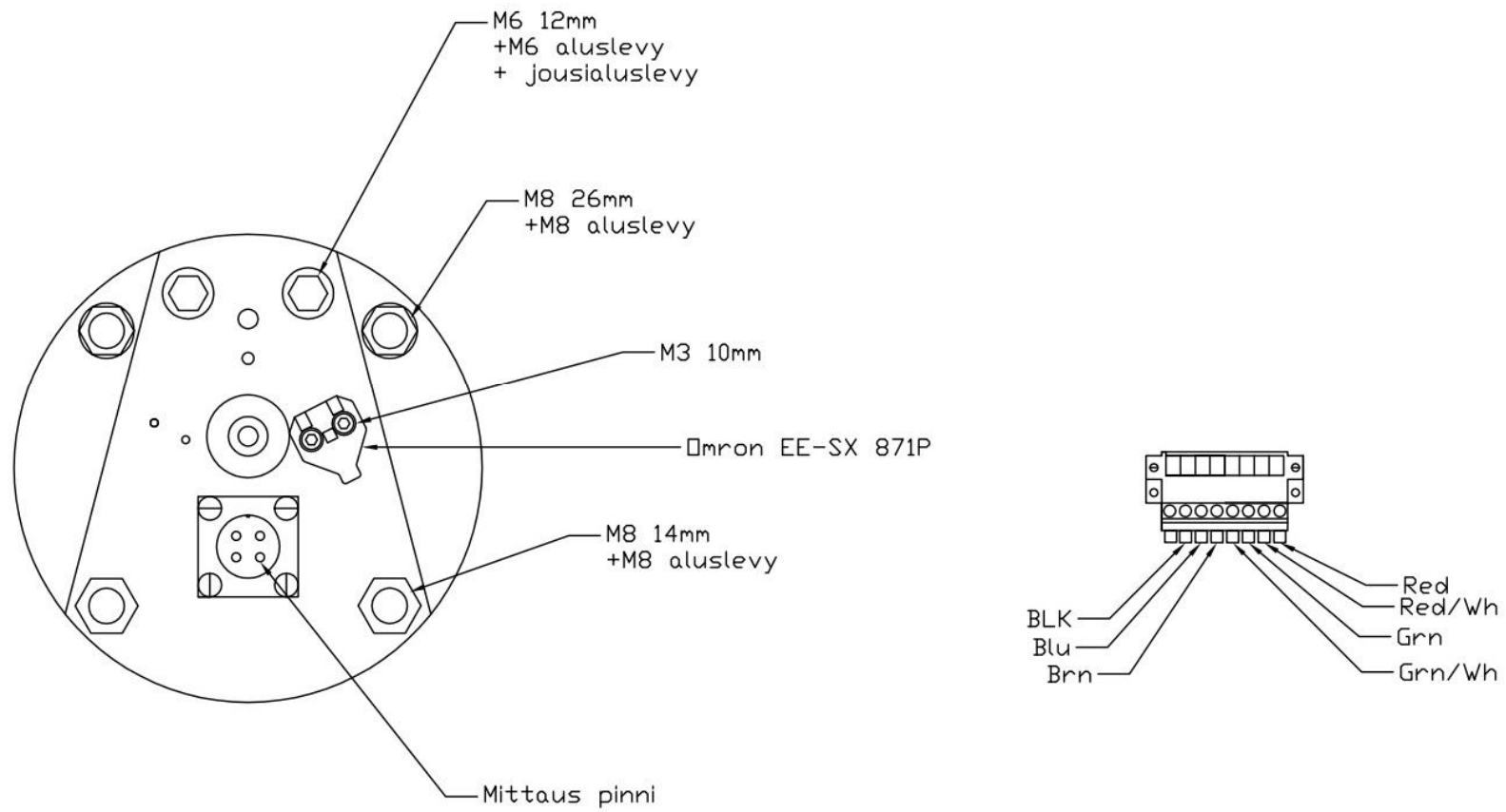
Slitin yläkuva

Top

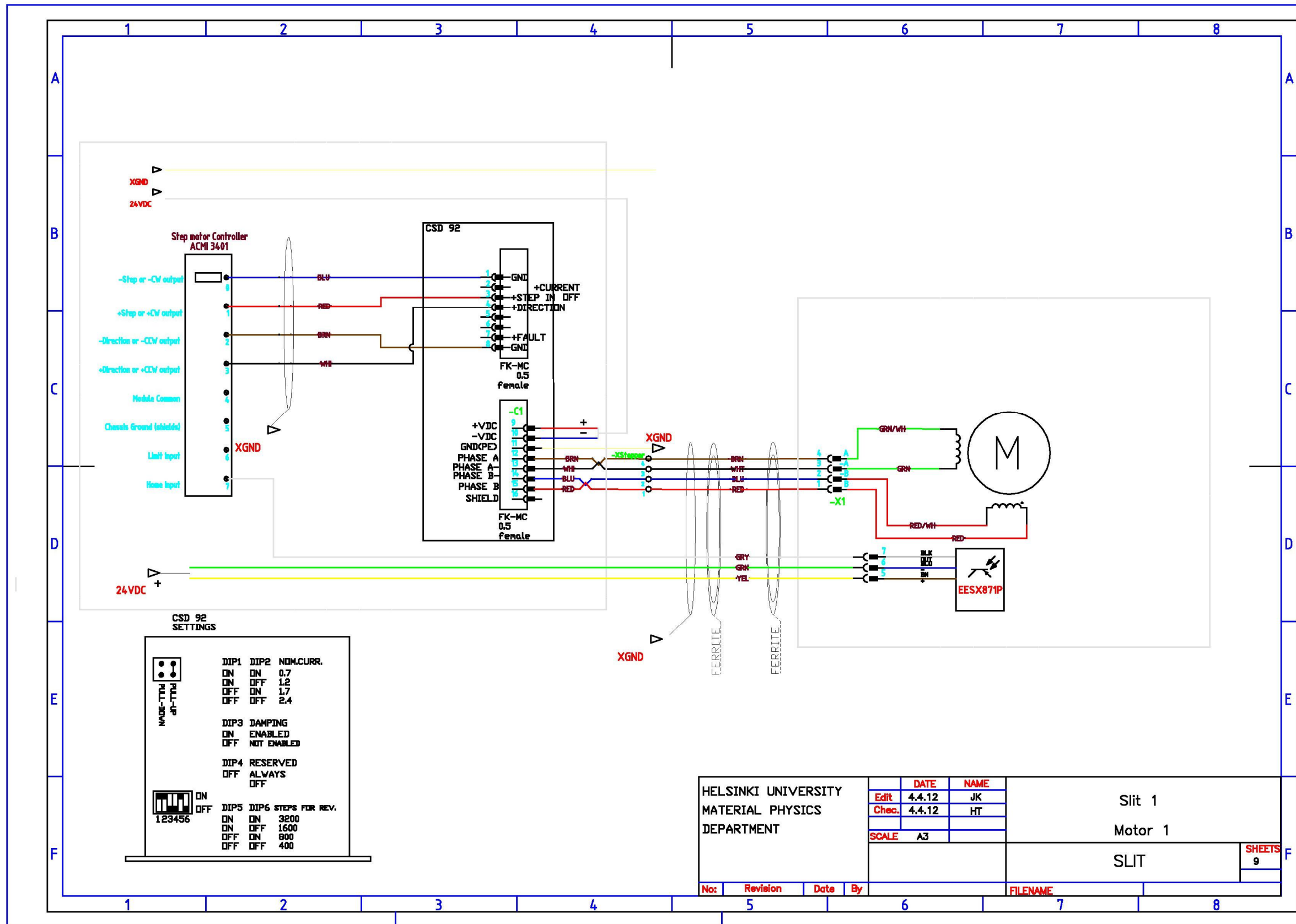


1 (1)

Liittimet ja päätyliitännät

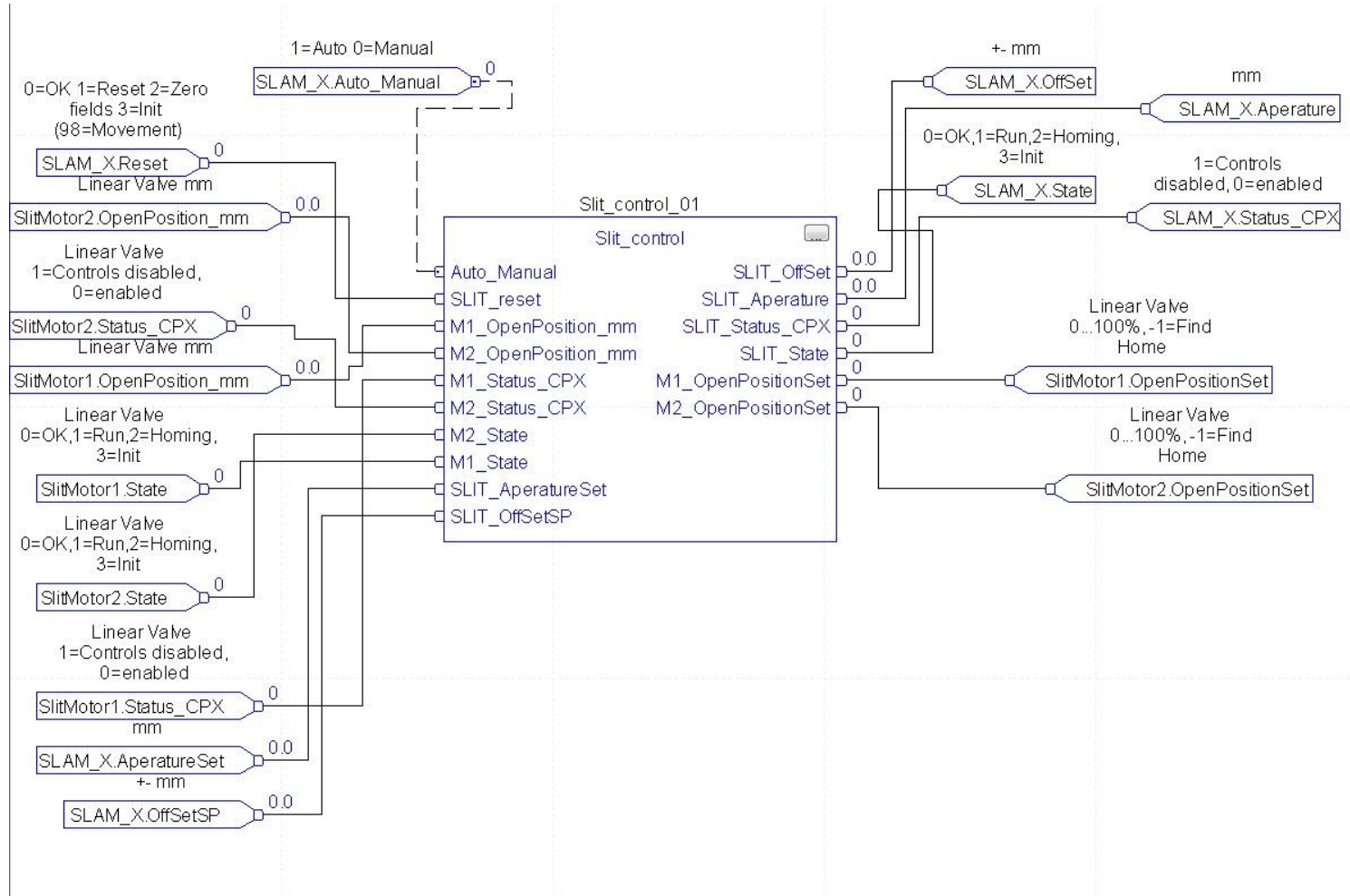


Sähkökuvat

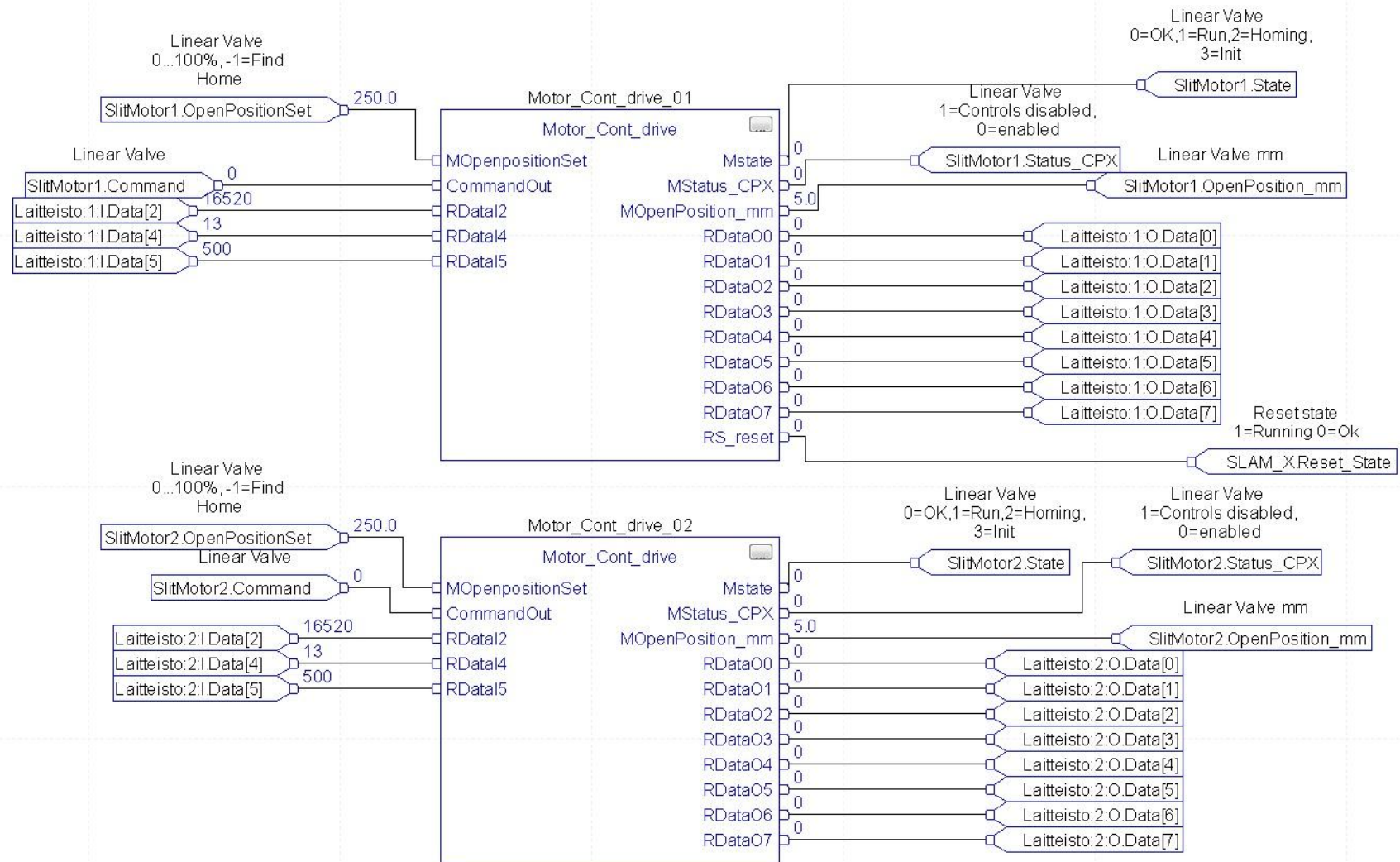


HELSINKI UNIVERSITY MATERIAL PHYSICS DEPARTMENT	DATE	NAME	Slit 1 Motor 1 SLIT	SHEETS 9
	Edit	4.4.12 JK		
	Chec.	4.4.12 HT		
SCALE	A3			
No:	Revision	Date	By	FILENAME

Add-on Slit-ohjelma



Add-on MotorContDrive-ohjelmat molemmille moottoreille.



Slit XControllin taustapaneeli

