

LINEAARIMOOTTOREILLA VARUSTETUN  
PORTAALIROBOTIN SUUNNITTELU JA  
TOTEUTUS

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Mekatroniikan suuntautumisvaihtoehto  
Opinnäytetyö  
Kevät 2010  
Antti Keskitalo

Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka

Antti Keskitalo:

Lineaarimoottoreilla varustetun portaali-  
robotin suunnittelu ja toteutus  
Esys Oy

Mekatroniikan opinnäytetyö, 42 sivua

Kevät 2010

## TIIVISTELMÄ

---

Tämä tutkintotyö käsittelee Lahden ammattikorkeakoulun ja Esys Oy:n yhteistyöprojektina toteutetun portaalirobotin suunnittelu- ja toteutusprosessista. Tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa nopea portaalirobotti jolla voidaan siirtää kappaleita tuotannosta varastoon ja edelleen varastosta pakkaamoon. Kone tulisi palvelemaan koulutuslaitteena logiikkaohjelmointia varten ja mahdollisesti sitä voidaan hyödyntää osana jotain suurempaa kokonaisuutta.

Työssä käydään läpi mekatronisen laitteen suunnitteluprosessi alusta loppuun. Työ aloitettiin laitteen esisuunnittelulla josta edettiin varsinaisen suunnittelun ja toteutuksen kautta testaukseen. Koneen mekaaninen suunnittelu tehtiin SolidWorks parametrisellä 3D-mekaniikkasuunnitteluohjelmalla, sähkösuunnittelu Kyndata CADs-ohjelmistolla sekä automaatio suunnittelu Siemens Step7-ohjelmistolla. Valmistunutta laitetta testattiin koulun laboratoriossa.

Avainsanat: portaalirobotti, mekaniikkasuunnittelu, automaatio, suunnittelu

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

Antti Keskitalo:

Design and implementation of a fast Gantry robot equipped with linearmotors  
Esys Oy

Bachelor's Thesis in Mechatronics, 42 pages

Spring 2010

## ABSTRACT

---

This Bachelor's thesis deals with design- and manufacturing process of a Gantry Robot implemented as a cooperation project between Lahti University of Applied Sciences and Esys Oy. The objective was to design and manufacture a fast gantry robot that can be used to move rectangular pieces from production to warehouse and then further from warehouse to packaging. The machine would be used to service as a trainer to program programmable controllers and maybe to serve as part of some bigger manufacturing system.

In this thesis the design process of a mechatronical appliance is followed through from the beginning to the end. Work began with preliminary design which was followed by actual design and then through manufacturing to testing. Mechanical design was done with SolidWorks 3D design software, electrical design with Kyndata CADs software and automation design with Siemens Step7 software. The manufactured gantry robot was tested at University's mechanical design laboratory.

Keywords: gantry robot, mechanical design, automation, designing

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoite	1
1.2	Yritysesittelyt	1
2	ESISUUNNITTELU	2
2.1	Rakenne	2
2.2	Mekaniikka	6
2.2.1	Hammashihnakäytöt	7
2.2.2	Kuularuuvit	8
2.2.3	Lineaariyksiköt	10
2.3.1	Oikosulkumoottori	11
2.3.2	Servomoottori	12
2.3.3	Lineariservomoottori	13
2.3.4	Sähkökäyttö	15
2.3.4	Takaisinkytkennän anturointi	16
3	SUUNNITTELU	17
3.1	Solidworks	18
3.2.1	Alumiiniprofiilijärjestelmä	22
3.2.2	Lineaarijohteet	26
3.2.3	Lineariservot	28
4	SÄHKÖSUUNNITTELU	31
4.1	Servovahvistimien ohjelmointi	34
4.2	Ohjelmoitavan logiikan ohjelmointi	36
5	YHTEENVETO	40
	Lähteet	41

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoite

Tutkintotyön tarkoitus on esitellä portaalirobotin suunnitteluprosessia, siinä käytettyjä teknisiä ratkaisuja sekä dokumentointia. Portaalirobotin toteutus suoritettiin oppilasprojektina Esys Oy:lle ja Lahden ammattikorkeakoulua projektissa edusti lehtori Teijo Lahtinen, Esys Oy:tä toimitusjohtaja Pasi Mäkinen sekä neljä opiskelijaa Lahden ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan mekatroniikan MEK04 vuosikurssilta.

## 1.2 Yritysesittelyt

Esys Oy (aiemmin Electrosys Oy) on Hollolassa toimiva noin 30 hengen automaatiotalo joka tarjoaa teollisuuteen automaatiosuunnittelu, -asennus, sähkösuunnittelu sekä keskusvalmistuspalveluita. Yritys on perustettu vuonna 2003 ja sen liikevaihto on noin 10 miljoonaa euroa. Yrityksen päätoimialoja ovat puu- ja elintarviketeollisuus.

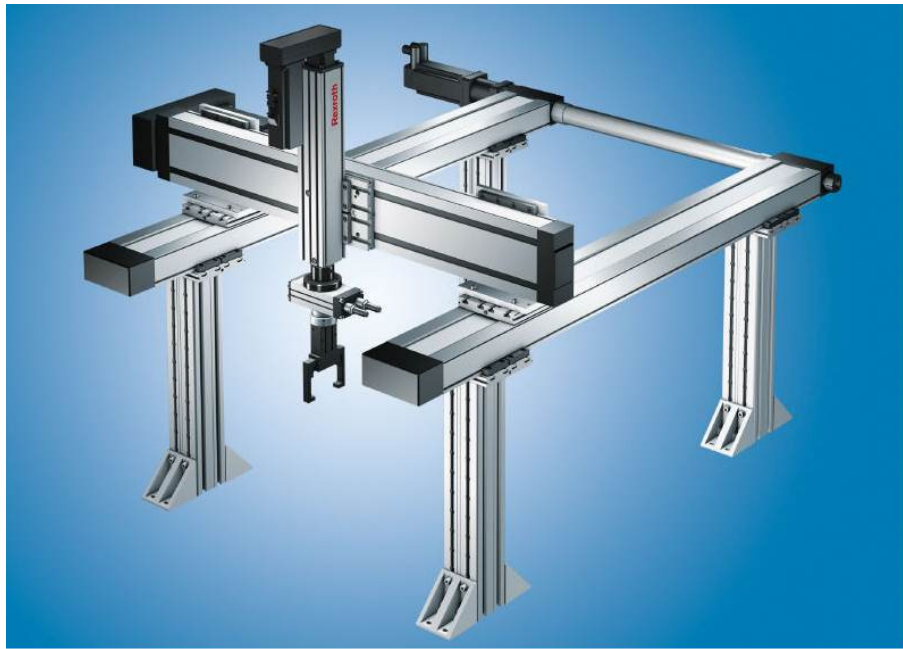
## 2 ESISUUNNITTELU

Portaalirobotin suunnittelu aloitettiin pitämällä aloituspalaveri jossa määritettiin laitteelle vaatimukset joiden rajoissa toimittaisiin. Vaatimuksiksi asetettiin suora-kaiteen muotoisten kappaleiden siirtäminen, koneen kooksi enimmillään 1x1 metriä, käytettävyys toimistoympäristössä joka edellyttää yksivaiheista sähkösyöttöä sekä koneen liikkeiden nopeudeksi 1m/s.

Näiden määritysten pohjalta lähdettiin tekemään esisuunnittelua ja miettimään erilaisia vaihtoehtoja koneen mekaanisesta rakenteesta. Myöhemmin pidimme toisen palaverin jossa katsottiin esisuunnittelun tuloksia ja lähdettiin valitsemaan lopullista suuntaa koneen mekaniikka- ja automaatio suunnittelulle. Toisessa palaverissa oli paikalla myös Pekka Mertanen SKS Automaatio Oy:stä joka toimi yhteistyössä projektissa ja projektiin saatiinkin tukea komponenttien valinnassa SKS Group konserniin kuuluvasta SKS Mekaniikka Oy:stä.

### 2.1 Rakenne

Esisuunnittelu aloitettiin ottamalla selvää erilaisista vastaavista kaupallisista ratkaisuista joita on saatavilla ja lähtökohdaksi otettiin perusmallinen portaalirobotti, jollainen on kuvattu kuviossa 1. Tämän pohjalta alettiin suunnitella miten tätä konseptia voidaan hyödyntää tässä projektissa.

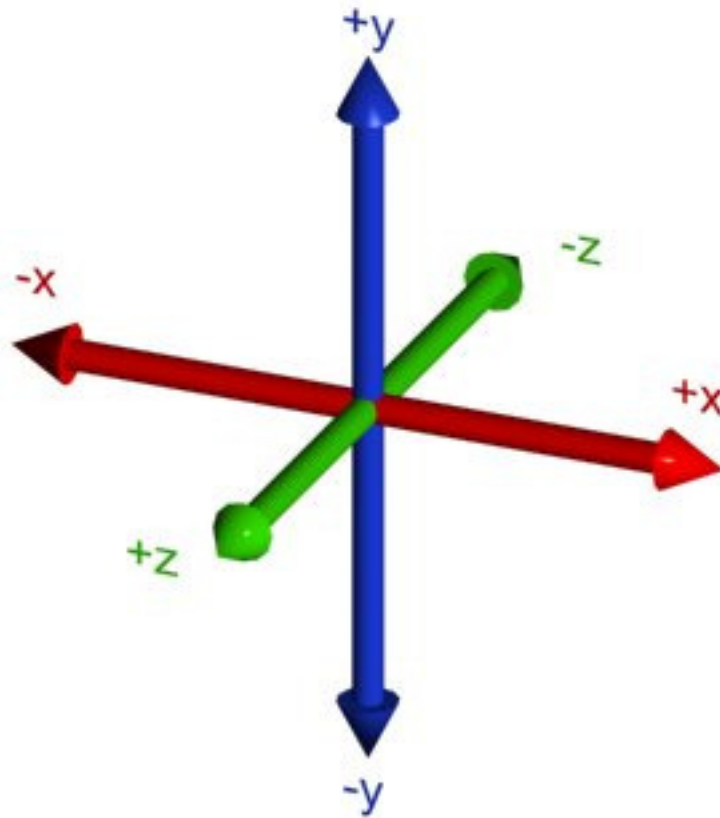


KUVIO 1. Portaalirobotti (Bosch Rexroth 2009)

Portaalirobotti on kaikkein perinteisin ja vanhin robottityyppi, vaikka se ei ehkä vastaakaan suuren yleisön mielikuvaa siitä miltä robotin pitäisi näyttää. Portaali sana tulee latinan sanasta portalis, joka tarkoittaa porttia. Tämä johtuu robotin ulkonäöstä, jonka muistuttaa porttia (tai jalkapallomaalia), koska robotin rungon muodostaa kaksi pystypalkkia ja niiden välissä oleva vaakapalkki.

Tämän rungon varassa portaalirobotti liikkuu suorakulmaisesti tarpeen mukaan kahdessa tai kolmessa suunnassa (X, Y ja Z). Tarpeen mukaan tarttujassa/työkalussa voi olla muitakin liikkeitä tai niveliä, mutta portaalirobotti perustuu aina karteesisen eli suorakulmaisen koordinaatiston kolmeen perussuuntaan olevaan liikkeeseen, joilla voidaan toteuttaa kaikki tarvittavat liikkeet.

(Aukati 2009)

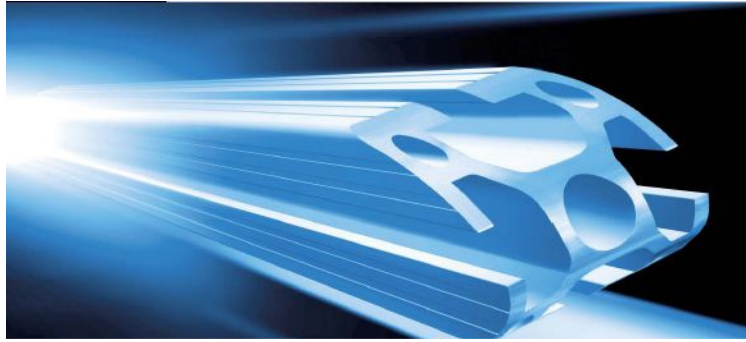


KUVIO 2 Kolmiulotteinen karteellinen koordinaatisto

Tämän ratkaisun hyviä puolia ovat yksinkertainen, vankka ja luotettava rakenne sekä tarkan paikoituksen helppous, yksinkertainen ohjelmoitavuus ja nopeus.

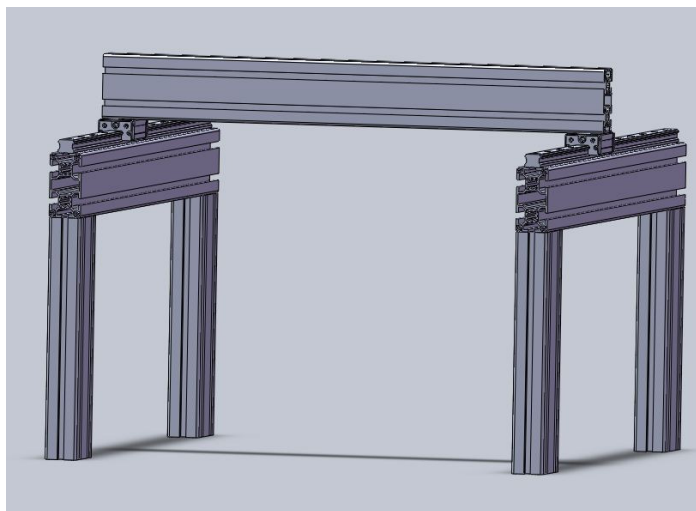
Laitteen esisuunnittelu aloitettiin rungon materiaalin valinnalla. Valintaprosessin tuloksena materiaalina päädyttiin käyttämään alumiiniprofiileja jotka ovat suosittu valinta mekatronisissa laitteissa. Runkoa lähdettiin suunnittelemaan SKS Mekaanikan edustaman Maytec alumiiniprofiilijärjestelmän komponenteista sen monipuolisuuden ja dynaamisyyden ansiosta.





KUVIO 3. Maytec Alumiiniprofiilijärjestelmä (Maytec 2009)

Kun rungon materiaali oli valittu, alettiin mallintaa rungon ensimmäistä versiota SolidWorks parametrisellä 3D-suunnitteluohjelmalla. Ensimmäinen versio oli perustyyppinen portaalirobotti jossa on kaksi portti-rakennetta joiden päällä on poikittainen akseli. Tässä vaiheessa ei vielä lähdetty tekemään täydellistä mallinusta vaan pelkästään esisuunnittelullinen versio josta voidaan tehdä päätelmiä suunnitelman toimivuudesta ja parantaa sitä. Kuviossa 4 on esitetty esisuunnitteluvaiheessa mallinnettu hahmotelma laitteen runkorakenteesta. Tämän pohjalta lähdettiin miettimään erilaisia mekaanisia ja sähköisiä voimansiirtovaihtoehtoja joilla laitteen akseleita saadaan liikuteltua.



KUVIO 4. Esisuunnittelun tuloksena mallinnettu laitteen runko

## 2.2 Mekaniikka

Mekaanisten rakenteiden valinta aloitettiin laakeroinnista jonka jälkeen vertailtiin erilaisia voimansiirtovaihtoehtoja. Portaalirobotin tehdessä lineaarisia liikkeitä oli helppo luotettavuuden kannalta päätyä käyttämään liikkeiden laakeroinneissa lineaarijohteita. Lineaarijohteiksi valittiin SKS Mekaniikan edustaman THK:n lineaarijohteet.

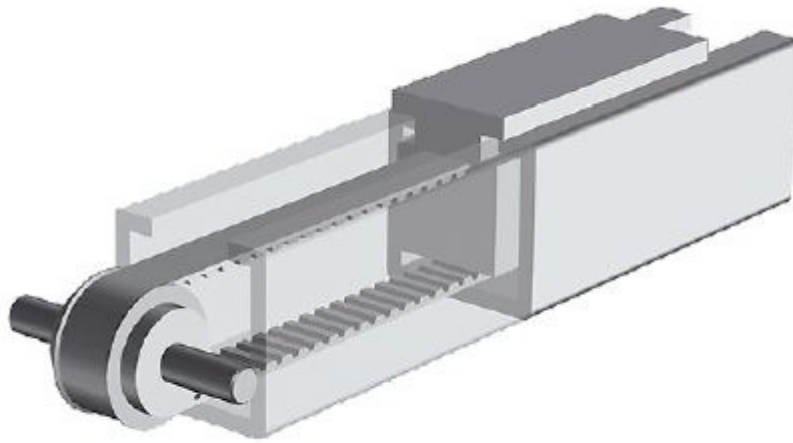


KUVIO 5. THK:n lineaarijohde valikoimaa (SKS Mekaniikka 2009)

Laakeroinnin jälkeen aloitettiin mekaanisen voimansiirron vaihtoehtojen vertailu. Rungon materiaalin ja laakerointien valinnasta poiketen voimansiirtoon löytyi useita toteutuskelpoisia vaihtoehtoja joita vertailtiin keskenään. Vaihtoehtojen vertailussa otettiin myös huomioon niiden soveltuvuus portaalirobotin lineaariliikkeille. Aluksi tutkittiin voimansiirron perusvaihtoehtoja kuten hammashihnakäyttö, kuula- ja liikeruuvit ja erilaiset lineaariyksiköt. Tavoitteena oli löytää voimansiirtoratkaisu joka olisi mahdollisimman kevytrakenteinen, kompakti ja tarkka.

### 2.2.1 Hammashihnakäytöt

Hammashihnakäytöt ovat perinteinen voimansiirtotapa lineaariselle liikkeelle. Hammashihna käyttö rakentuu yleensä hammashihnasta ja kahdesta hammaspyörästä. Perusajatuksena on pyörivän liikkeen muuttaminen lineaariliikkeeksi ja hammashihnakäyttö on edullisin vaihtoehto lineaariliikkeen toteuttamiseksi.

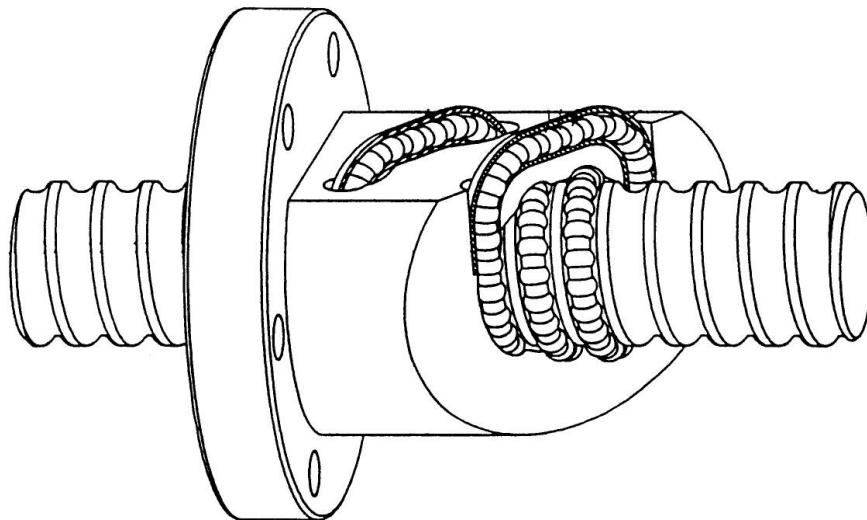


KUVIO 6. Hammashihnakäyttö (Movetec 2009)

### 2.2.2 Kuularuuvit

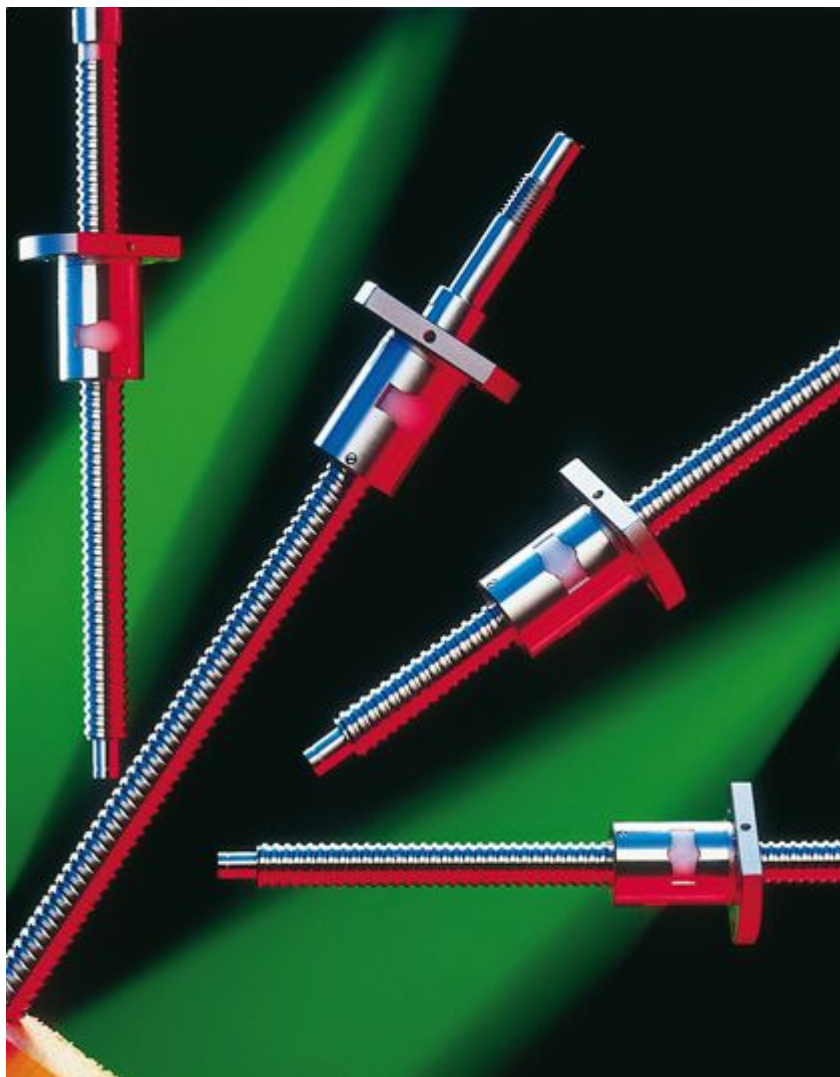
Kuularuuvi on mekaaninen laite jolla muutetaan pienellä kitkalla pyörivä liike lineaariliikkeeksi. Kuularuuvi koostuu kiertetytystä varresta jossa on vierintäura kuulalaakereille ja kuulamutterista jonka sisällä on vastaavasti vierintäura kuulalaakeriketjulle. Kuulalaakeriketju jakaa siirrettävän voiman usealle kuulalaakerille, jolloin yksittäistä kuulalaakeria kohden kohdistuu varsin pieni voima. Kuulalaakeriketju voi olla myös esijännitetty jolloin siinä ei ole välystä ja tämä ominaisuus onkin oleellinen kun kuularuuveja käytetään suurta tarkkuutta vaativissa sovelluksissa. Yhdessä nämä muodostavat erittäin suuren mekaanisen hyötysuhteen omaavan ruuvin joka kestää suuria työntövoimia sisäisen kitkan juurikaan kasvamatta. Kuviossa 7 on esitetty poikkileikkaus kuularuuvin rakenteesta.

(Danaher 2009)



KUVIO 7. Kuularuuvin poikkileikkaus (Danaher 2009)

Kuularuuveja käytetään työstökoneissa, roboteissa sekä erilaisissa mekatronisissa laitteissa siirtämään voimaa. Kuularuuvien hyvinä puolina ovat sen mekaaninen tarkkuus ja sen toimivuus suurella nopeudella mutta haittapuolena on kuulamutterin raskas rakenne johtuen sen sisällä olevasta kuulalaakeriketjusta. Kuten hammashihnakäytöt – myös kuularuuvit vaativat voimalähteeseen sähkömoottorin. Kuviossa 8 on esitelty Item Profiili Oy:n valikoimaa kuularuuveista.



KUVIO 8. Kuularuuvivalikoimaa (Item Profiili 2009)

### 2.2.3 Lineaariyksiköt

Lineaariyksiköt koostuvat yleensä lineaarijohteesta ja kuularuuvi- tai hammashihnakäytöstä, jonka etuna on kompakti yksikkö joka on tukeva ja mekaanisesti tarkka. Lisäksi tarvitaan voimanlähteeksi sähkömoottori, mutta on olemassa myös lineaariyksiköitä joihin kuuluu myös jonkinlainen sähkökäyttö. Lineaariyksiköiden etuna on kompakti koko ja se että tarvittavat komponentit ovat samassa pake-tissa joten ne ovat hyvin suojattu likaa vastaan.



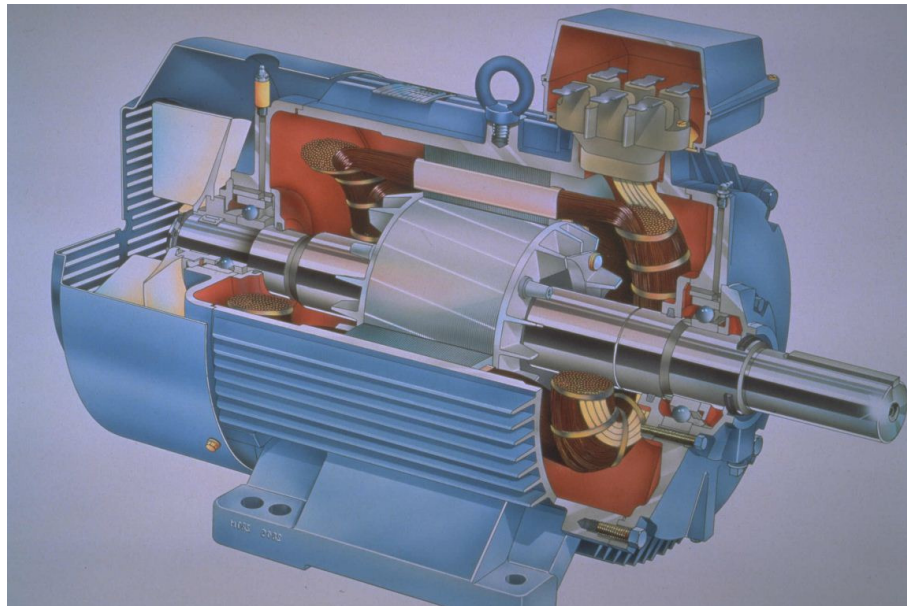
KUVIO 9. Tollo-merkkisiä lineaariyksiköitä (Tollo 2009)

## 2.3 Sähkömoottorit

Koneen akselien liikuttamiseen tarvittavien voimanlähteiden vaihtoehdot rajattiin oikosulkumoottoriin ja servomoottoriin. Erikoisemmat voimanlähteet kuten askelmoottori jätettiin pois vaihtoehdoista niiden erikoisuuden takia ja valinta tehtiin perinteisten vaihtoehtojen kesken.

### 2.3.1 Oikosulkumoottori

Oikosulkumoottori on yleisin teollisuudessa käytetty sähkömoottori ja se otettiin ensisijaiseksi vaihtoehdoksi suunniteltaessa koneessa käytettäviä voimanlähteitä. Oikosulkumoottori on 1800-luvun lopussa kehitetty vaihtosähköllä toimiva sähkömoottori. Oikosulkumoottoria voidaan käyttää suoraan verkkokäyttöisenä sähköverkosta tai taajuusmuuttajalla jolla voidaan säätää moottorille syötettävän vaihtosähkövirran taajuutta ja näin muuttaa moottori pyörimisnopeutta. Rakenteellisesti oikosulkumoottori koostuu pyörivästä roottorista sekä staattorista jonka sisällä roottori pyörii. Staattorissa on uriin jaettu käämitys, johon vaihtosähkö muodostaa pyörivän magneettikentän joka indusoi roottorin oikosuljettuun häkki-käämiin sähkövirran. Tämä aiheuttaa roottorin magnetisoitumisen ja muodostaa magneettikentän joka pyrkii vastustamaan staattorin pyörivää magneettikenttää. Näin syntyvä magneettikenttä saa aikaan roottorin vääntömomentin joka pyörittää moottorin akselia.



KUVIO 10. Oikosulkumoottori (IEEE 2009)

### 2.3.2 Servomoottori

Servomoottoreita on olemassa vaihto- ja tasasähkökäyttöisinä joista vaihtoehtona oli vaihtosähkökäyttöinen servomoottori ja tarkemmin kestopagnetisoitu servomoottori. Se eroaa oikosulkumoottorista siten että servomoottorissa roottorissa on kestopagnetit oikosulkumoottorissa olevien häkkikämmitysten sijaan ja roottorilla on pienempi hitausmassa kuin oikosulkumoottorilla mikä mahdollistaa suuremmat kiihdytykset ja jarrutukset. Servomoottoria ohjataan servovahvistimella jonka ohjetta moottori seuraa. Tavallisimmin servovahvistin antaa moottorille paikka-, nopeus- tai momenttiohjeen. Kestomagneettien ansiosta servomoottorilla saadaan täysi vääntömomentti myös nolllanopeudella sekä ennen kaikkea tasaisempi vääntömomentti kuin oikosulkumoottorilla. Servomoottori tarvitsee myös aina takaisinkytkennän moottorin paikkatiedosta kun oikosulkumoottoria voidaan pyörittää ilman minkäänlaista takaisinkytkentää. Servomoottorin etuna oikosulkumoottoriin nähden ovat sen parempi tarkkuus, mahdollisuus käyttää moottoria suuremmalla nopeudella sekä moottorin parempi dynamiikka.





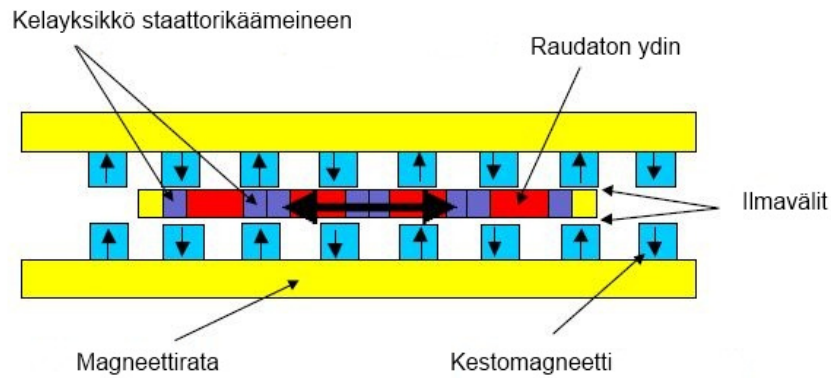
KUVIO 11. Servomoottori (SKS 2009)

### 2.3.3 Lineariservomoottori

Edellä mainittujen oikosulku- ja servomoottorin lisäksi koneen suunnittelua koskevassa palaverissa SKS Oy:n Pekka Mertanen ehdotti käytettäväksi lineaariservomoottoreita, jotka ovat sähkömoottoreiden nykyaikaisinta tekniikkaa ja joilla saataisiin vähennettyä koneen liikkuvien osien määrä minimiinsä ja pidettyä kone mahdollisimman yksinkertaisena. Lineariservomoottorit ovat periaatteelta hyvin samanlaisia kuin perinteiset servomoottorit, mutta niistä ei saada lopputuloksena pyörivää liikettä vaan lineaariliikettä. Lineariservomoottori rakentuu magneettiradoista joissa on kestopagneetteja ja näiden sisällä liikkuu kelayksikkö jossa on staattorikäämit. Staattorikäämeihin syötetty vaihtosähkövirta magnetisoi ne ja yhdessä magneettiradoissa olevien kestopagneettien napaisuuksien kanssa aiheuttaa kelayksikön liikkumisen siten että se liikkuu kohtaan jossa sähkö- ja kestopagneetit vetävät toisia puoleensa. Tarkemmin käytettäväksi ehdotettiin Tecnotion-merkkisiä lineaarimoottoreita ja näiden valikoimasta rautaytimettämiä mootto-

reita. Nämä eroavat rautaytimisistä siinä että niillä ei ole normaalia vetovoimaa magneetteja kohtaan, joka taas tekee niistä kevytrakenteisia ja ne pystyvät suuriin nopeudenmuutoksiin.

(Tecnotion 2009)



KUVIO 12. Lineariservomootorin periaatekuva (SKS 2009)

Rakenteensa ansiosta lineariservomootorissa ei ole mekaanista kosketusta vaan kelayksikön ja magneettiradan välissä on ilmaväli, jolloin moottorissa ei periaatteessa tapahdu minkäänlaista mekaanista kulumista. Tämä mahdollistaa suuren tarkkuuden ja reaktioajan, tasaisen ja kontrolloidun liikkeen sekä suuret nopeudet ja kiihtyvyydet.



KUVIO 13. Tecnotion lineariservomoottori (Tecnotion 2009)

Yksinkertaisen mekaanisen rakenteensa sekä nykyaikaisuutensa ansiosta koneen voimanlähteiksi valittiin lineaariservomoottorit Tecnotionin UC-sarjan valikoi-  
masta UC 3-kelaysiköt ja koneen akseleiden pituuksien mukaisesti sopiva määrä  
magneettiradan pätkiä.

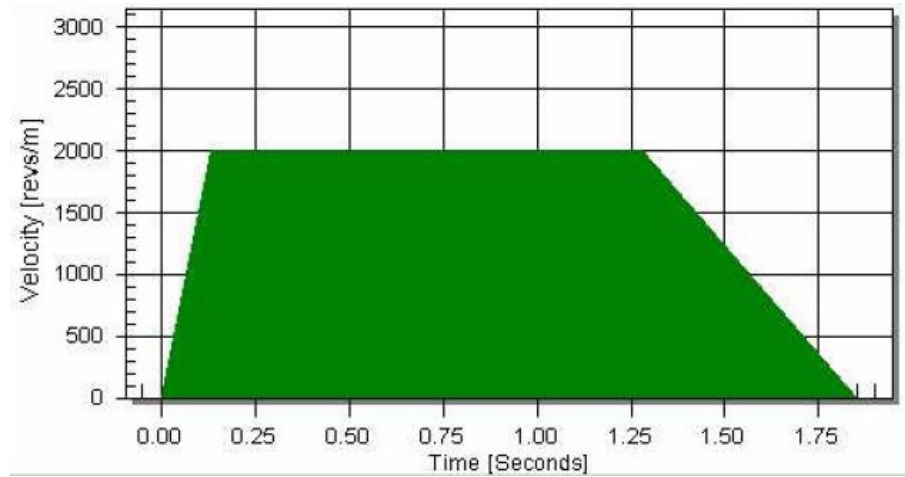
#### 2.3.4 Sähkökäyttö

Kun voimanlähde oli valittu, oli jäljellä valita myös servovahvistin lineaariservo-  
moottorille. Samassa palaverissa jossa SKS:n Pekka Mertanen suositteli käytettä-  
väksi lineaariservomoottoreita, oli hänellä myös ehdotuksena lineaarimoottorin  
kanssa yhteensopiva servokäyttö – Control Techniques Digitax ST EZ Motion. Se  
on Control Techniquesin uusi kompaktilokoinen servo-ohjain joka soveltuu por-  
taalirobotin tapaiseen koneeseen mainiosti kokonsa, ominaisuuksiensa ja laajen-  
nettavuutensa ansiosta. EZ Motion on yksi neljästä Digitax ST – mallista ja siinä  
on helppokäyttöinen ohjelmointiympäristö jolla liikkeenohjaus on helposti toteu-  
tettavissa.

(Control Techniques 2009)

Servovahvistin on sähköinen erikoisvahvistin joka on suunniteltu servomoottorien  
ohjaukseen. Se ohjaa moottoria ohjearvolla ja säätää sen poikkeamaa ohjearvos-  
ta erosuureen perusteella. Erosuure on servokäytössä servomoottorin paikkatiedon  
takaisinkytkentä jota verrataan servovahvistimen antamaan paikkatiedon ohjear-  
voon. Tässä koneessa takaisinkytkentään käytettiin pulssianturia jolla saadaan  
suoritettua moottorin nopeus- ja paikkatiedon anturointi. Servovahvistin vastaan-  
ottaa ohjausjärjestelmältä nopeusohjeen lisäksi paikkaohjeen, ja vertaa sitä moot-  
torin paikkatietoon. Servovahvistimen parametreihin asetettujen kiihdytysaikojen  
perusteella servovahvistin muodostaa nopeusrampin jonka mukaan sen ohjaa ser-  
vomoottoria paikkaohjeen mukaiseen paikkaan.

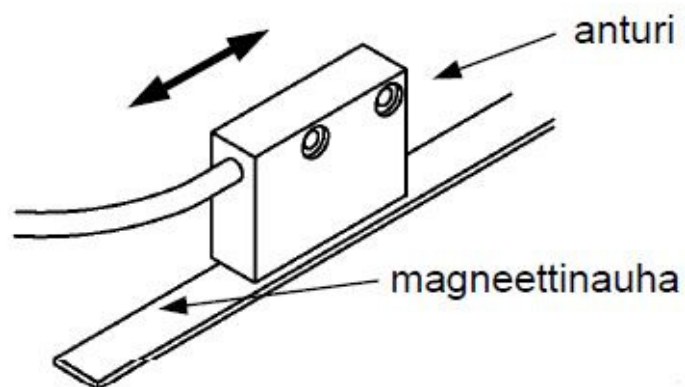
(Wikipedia 2009)



KUVIO 14. Nopeusramppi

#### 2.3.4 Takaisinkytkennän anturointi

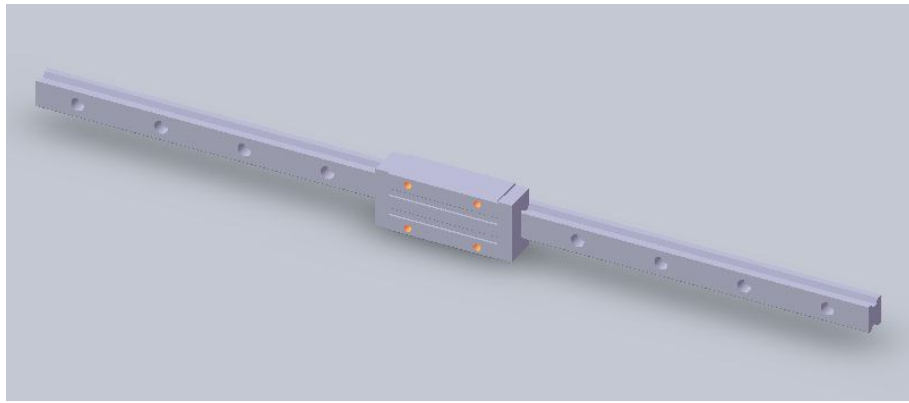
Koneen liikkeiden anturoinnissa servovahvistimille käytettiin Sikon magneettinauha inkrementti-antureita jotka mahdollistavat kosketuksettoman magneettisen lineaarimittauksen. Magneettinauha-anturit muuttavat magneettinauhalta luetun magneettisen osoitetiedon pulssitiedoksi. Magneettinauha kiinnitetään tasopintaan ja anturi koneen liikkuvaan osaan.



KUVIO 15. Magneettinauha-anturi (Siko 2009)

### 3 SUUNNITTELU

Kun esisuunnittelu oli saatu valmiiksi ja koneessa käytettävät komponentit oli valittu, aloitettiin koneen varsinainen suunnittelu. Suunnittelu aloitettiin lineaarimoottoreiden ja koneen rungon suunnittelulla. Suunnittelu tehtiin SolidWorks 3D-CAD ohjelmalla johon saatiin Maytecin Internet-sivuilta valmiiksi mallinnettuja kappaleita haluttujen mittojen mukaan koneen rungon suunnittelua varten. Myös THK:n lineaarijohteista oli saatavilla valmiit mallit haluttujen mittojen mukaan mutta lineaarimoottorit jouduttiin mallintamaan mittapiirustusten perusteella.



KUVIO 16. SolidWorks-malli THK:n valmistamasta lineaarijohteesta

Ensimmäiseksi hahmoteltiin rungon perusrakenne ja alettiin suunnittelemaan lineaarimoottoreiden kiinnitystä runkoon. Samalla hahmoteltiin osia joita jouduttaisiin valmistamaan erinäisten komponenttien kiinnitystä varten.

### 3.1 Solidworks

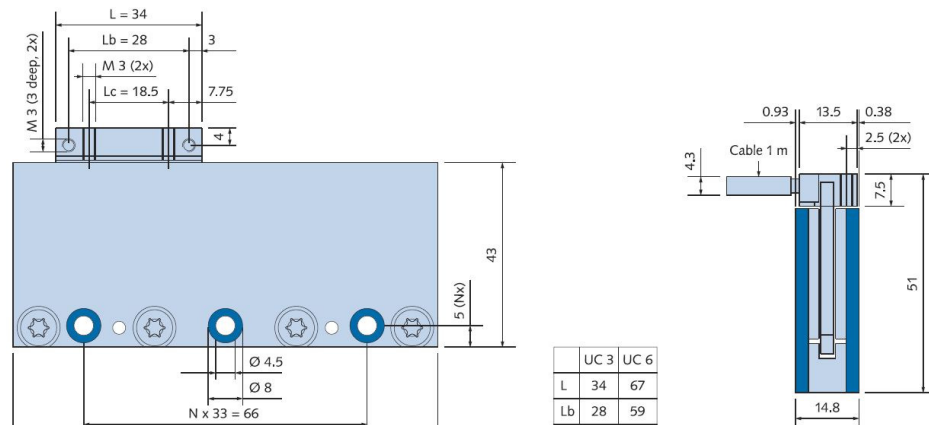
SolidWorks on parametrinen 3D-mekaniikkasuunnitteluohjelmisto jota käytetään erilaisten koneiden, laitteiden sekä yksittäisten kappaleiden suunnitteluun. Ohjelmalla saatiin suunniteltua yksittäiset osat sekä tehtyä niistä kokoonpanomallinnukset sekä valmistuspiirustukset. Ohjelman perustuessa parametrisyyteen kokoonpanossa muutettu yksittäinen kappale muuttuu omassa osatiedostossaan kun sen mittoja muutetaan kokoonpanossa sekä päinvastoin kokoonpano muuttuu kun siinä olevaa yksittäistä kappaletta muutetaan omassa osatiedostossaan.

(SolidWorks 2009)

Kappaleiden mallinnus aloitetaan tekemällä kaksiulotteinen luonnos kappaleesta jonka jälkeen kappale pursotetaan kolmannen ulottuvuuden suuntaan. Tämän jälkeen kolmiulotteiseen kappaleeseen voidaan tehdä reikiä, upotuksia jne. muokkauksia.

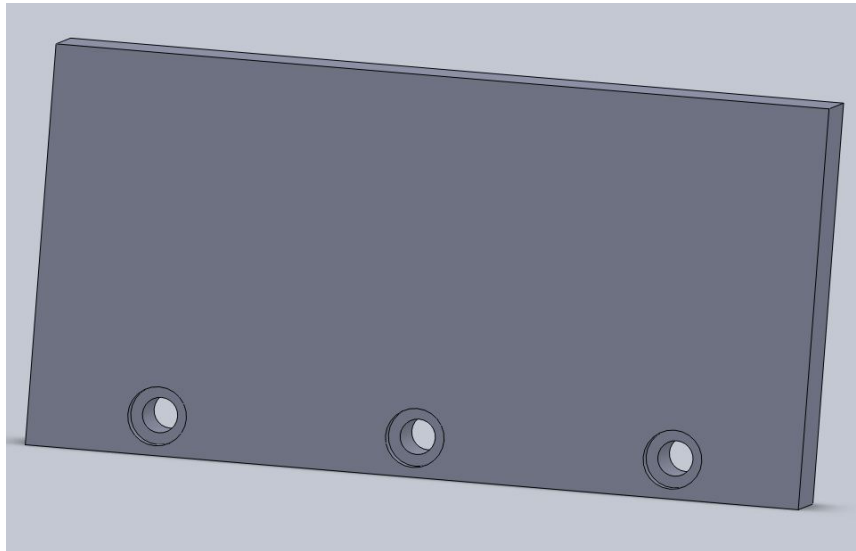


KUVIO 17. Lineariservon magneettirata ja kelayksikkö (Tecnotion 2009)

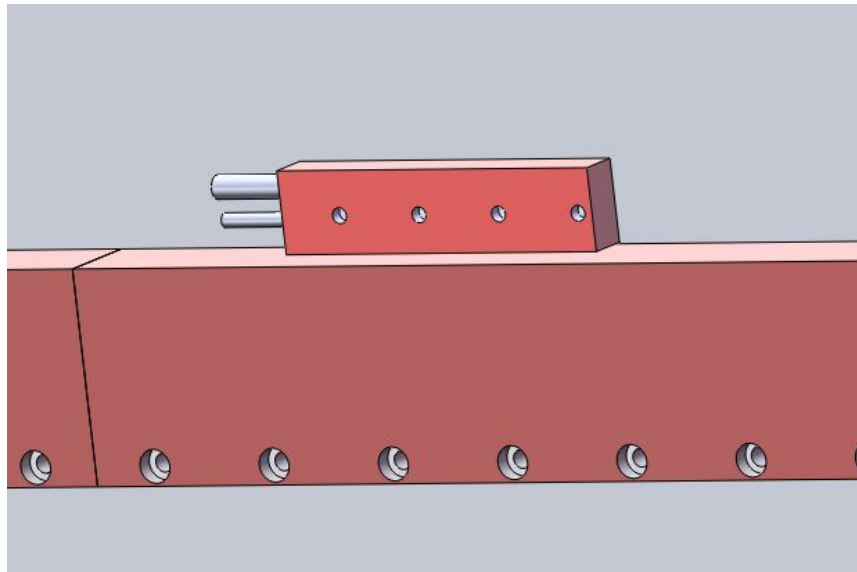


KUVIO 18. Tecnotion UC3 mittapiirros (Tecnotion 2009)

Ensin mallinnettiin magneettiradan kappaleet suorakaiteen muotoisiksi laatikoiksi, jonka jälkeen niihin mallinnettiin yksityiskohdat jotka vaaditaan että kappaleesta tulee todenmukainen. Näin mallinnettu kappale vastaa oikeaa tuotetta ja sen avulla voidaan suunnitella lineaarimoottorin kiinnitykseen liittyviä kappaleita.



KUVIO 19. Magneettiradan kappale mallinnettuna



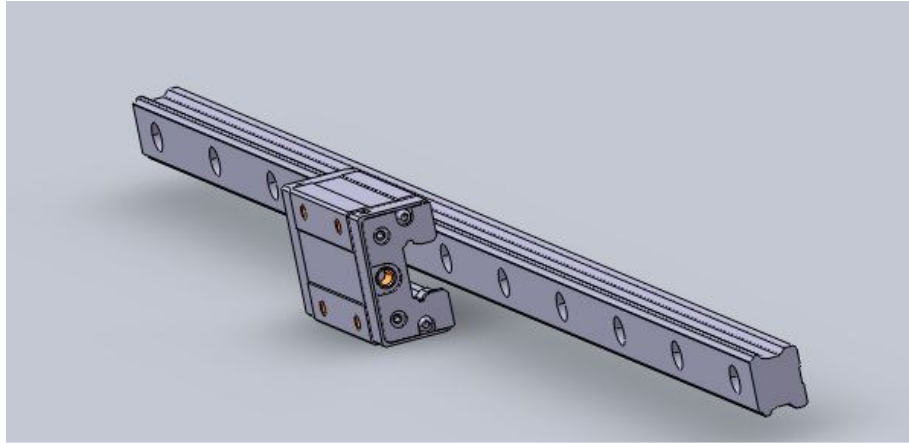
KUVIO 20. Lineaarimoottori mallinnettuna

Kuviossa 20 esitetään Tecnotion UC3 lineaariservon magneettiradan kappaletta sekä moottori-osaa mallinnettuna. Mittatarkka mallinnus mahdollistaa muiden osien suunnittelun lineaariservon ympärille ilman varsinaista valmistusta, suunnittelu voidaan tehdä hyvin pitkälle SolidWorks-ohjelmassa.

Yksittäisen kappaleen mallintamisen lisäksi SolidWorks-ohjelmassa voidaan myös rakentaa kokoonpanoja useista kappaleista. Kokoonpanoissa kappaleita voidaan liittää toisiinsa jotta nähdään niiden yhteensopivuus ja samalla voidaan simuloida miten ne liikkuvat yhdessä. Kappaleita voidaan liittää toisiinsa siten että ne ovat toisistaan riippuvaisia eri tavoilla, pyöreitä muotoja voidaan keskittää toisiinsa nähden ja suoria pintoja voidaan liittää yhdensuuntaisesti toisiinsa nähden.

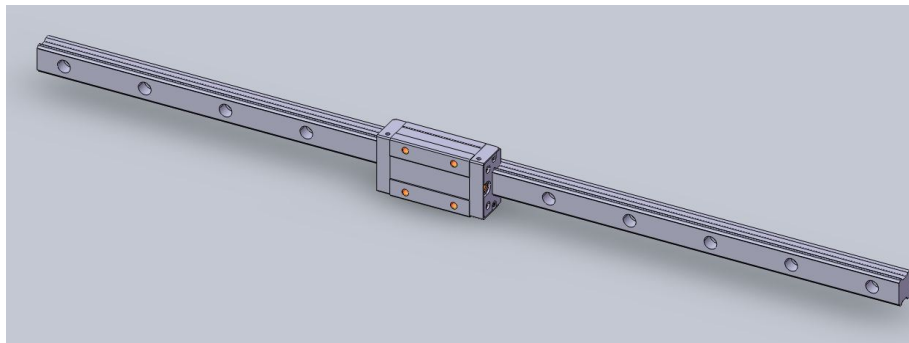
Tätä ominaisuutta hyödynnettiinkin konetta suunniteltaessa, sillä se mahdollisti koneen liikkeiden simuloinnin. Simulointia käytettiin tarkastellessa koneen eri liikkuvien osien sopivuutta toistensa kanssa, näin kappaleita voitiin suunnitella ollen varmoja siitä, ettei niiden välille synny mekaanista törmäysvaaraa.





KUVIO 21. Linearijohteen johdekelkka sekä –kisko mallinnettuna erikseen

Linearijohde saadaan mallinnettua SolidWorksiin siten, että johdekelkka- ja kisko ovat liitettynä toisiinsa samalla tavalla kuin ne ovat oikeissa tuotteissa. Näin SolidWorksissa voidaan mallintaa linearijohteen ympärille osia, kuten ne valmistettaisiin oikeasti.



KUVIO 22. Johdekelkasta ja –kiskosta kasattu linearijohde

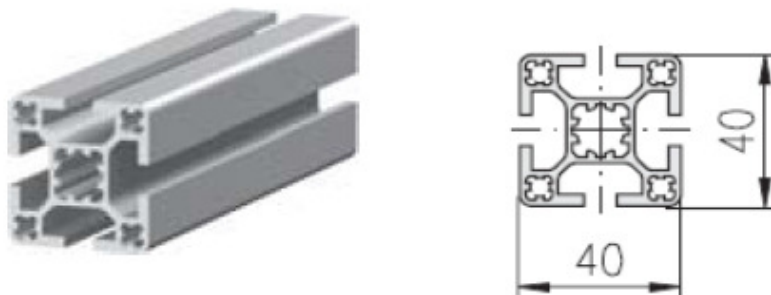
SolidWorksia hyödyntämällä minimoitiin suunnittelun käytettävä aika sekä suunnitteluvirheet joita laitteen valmistus ja testausvaiheessa mahdollisesti tulisi ilmi.

## 3.2 Mekaaninen suunnittelu

Suunnittelu aloitettiin valitsemalla tarkemmin käytettävät komponentit esisuunnitteluvaiheessa rajatuista vaihtoehdoista. Komponenttien valinta tehtiin osittain laskelmien perusteella mutta koska koneen liikkuvat massat ovat suhteellisen pieniä. Valinta tehtiin lopulta lähinnä niin, että komponenteissa on riittävän suuret ja tukevat kiinnityspinnat jotta eri komponentit saadaan liitettyä toisiinsa luotettavasti.

### 3.2.1 Alumiiniprofiilijärjestelmä

Suunnittelu aloitettiin rungon suunnittelulla MayTec alumiiniprofiileista. Esi-suunnitteluvaiheen aikana laitteen rungon rakenne oli hahmottunut jo lähemmäksi lopullista muotoaan. Tässä vaiheessa oli tiedossa käytettävien lineaarijohteiden sekä lineaariservojen tyypit joten komponenttivalintoja tehtiin niitä silmällä pitäen. Ensin tutustuttiin MayTecin tarjoamaan valikoimaan ja sieltä valittiin rungon perusrakenteeksi rakenneprofiili kooltaan 40x40mm, sekä niihin rakenteisiin joissa tarvitaan suurempaa tukevuutta ja kiinnityspinta-alaa valittiin rakenneprofiili 40x80mm.

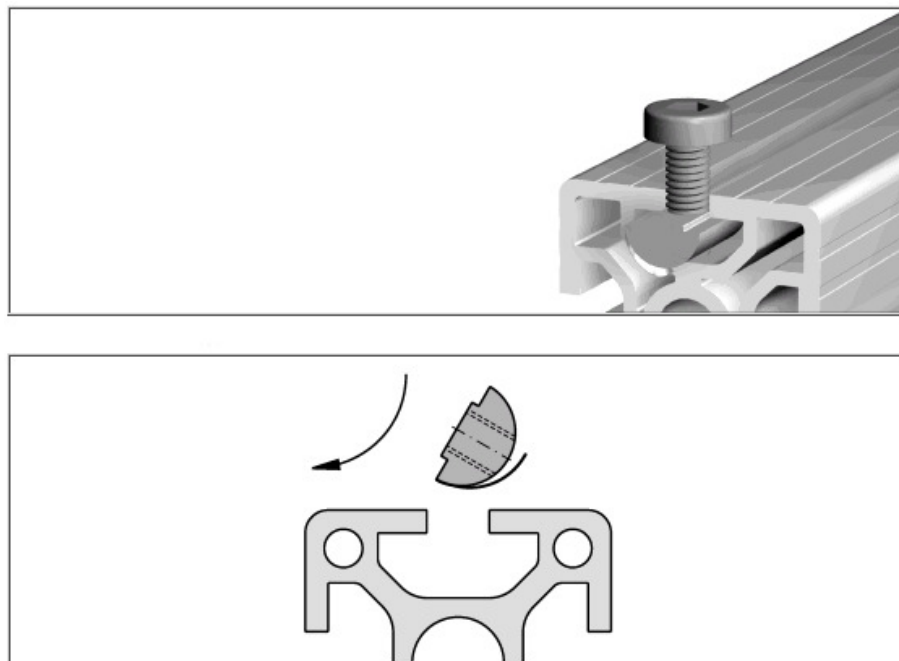


KUVIO 23. MayTec rakenneprofiili 40x40mm (MayTec 2009)

Kun rakenneprofiilit oli valittu - otettiin selvää millaisia vaihtoehtoja oli saatavilla rakenneprofiilien liittämiseen ja miten eri komponentteja saadaan kiinnitettyä profiileihin. Vaihtoehtoja oli erittäin runsaasti ja niistä valittiin monikäyttöisyytensä takia käytettäväksi rakenneprofiilien kiinnityskulmia, t-muttereita sekä yleiskiinnikkeitä.



KUVIO 24. Kiinnityskulma (MayTec 2009)

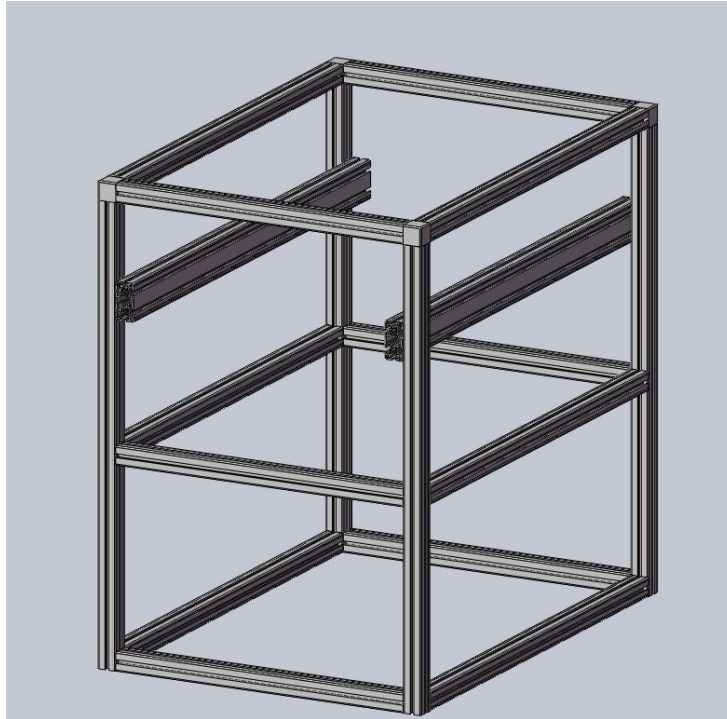


KUVIO 25. T-mutteri (MayTec 2009)

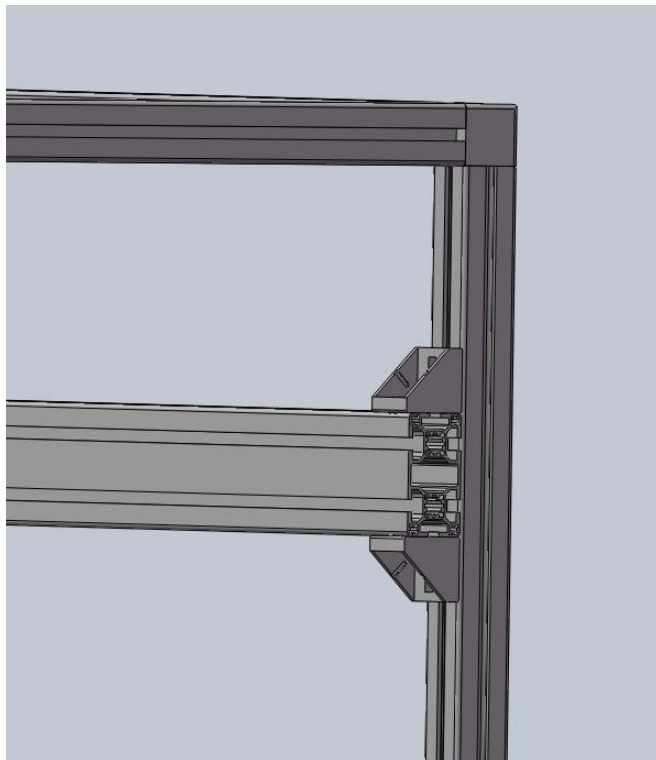


KUVIO 26. Yleiskiinnike (MayTec 2009)

Kun käytettävät komponentit oli valittu, alettiin niitä käyttäen suunnitella koneen runkoa. Ensin päätettiin koneen ulkomitat joiden puitteissa konetta alettaisiin suunnitella. Koneen mitoiksi päätettiin 100x65cm ja korkeudeksi 70cm. Näiden mittojen perusteella laskettiin käytettävien profiilien mitat ja mallinnettiin ne SolidWorksiin. Tässä vaiheessa hyödynnettiin alumiiniprofiilivalmistaja MayTecin Internet-sivuja josta saatiin valmiit SolidWorks-mallit haluttujen mittojen mukaan. Samalla mietittiin eri tapoja profiilien liittämistä toisiinsa jotta säilytetään koneen säädettävyys ja muunneltavuus. Koneen rungosta päätettiin tehdä kiinteä kehikko jonka sisällä ovat vaakapalkit joihin on kiinnitetty koneen liikkuvat osat. Alumiiniprofiilien helpon liitettävyyden ansiosta runkoon tulevista profiileista ei tarvinnut piirtää erillisiä valmistuskuvia vaan ainoastaan tehdä lista minkä mittaisia pätkiä profiilista tulisi katkaista.



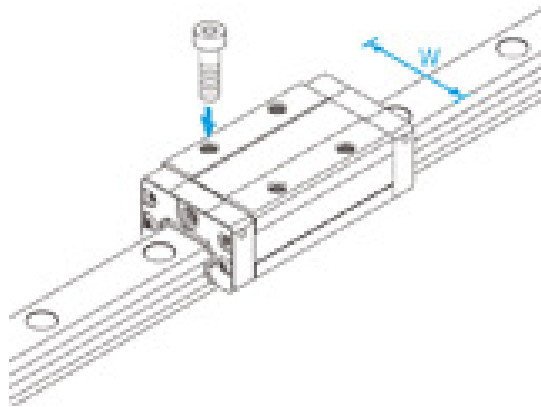
KUVIO 27. Koneen runko mallinnettuna SolidWorksiin



KUVIO 28. Vaakapalkin korkeuden säädön mahdollistava kiinnitys

### 3.2.2 Lineaarijohteet

Tämän jälkeen tutustuttiin tarkemmin THK:n lineaarijohdevalikoimaan ja valittiin sieltä käytettäväksi SHS-V sarjan lineaarijohteet. THK:n mallistossa SHS-sarjan lineaarijohteet ovat ns. yleismallin lineaarijohteita ja tästä sarjasta V-malli on kaapeampaa mallia johon kiinnitykset tapahtuvat yläkautta. Leveämmissä malleissa kappaleiden kiinnitys johdekelkkaan onnistuu myös alakautta.



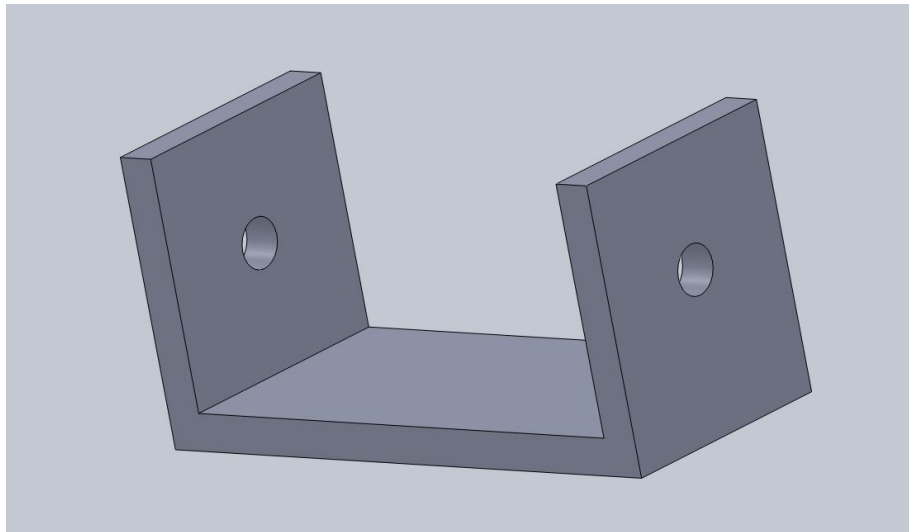
KUVIO 29. SHS-V sarjan lineaarijohde (THK 2009)

Kun koneen runko oli suunniteltu, niin lineaarijohteiden pituudet valittiin sen mukaisesti ja X-akselin johteiksi valittiin 820mm pitkät lineaarijohteet sekä Y-akselille 640mm pitkä lineaarijohde. Tämän jälkeen tutustuttiin tarkemmin SHS-V sarjaan ja todettiin, että sarjan pienin SHS 15V lineaarijohde kestäisi helposti koneessa vaadittavan kuormituksen joka arvioitiin karkeasti käyttäen akseleille arvioituja liikkuvia massoja, X-akselille 10kg ja Y-akselille 5kg. Kuitenkin tarkemmassa tarkastelussa todettiin, että SHS 15V mallin johdekiskon kiinnitys on suunniteltu tehtäväksi M4 ruuveilla joka ei ole yhteensopiva johdekiskon kiinni

tykseen ajatellun alumiiniprofiilijärjestelmän T-mutterin M6-kierteen kanssa. Tämän lisäksi SHS 15V mallin johdekelkka on kiinnityspinnaltaan liian pieni joten koneessa käytettäväksi valittiin SHS 20V mallin lineaarijohteet.

(THK 2009)

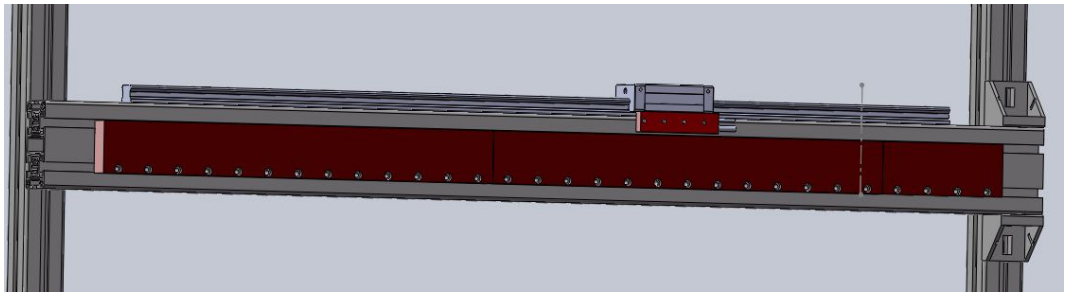
Poikittain X-akseliin nähden oleva Y-akseli tehtiin 40x80mm alumiiniprofiilista, koska se mahdollisti lineaariservomoottorin kiinnityksen suoraan profiilin kylkeen. X-akselin lineaarijohteisiin suunniteltiin ja valmistettiin kannakkeet joihin poikittain tuleva Y-akseli kiinnitettiin käyttäen T-muttereita ja kuusiokoloruuveja.



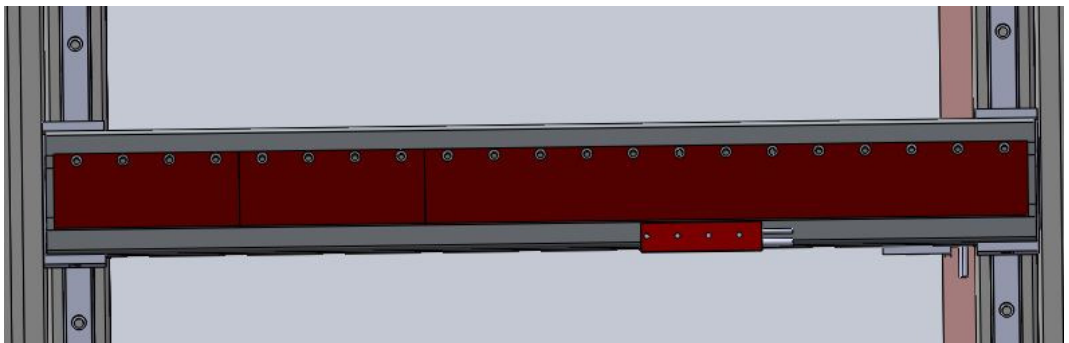
KUVIO 30. Y-akselin kannake

### 3.2.3 Lineariservot

Lineariservomootoreita suunniteltaessa SKS:n Pekka Mertasen avustuksella oli jo etukäteen valittu käytettäväksi Tecnotionin UC-sarjan moottoreita, joten suunniteltavaksi jäi lähinnä servomootorin magneettiradan pituus. UC-sarjan magneettiratoja on saatavilla 66mm, 99mm ja 264mm pituisina, joista valittiin sopivat yhdistelmät X- ja Y-akselille.



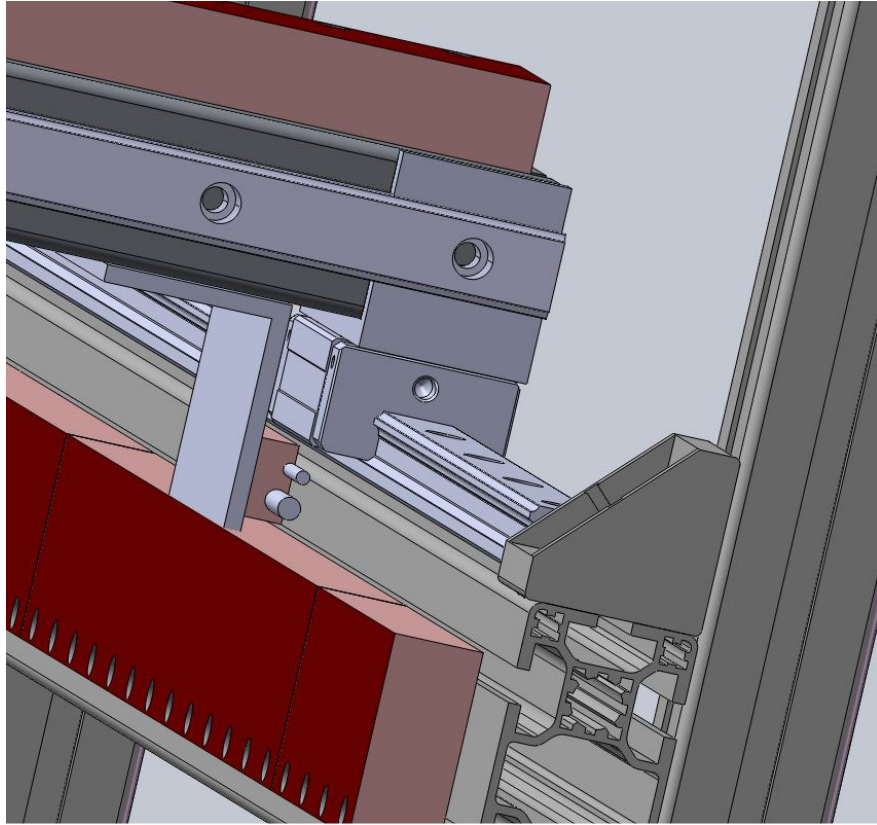
KUVIO 31. X-akselin lineaariservomoottori



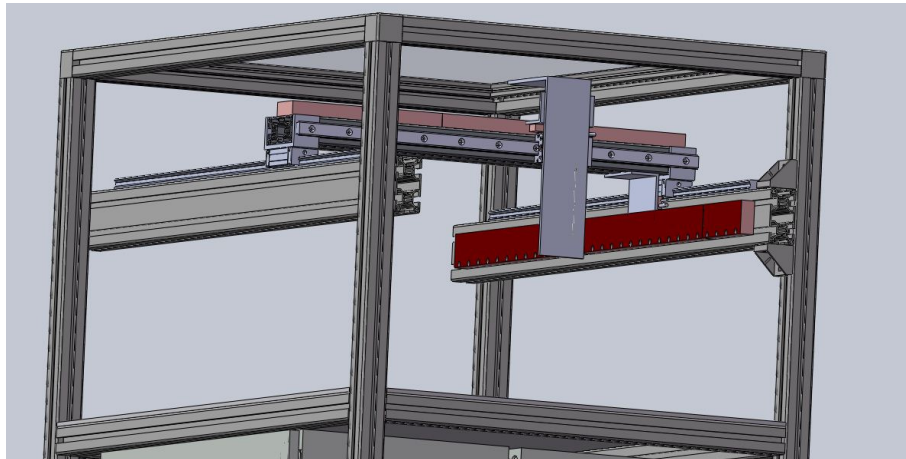
KUVIO 32. Y-akselin lineaariservomoottori ylhäältäpäin kuvattuna

Magneettiratojen kiinnitys koneen runkoon tehtiin alumiiniprofiilijärjestelmän t-muttereilla ja 6mm kuusiokoloruuveilla. Lineariservomootoreiden kelayksiköille suunniteltiin tukevat kiinnikkeet, jolloin säilytetään kelayksiköiden ja magneettiratojen välille vaadittu ilmarako.



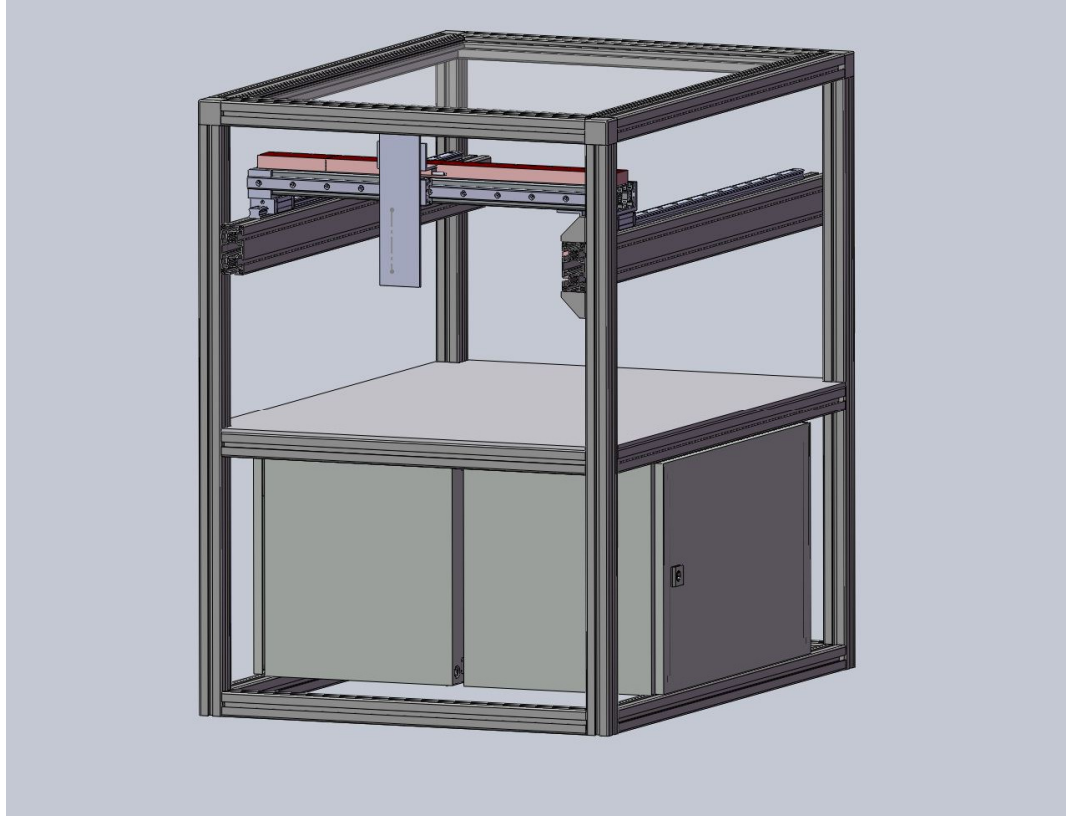


KUVIO 33. X-akselin lineaariservomootorin kelayksikön kannake



KUVIO 34. Yleiskuvaa lineaariservomootoreiden kiinnityksestä

Lineariservomootoreiden takaisinkytkentä anturointia eli magneettinauhaantureita ei mallinnettu SolidWorks-ympäristöön vaan konetta valmistettaessa magneettinauha kiinnitettiin lineaarijohteen viereen ja magneettianturille valmistettiin pellistä kannakkeet. Koneen kummallekin akselille kiinnitettiin myös rajakytkimet joilla saadaan konetta käytettäessä suoritettua ns. referenssijako eli kalibroida paikoitusasema ajamalla liike ääriasentoonsa ja nollaamalla pulssilukema.

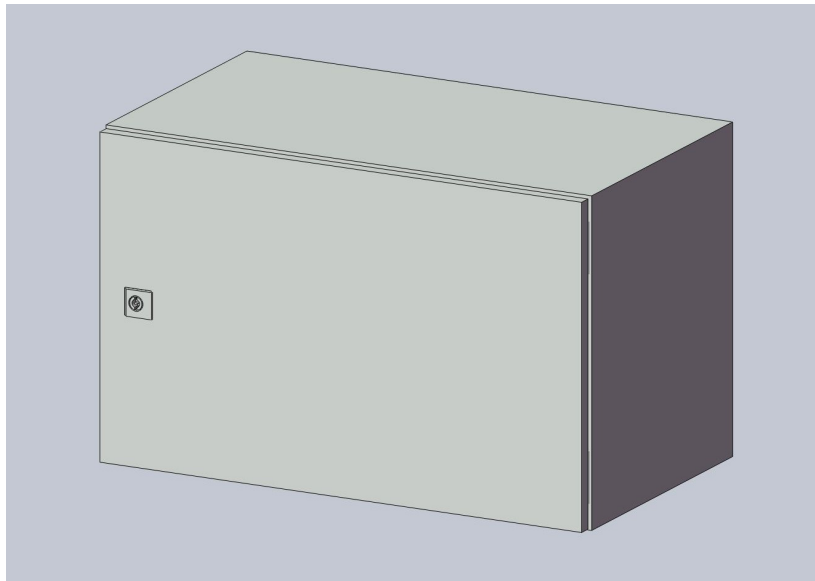


KUVIO 35. Kone suunniteltuna kaikki komponentit paikallaan

#### 4 SÄHKÖSUUNNITTELU

Kone haluttiin pitää mahdollisimman yksinkertaisena myös sähköisesti, joten myös tämä pidettiin lähtökohtana sähkösuunnittelulle. Ensimmäisenä piti valita sähkökeskus, joka sisältyi myös osittain mekaaniseen suunnitteluun. Lähtökohtana oli että koneessa käytettävät Control Techniques Digitax ST servovahvistimet tulisi saada mahtumaan sähkökeskukseen. Ensin katsottiin servovahvistimien sopivuutta yhteen sähkökeskukseen, mutta lopulta päätettiin sijoittaa sähkökomponentit kahteen sähkökeskukseen. Sopivan kokoisia sähkökeskuksia etsittiin eri valmistajien valikoimasta ja lopulta päädyttiin Rittalin AE1339.500-mallisiin sähkökeskuksiin jotka ovat kooltaan 600x380x350mm. Sähkökeskukset aseteltiin koneen alaosaan selkäosat vastakkain.

(Control Techniques 2009; Rittal 2009)



KUVIO 36. Rittal sähkökeskus



KUVIO 37. Control Techniques Digitax ST (Control Techniques 2009)

Koneen ohjaukseen käytettiin Siemensin ohjelmoitavaa logiikkaan malliltaan S7 314C-2DP. Ohjelmoitava logiikka on pieni tietokone jota käytetään koneen ohjaukseen. Se on mikroprosessori -pohjainen laite jossa on tulo- ja lähtöportteja, joihin kytketään antureita ja toimilaitteita. Ohjelmoitava logiikka ohjaa toimilaitteita siihen luodun ohjelman ja antureiden antamien tietojen perusteella. Siemens S7 314C-2DP logiikassa on mahdollisuus Profibus DP kenttäväylä-liitännälle jota käytettiin kommunikoinnissa servovahvistimien kanssa.

Kenttäväylä mahdollistaa tulo- ja lähtösignaalien siirron yhtä kenttäväyläkaapelia pitkin, kun ne perinteisesti siirrettäisiin useilla yksittäisillä sähkökaapeleilla tai johtimilla. Samalla myös mahdollistetaan ohjaussignaalien määrän kasvattaminen tulevaisuudessa ilman sähkökytkentöjen muutoksia. Servovahvistimiin hankittiin erilliset Profibus DP – kommunikointimoduulit joiden avulla ne saadaan liitettyä kenttäväylään. Samoin kenttäväylään liitettiin myös koneen käyttäjäliityntänä toimiva Siemens TP177B DP – kosketusnäyttölinen ohjauspaneeli.

(Siemens 2009)



KUVIO 38. Siemens 314C-2DP ohjelmoitava logiikka (Siemens 2009)



KUVIO 39. Siemens TP177B DP ohjauspaneeli (Siemens 2009)

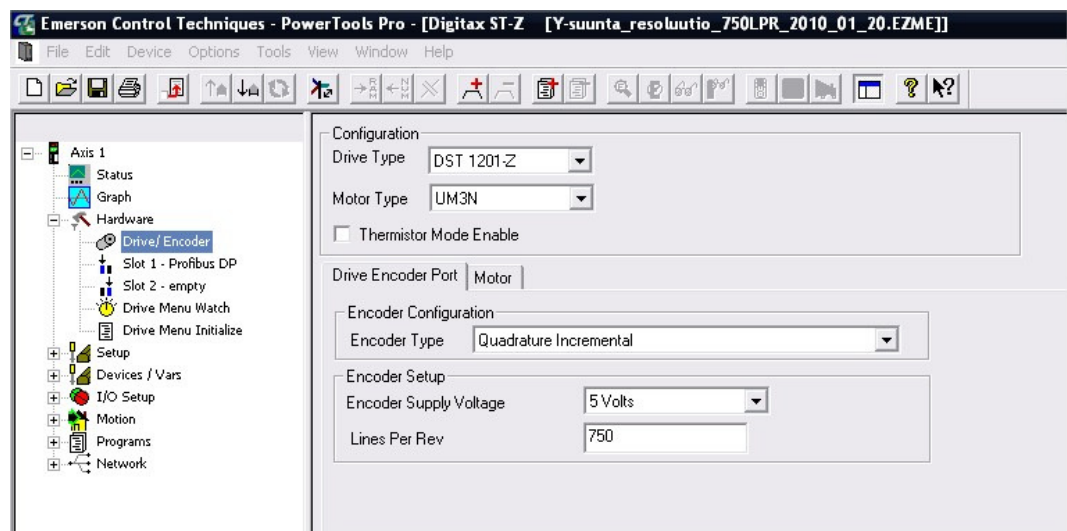
Koneen turvallisuutta valvomaan valittiin Pilz hätäseis-rele johon on kytketty hätäseis-painike joka aktivoi hätäseis-releen. Hätäseis-releen kautta on kytketty servovahvistimien turvatuloihin menevä jännite, joka on sisäänrakennettu turvaominaisuus ja se mahdollistaa servovahvistimen lähtöjännitteen estämisen eli tekee siihen kytketyn moottorin voimattomaksi. Tämän ansiosta servovahvistimelta ei

tarvitse katkaista syöttöjännitettä hätätilanteen sattuessa jolloin servovahvistimelta ei menetetä takaisinkytkentäanturilta luettavia paikoitustietoja.

#### 4.1 Servovahvistimien ohjelmointi

Koneessa käytettävät Digitax ST EZMotion –servovahvistimet sisältävät sisäänrakennetun kytkentämahdollisuuden takaisinkytkentäanturille sekä muutamia digitaalisia tulo- ja lähtöportteja. EZMotion kykenee itsenäiseen liikeohjaukseen sisäisen ohjelmaprosessorinsa sekä sisäänrakennettujen tulo- ja lähtöporttiansa ansiosta.

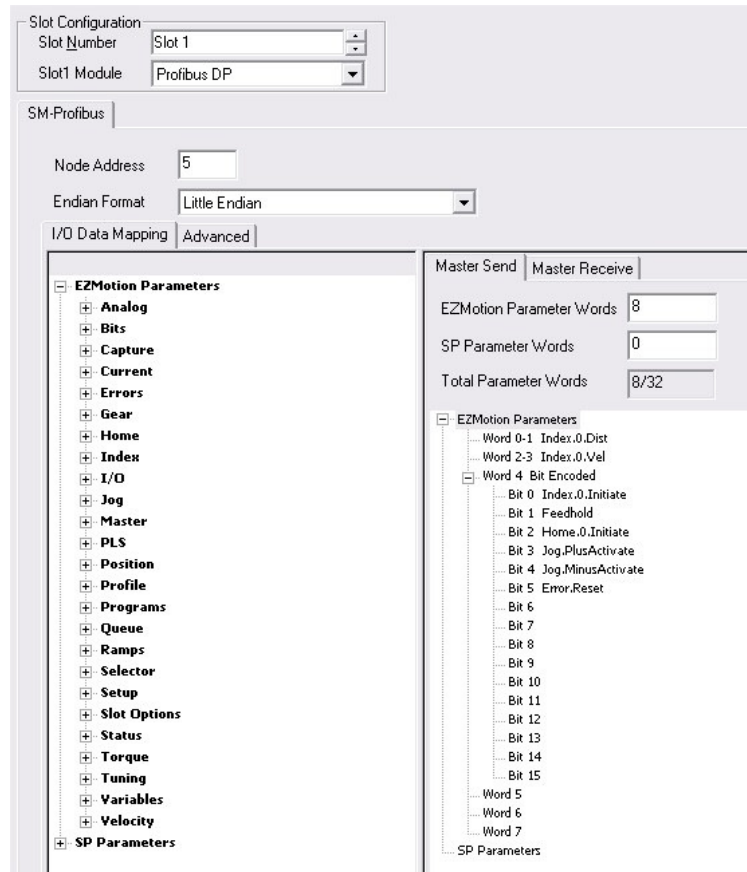
EZMotion konfiguroidaan ja ohjelmoidaan PowerTools Pro –ohjelmaa käyttäen. Tämä tapahtuu tietokoneella erikoiskaapelin välityksellä. Ohjelmaan määritellään servovahvistimeen liitetyn servomoottorin ja takaisinkytkentä-anturin malli.



KUVIO 40. Servomoottorin ja takaisinkytkentä-anturin määrittely

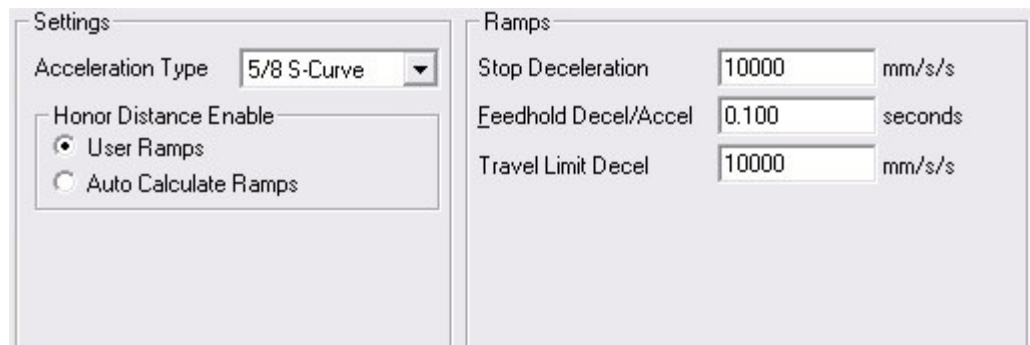
Seuraavaksi määritellään väyläliityntä-moduulin osoite sekä väylän kautta siirrettävät käskyt ja takaisinkytkennät. Tässä koneessa käytettiin lineaariservomoottoreiden ohjaukseen numeraalista paikka- ja nopeusohjetta sekä bittikäskyjä joilla ohjataan liikkeen suoritusta ja keskeytystä, kotiajon suoritusta, hälytyksien kuitaamista sekä moottorin manuaalista ajamista eteen- sekä taaksepäin. Servovahvistimelta takaisinpäin otettiin tieto siitä että servovahvistin on toimintakunnossa,

tieto siitä että moottori on saatu ajettua paikkaohjeen mukaiseen paikkaan sekä takaisinkytkentä siitä että servovahvistimelle annettu käsky on suoritettu onnistuneesti.



KUVIO 41. Väyläliityntämoduulin konfigurointia

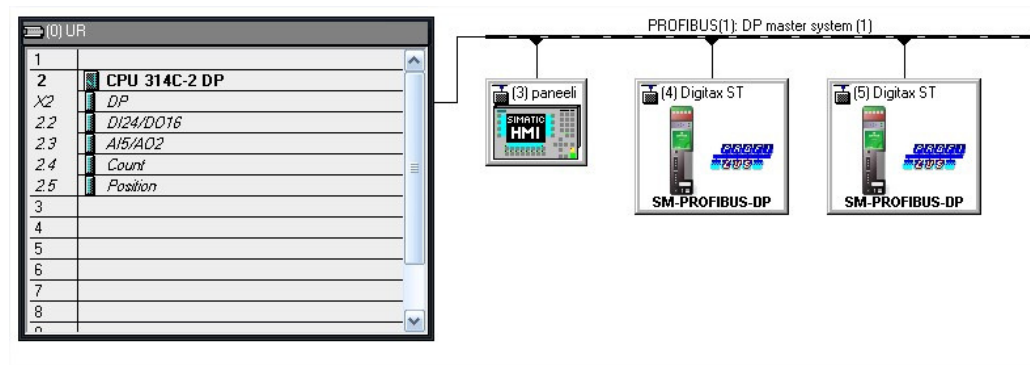
Tämän lisäksi ohjelmaan määritellään vielä liikkeiden kiihdytys- ja jarrutusrampit sekä kotiajo-toiminnon parametrit jossa servovahvistin ajaa käskystä moottorin esiasetetulla hitaalla nopeudella kunnes moottori tulee kotiajo-anturin kohdalle jolloin moottori pysäytetään ja takaisinkytkentäanturin lukema nollataan.



KUVIO 42. Kiihdytys- ja jarrutusramppien määrittely

#### 4.2 Ohjelmoitavan logiikan ohjelmointi

Koneen ohjaukseen käytettävään Siemens 314C-2DP ohjelmoitavaan logiikkaan tehtiin Siemens Simatic Step7 – ohjelmalla yksinkertainen logiikkaohjelma jolla voidaan liikuttaa konetta paikasta toiseen sekä liikuttaa akseleita käsiohjauksella. Simatic Step7 on ohjelma jota käytetään Siemensin ohjelmoitavien logiikoiden konfigurointiin sekä ohjelmointiin. Sillä voidaan konfiguroida sekä parametreja ohjelmoitavaan logiikkaan liittyvä laitteisto, luoda ja testata käyttäjäohjelmia sekä konfiguroida mahdolliset kenttäväylä- ja tietoliikenneverkkoliitännät.

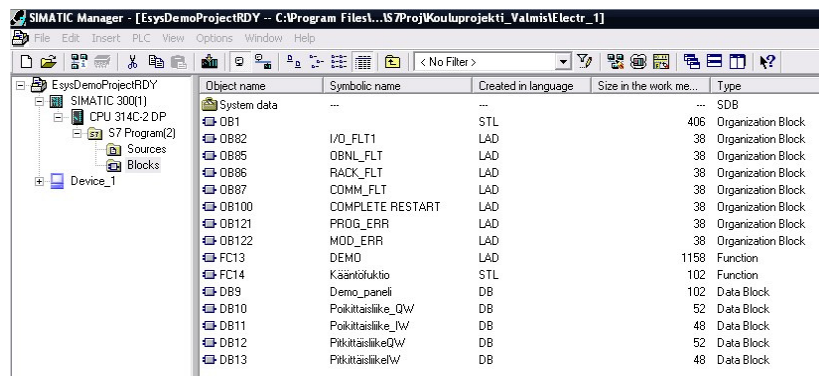


KUVIO 43. Laitteiston konfigurointi Step7 Laitemäärittelyssä



Siemens Step7 ympäristössä koneen ohjaukseen käytettävä logiikkaohjelma koostuu rakenteeltaan ohjelmalohkoista joita ohjelmoitavan logiikan keskusyksikkö kutsuu ja suorittaa. OB1 on organisaatioyksikkö jota kutsutaan jokaisella ohjelmakerrolla ja se kutsuu käyttäjän määrittelemiä FB-toimintolohkoja sekä FC-toimintoja.

Ohjelmoitavaan logiikkaan tehtiin ohjelma jossa suoritetaan kommunikointi servovahvistimien kanssa sekä ohjataan niitä käyttäjän määrittämään paikkaan. Ohjelma rakentuu organisaatioyksiköstä OB1 joka hoitaa kommunikoinnin servovahvistimien kanssa, muokkaa ohjelmasta siirrettävän datan servovahvistimen ymmärtämään muotoon aliohjelman FC14 avulla ja kutsuu aliohjelmaa FC13 jossa suoritetaan koneen ohjaukseen liittyviä tehtäviä.

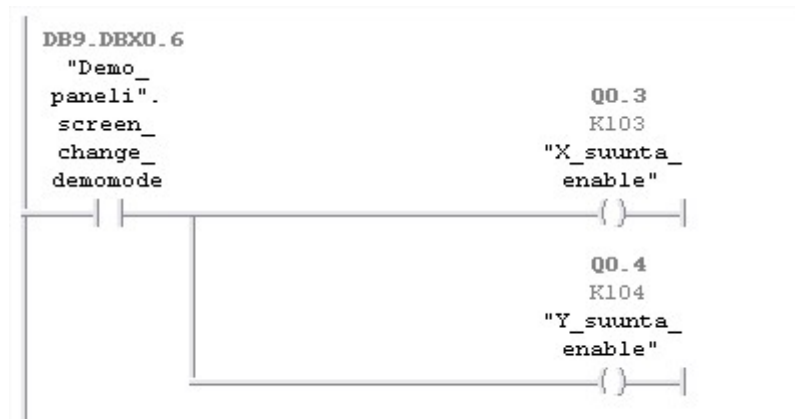


The screenshot shows the SIMATIC Manager interface with a project tree on the left and a table of objects on the right. The table lists various objects including Organization Blocks (OB), Functions (FC), and Data Blocks (DB) with their respective symbolic names and types.

Object name	Symbolic name	Created in language	Size in the work me...	Type
System data	--	--	--	SDB
OB1	--	STL	406	Organization Block
OB82	I/O_FLT1	LAD	38	Organization Block
OB85	OBNL_FLT	LAD	38	Organization Block
OB86	RACK_FLT	LAD	38	Organization Block
OB87	COMM_FLT	LAD	38	Organization Block
OB100	COMPLETE RESTART	LAD	38	Organization Block
OB121	PROG_ERR	LAD	38	Organization Block
OB122	MOD_ERR	LAD	38	Organization Block
FC13	DEMO	LAD	1158	Function
FC14	Kääntöfunktio	STL	102	Function
DB9	Demo_paneli	DB	102	Data Block
DB10	Poikittaisliike_QW	DB	52	Data Block
DB11	Poikittaisliike_lw	DB	48	Data Block
DB12	PitkittäisliikeQW	DB	52	Data Block
DB13	PitkittäisliiketW	DB	48	Data Block

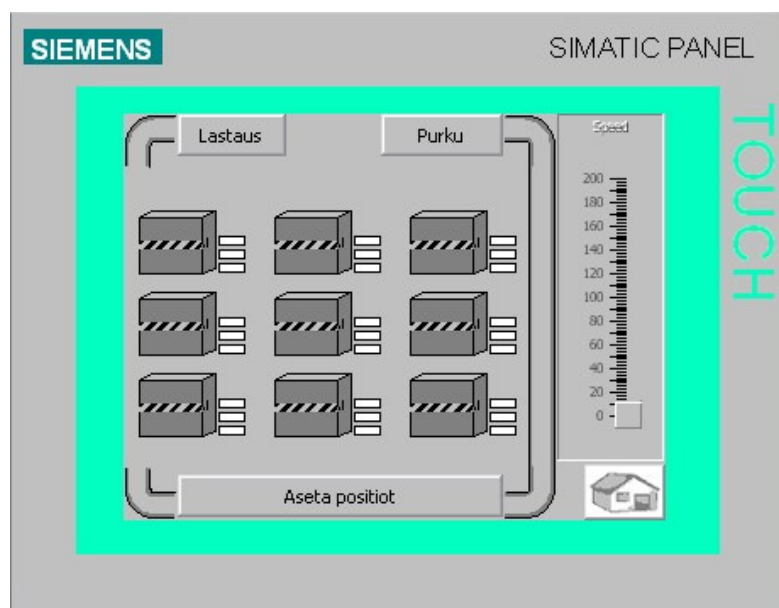
#### KUVIO 44. Logiikkaohjelman rakenne

Aliohjelma FC13 suorittaa kommunikoinnin logiikkaan liitetyn ohjauspaneelin kanssa ja suorittaa käyttäjäohjelmaa ohjauspaneelilta annettujen käskyjen avulla. Käyttäjäohjelmassa ohjataan servovahvistimien käyntivalmiuksia ja suoritetaan niiden paikoituskäskyjä. Siirryttäessä ohjauspaneelin käyttäjäliittymän aloitussivulta varastointisivulle, aktivoidaan samanaikaisesti servovahvistimien käyntivalmiudet päälle.



KUVIO 45. Servovahvistimien käyntivalmiuksien kytkentä

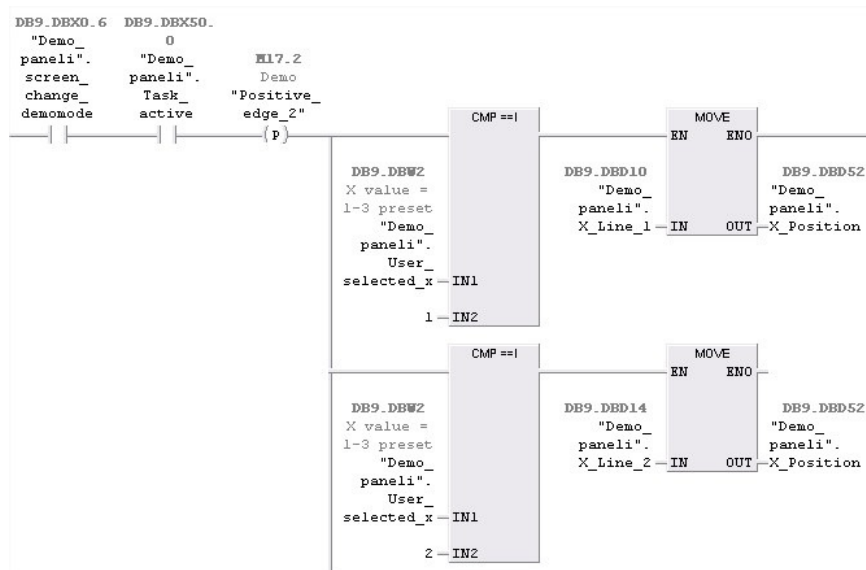
Tämä tapahtuu lukemalla käyttäjäohjelmassa tieto ohjauspaneelilta, että koneen käyttäjä on siirtynyt varastointisivulle jossa voidaan ohjata servovahvistimia liikkuttamaan konetta ennalta asetettuihin varastopaikkoihin. Kuviossa 57 kuvataan varastointisivua jossa on esitettyä yhdeksän esiaseteltua varastopaikkaa.



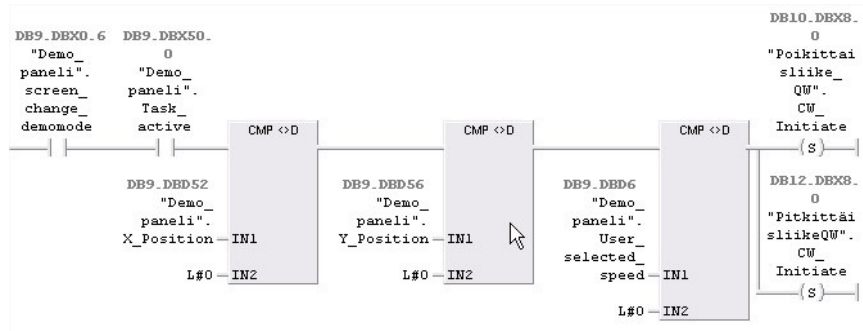
KUVIO 46. Käyttöliittymän ruutu varastopaikoista

Varastointisivulla olevia painikkeita painettaessa käyttäjäohjelma lukee kyseiseltä painikkeelta sille asetetut numeeriset parametrit ja ohjaa sen mukaisesti paikkatiedot servovahvistimille. Saatuaan paikkatiedot servovahvistimet vaativat erikseen

paikoituskäskyn ohjata moottori paikkaansa joka tapahtuu paikkatietojen siirron jälkeen. Kuvioissa 58 ja 59 esitetään nämä toiminnot käyttäjäohjelmassa.



KUVIO 47. Paikkatietojen siirto



KUVIO 48. Paikoituskäskyn antaminen

Kun moottorit ovat liikuttaneet koneen akselit paikkoihinsa lähettävät servovahvistimet tiedon siitä, että ne ovat suorittaneet niille annetun paikoituskäskyn. Tämä taas välitetään edelleen käyttäjäohjelmaan jossa nollataan suoritettava paikoituskäsky ja jäädään odottamaan seuraavaa käskyä.

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä käytiin läpi portaalirobotin suunnitteluprosessi koneen esisuunnittelusta koneen valmistukseen ja testaukseen. Koneen suunnittelussa onnistuttiin täyttämään projektin alussa asetetut tavoitteet ja saatiin suunniteltua teknologisesti moderni portaalirobotti. Opinnäytetyön suurimpia tehtäviä olivat oman suunniteluuden ohella koneen komponenttien ominaisuuksien selvittäminen ja tilaus sekä suunnitteluprojektin hoitaminen.

Koneen suunnittelun jälkeen tilattiin tarvittavat komponentit ja niistä valmistettiin suunnittelun mukainen portaalirobotti. Valmistuksen jälkeen laitetta testattiin ja todettiin suunnittelun sekä komponenttivalintojen olleen onnistuneita. Testauksen aikana huomattiin, että laitteen rungon materiaaleina käytetyt alumiiniprofiilit voisivat olla tukevampia jotta voitaisiin hyödyntää kokonaan lineaariservomootoreiden suuret liikenopeudet, mutta todettiin rungon olevan riittävän tukeva tämän koneen tavoitteena olleeseen 1m/s nopeuteen.

Koneen suunnittelussa käytetyt mekaaniset ja sähköiset ratkaisut todettiin toimiviksi portaalirobotti tyyppisessä koneessa. Lineaariservomootorit ovat erittäin luotettava ja huoltovapaa vaihtoehto perinteisimmille voimansiirtoratkaisuille ja ne myös mahdollistavan aikaisempaa yksinkertaisemmän sekä toimintavarmemman rakenteen. Koneita ei kuitenkaan valmistettu tuotantotarkoitukseen joten lopullisen varmuuden saamiseksi kone täytyisi asettaa tuotantokäyttöön tai pitempi aikaiseen testikäyttöön jotta saataisiin varmuus mekaanisten ratkaisuiden kestävydestä.

## Lähteet

Bosch Rexroth. [verkkajulkaisu] Rexroth Lineaaritekniikka. Saatavissa:  
[www.boschrexroth.fi](http://www.boschrexroth.fi)

Teollisuusrobotti. [verkkajulkaisu] [Viitattu 20.2.2010] Saatavissa:  
[fi.wikipedia.org/wiki/Teollisuusrobotti](http://fi.wikipedia.org/wiki/Teollisuusrobotti)

SKS Mekaniikka 2009. THK Lineaariliikkeen komponentit - Mekaaniset rakenneosat.

SKS Mekaniikka 2009. THK SHS-linearijohteet - Mekaaniset rakenneosat

SKS Mekaniikka 2009. MayTec rakenneprofiilijärjestelmä.

SKS Mekaniikka 2009. Tecnotion Ironless motors series UC.

SKS Control 2008. Control Techniques Digitax ST Installation Guide.

SKS Control 2008. Control Techniques Digitax ST Technical Data.

SKS Control 2008. Control Techniques Digitax ST User Guide.

SKS Control 2008. Control Techniques Digitax ST Advanced User Guide.

SKS Control 2009. Control Techniques SM-Profibus User Guide.

SKS Control 2009. Control Techniques SM-EZMotion User Guide.

Siemens 2008. SIMATIC S7-300 CPU 31xC and CPU 31x: Technical specifications.

Siemens 2008. SIMATIC S7-300 CPU 31xC and CPU 31x: Installation.

Siemens 2008. SIMATIC HMI HMI Device TP 177A, TP 177B, OP 177B (WinCC flexible).

Siemens 2008. WinCC flexible Getting Started Options.

Siemens 2008. WinCC flexible Getting Started Power User.

Siemens 2008. WinCC flexible Getting Started Power User.

Murr Elektronik 2009. 1-vaiheset muuntajat sähkökeskuksiin.

Rittal 2009. Pääluettelo 32.

Pilz 2009. Safety Relays PNOZ.