



# Festo-solun manipulaattorin päivittäminen

Jaakko Rantanen

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2023

Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Koneautomaatio

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Koneautomaatio

RANTANEN, JAAKKO:  
Festo-solun manipulaattorin päivittäminen

Opinnäytetyö 53 sivua, joista liitteitä 16 sivua  
Huhtikuu 2023

---

Opinnäytetyönä toteutettiin mekatroninen kehitysprojekti, jonka aikana suunniteltiin ja rakennettiin uusi manipulaattori Tampereen ammattikorkeakoulun koneautomaatiolaboratorion Festo-harjoitussoleen. Päätaoioiteiksi projektille asetettiin uuden manipulaattorin mekaaninen ja sähköinen suunnittelu sekä varsinainen rakentaminen. Uuden manipulaattorin suunnittelussa määriteltiin tarkat toiminnalliset vaatimukset, jotka sen tuli täyttää. Suunnittelussa seurattiin pääsääntöisesti mekatronisen suunnittelun periaatteita toimivan kokoonpanon aikaansäämiseksi.

Kehitysprojektin aikana suunniteltiin manipulaattorin mekaaninen rakenne ja valittiin työhön soveltuvat servomootorit ja moottorinohjaimet. Suunnittelu sisälsi paljon CAD-mallintamista, ja manipulaattorista tehtiin suunnitteluvaiheen aikana kattava kokoonpanomalli ennen rakentamisen aloittamista. Rakenteessa käytettiin paljon itse mallinnettuja 3D-tulostettuja komponentteja. Rakentamisvaiheessa manipulaattori koottiin suunnitelman mukaan ja sähköisille komponenteille tehtiin tarvittavat kytkennät.

Manipulaattori saatiin projektin tuloksena toiminnallisesti valmiiksi, ja sitä on mahdollista ohjata tietokoneella. Kattavan testaamisen perusteella uusi manipulaattori vastaa miltei kaikilla osa-alueilla sille asetettuihin vaatimuksiin, ja kehitystyötä tullaan jatkamaan tulevaisuudessa integroimalla manipulaattoriin ohjelmoitava logiikkayksikkö manipulaattorin ohjausjärjestelmäksi.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Machine automation

RANTANEN, JAAKKO:  
Improvement of the Manipulator of the Festo-cell

Bachelor's thesis 53 pages, appendices 16 pages  
April 2023

---

In this thesis, a mechatronic development project was carried out to design and build a new manipulator for Tampere University of Applied Sciences' Festo training cell. The main objectives of the project were to design the new manipulator's mechanical and electrical systems and to construct the manipulator itself. The functional requirements for the manipulator were defined in the design phase, and the design process followed the principles of mechatronic design to achieve a functional assembly.

During the project, the mechanical structure of the manipulator was designed, and suitable servo motors and motor controllers were selected. The design process involved plenty of CAD modeling, and a comprehensive assembly model of the manipulator was created before the construction phase began. The structure included many 3D-printed components that were modelled for specific purposes. During the construction phase, the manipulator was assembled according to the plan, and the necessary connections were made for the electrical components.

As a result of the project, the manipulator was completed and can be controlled by a computer. Extensive testing shows that the new manipulator meets nearly all of the requirements set for it, and further development work will be carried out in the future by integrating a programmable logic unit into the manipulator's control system.

---

Key words: mechatronics, manipulator, development project

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	MEKATRONINEN SUUNNITTELU .....	6
	2.1 Mekatroniikka yleisesti .....	6
	2.2 Mekatronisen järjestelmän suunnitteluprosessi.....	7
	2.3 Mekatronisen järjestelmän rakenne .....	10
3	KEHITYSPROJEKTIN KARTOITUS JA MENETELMÄT .....	11
	3.1 Alkuperäinen manipulaattori.....	11
	3.2 Kehitystoiveet ja työn rajaukset.....	12
	3.3 Suunnittelussa huomioon otettavat tekijät ja vaatimuslista .....	13
	3.4 Suunnittelutyökalut ja -ohjelmistot.....	14
	3.5 Mekatronisen suunnitteluprosessin soveltaminen .....	15
4	SUUNNITTELU JA TOTEUTUS .....	16
	4.1 Servomootoreiden ja moottorinohjainten valinta .....	16
	4.2 Järjestelmän rakenteen suunnittelu.....	19
	4.2.1 Liikkeen toteuttaminen.....	19
	4.2.2 Runko .....	20
	4.2.3 Tulostettavat komponentit .....	22
	4.3 Muut erilliset komponentit .....	24
	4.4 Johdotukset ja kytkennät.....	26
	4.5 Ohjausjärjestelmän toteutus.....	29
5	TULOKSET .....	31
	5.1 Valmis järjestelmä .....	31
	5.2 Järjestelmän suorituskyvyn arviointi ja testaus .....	32
	5.3 Vertailu järjestelmälle asetettuihin vaatimuksiin .....	34
6	POHDINTA .....	36
	LÄHTEET.....	37
	LIITTEET .....	38
	Liite 1. DC-Servomoottorin 3564 K datalehti.....	38
	Liite 2. Sarjan MCBL 3003/3006 C moottorinohjainten datalehti.....	40
	Liite 3. Kytkentäkaavio .....	44
	Liite 4. Käyttöopas moottorinohjainten käyttöönotosta ja käytöstä.....	45

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena oli Tampereen ammattikorkeakoulun koneautomaatiolaboratorion Festo-solun manipulaattorin päivittäminen. Nykyinen harjoituskäytössä oleva solu on koottu Feston komponenteista ja se sisältää manipulaattorin lisäksi myös muita osajärjestelmiä. Kyseisen solu on jo yli kymmenen vuotta vanha ja on jatkuvassa käytössä koneautomaation laboraatiot-kurssilla PLC-ohjelmoinnin harjoitustöissä. Kovan käytön ja solun iän vuoksi on ilmennyt tarve alkaa suunnittelemaan solun päivitystä.

Tavoitteena opinnäytetyössäni oli suunnitella ja toteuttaa uusi manipulaattori Festo-solun vanhan manipulaattorin tilalle. Tavoitteena olisi, että uusi manipulaattori olisi nykyisin käytössä olevaa manipulaattoria nopeatoimisempi ja tarkempi. Manipulaattorin kehitysprojektissa oli tarkoituksena ottaa huomioon myös etenkin mekatroniseen suunnitteluprosessiin kuuluvia käytäntöjä.

Työ rajattiin kattamaan ainoastaan manipulaattorin uudelleen suunnitteleminen koko Festo-solun päivittämisen sijaan. Lisäksi suunnittelutyössä keskityttiin pääosin itse manipulaattorin mekaniikka- ja sähkösuunnitteluun, eikä manipulaattorille toteutettu omaa ohjelmalogiikkaa, eikä tämän kehitysprojektin tavoitteena ollut vielä korvata alkuperäistä Festo-solun manipulaattoria. Suunnittelussa oli kuitenkin otettava huomioon manipulaattorin tulevaisuudessa tehtävä liittäminen osaksi alkuperäistä Festo-solua, sekä manipulaattorille asetetut toiminnalliset vaatimukset osana kyseisen solun toimintaa.

Tässä raportissa on esitetty toteutuneen kehitysprojektin eri vaiheet ja osa-alueet. Lisäksi on arvioitu työssä toteutetun manipulaattorin vastaavuutta sille asetettuihin vaatimuksiin, sekä esitetty kehitysehdotuksia manipulaattorin jatkokehitystä varten.

## 2 MEKATRONINEN SUUNNITTELU

### 2.1 Mekatroniikka yleisesti

Monet tekniset laitteet, prosessit ja järjestelmät hyödyntävät yhä enemmän mekaniikan, digitaalielektroniikan, sekä tiedonkäsittelyn integraatiota osana yhtä järjestelmää. Tämänkaltaisia järjestelmiä kutsutaan mekatronisiksi järjestelmiksi. Mekatronisissa järjestelmissä pyritään luomaan optimaalinen tasapaino laitteen tai järjestelmän mekaanisen rakenteen, antureiden, toimilaitteiden, sekä ohjausjärjestelmän välille. Mekatroniikan avulla voidaan yksinkertaistaa laitteen mekaanista rakennetta korvaamalla näitä rakenteita elektroniikan ja digitaalisten ohjausjärjestelmien sovelluksilla. Useimmissa tapauksissa myös laitteen tai järjestelmän toiminnot, kuten ohjattavuus ja tarkkuus paranevat. (Isermann 2005, Johdanto)

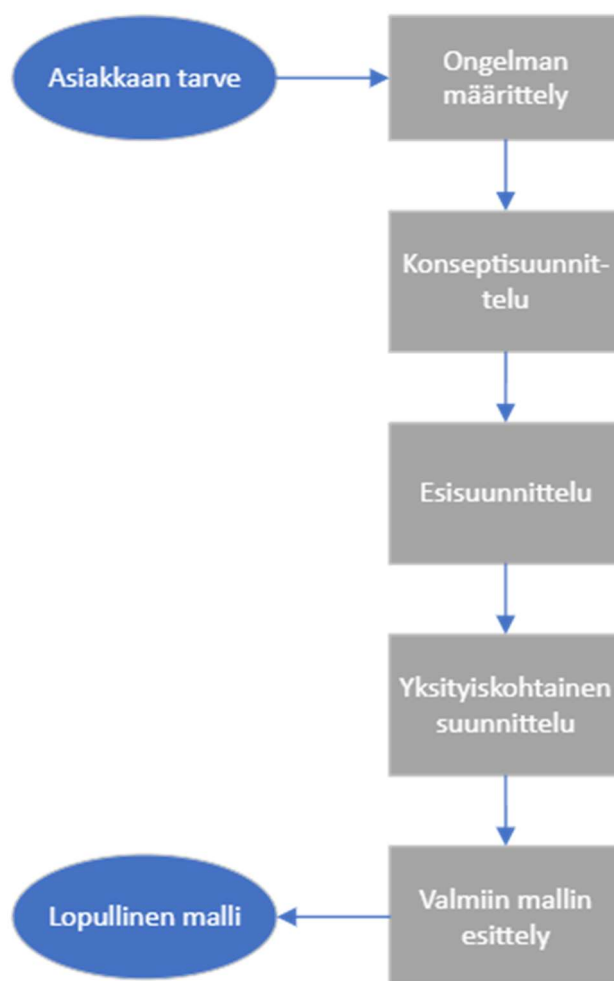
Historiallisesti mekatroniikkaa on hyödynnetty eniten mm. teollisuusautomaatiossa esimerkiksi teollisuusrobottien muodossa, sekä ajoneuvotekniikassa ajonohjausjärjestelmissä ja muissa ajoa helpottavissa sovelluksissa. Teknologian kehitys etenkin prosessointitehon ja elektronisten komponenttien osalta on nykypäivänä kuitenkin mahdollistanut mekatroniikan yhä laaja-alaisemman hyödyntämisen. (Bradley & Russell 2010, 4-5)

Mekatroniikkaa hyödynnetään nykyään todella laajasti. Teollisuuden lisäksi käyttökohteita löytyy esimerkiksi arkisista asioista, kuten älypuhelin kamerasta ja robotti-imureista. Autoissa käytetään kehittyneitä mekatronisia teknologioita mm. ABS-jarruissa ja turvavyönyissä. Myös lääketieteessä on kehitetty korkean tason mekatroniikkaa soveltavia leikkausrobotteja. Avaruustutkimuksessa mekatroniikka on tärkeässä roolissa esimerkiksi vieraiden planeettojen tutkimukseen käytettävistä Mars-mönkijöissä, sekä ISS-avaruusaseman kauko-ohjattavissa robottikäsivarsissa. Mekatroniikka on nykyään siis tärkeässä asemassa usealla eri tekniikan osa-alueella. (Dugan 2019)

## 2.2 Mekatronisen järjestelmän suunnitteluprosessi

Mekatronisen järjestelmän suunnitteluprosessin pohjana käytetään yleensä porastettua suunnitteluprosessia, joka alkaa aina ongelman määrittämisestä ja jota seuraa käytettävästä suunnittelumallista riippuen eri määrä määrättyjä suunnittelun vaiheita. Suunnitteluprosesseista on ajan mittaan luotu useita erilaisia malleja. (Bradley & Russell 2010)

Dym ja Little (2004) ovat esittäneet suunnitteluprosessille ohjeellisen viisiportaisen mallin (kuvio 1.). Jokainen mallin vaihe sisältää tietyt määritellyt tehtävät, jotka tulee saattaa valmiiksi ennen suunnittelun seuraavaan vaiheeseen siirtymistä. Mallin mukaan suunnittelu alkaa asiakkaan tarpeiden kartoituksesta ja päättyy lopulliseen malliin, joiden välistä löytyvät varsinaiset suunnitteluvaiheet. (Dym & Little 2004, 21-23)



Kuvio 1. Viisiportainen suunnitteluprosessia kuvaileva malli

Suunnittelutyö alkaa ongelman määrittelyllä asiakkaalta saatujen tietojen perusteella. Määrittelyvaiheen tehtävinä ovat suunnittelun tavoitteiden selventäminen, rajoitteiden tunnistaminen, sekä käyttäjävaatimusten ja toimintojen määrittäminen. Tässä suunnittelun vaiheessa tiedon kerääminen on tärkeää ja tietoa kannattaa hakea esimerkiksi kirjallisuudesta, standardeista tai säädöksistä. Työkäluna tässä suunnittelun vaiheessa voi käyttää esimerkiksi vaatimusmäärittelymatriisia. Määrittelyvaiheen lopuksi pitäisi olla selvillä, mihin ongelmiin suunnittelutyöllä haetaan ratkaisua ja mitkä ovat työn tarkat tavoitteet, rajoitukset, sekä vaatimukset. (Dym & Little 2004, 24)

Määrittelyvaihetta seuraa konseptisuunnittelu, jonka tavoitteena on laatia aiemmassa vaiheessa määritettyjen tietojen pohjalta tekniset pohjatiedot jatkosuunnittelua varten ja ideoida mahdollisia suunnitteluratkaisuja, eli konsepteja. Ideoinnissa voi hyödyntää esimerkiksi aivoriihimenetelmää, jonka tavoitteena on tuottaa suuri määrä mahdollisia toteutusratkaisuja. Pohjatietoa ideointia varten voi etsiä myös kilpailijoiden tuotteista. Eri konsepteja on hyvä vertailla esimerkiksi morfologisella analyysillä, jonka perusteella konsepteja pyritään pisteyttämään aiemmin määritettyjen vaatimusten perusteella. Eniten pisteitä saaneet konseptit valitaan esisuunnitteluvaiheeseen. (Dym & Little 2004, 24)

Esisuunnitteluvaiheeseen valittua konseptia aletaan testaamaan ja analysoidaan. Tässä suunnittelun vaiheessa konseptin eri ominaisuuksia mallinnetaan ja testataan mm. laboratoriokokeilla ja simulointityökaluilla. Toisin sanoen pyritään siis todistamaan konseptin toteutuskelpoisuus. Esisuunnitteluvaiheen tuloksena löydään lukkoon varsinainen suunnitelma, mitä lähdetään suunnittelutyöllä työstämään valmiiksi malliksi. (Dym & Little 2004, 25)

Yksityiskohtaisen suunnittelun aikana suunnitelma jalostetaan valmiiksi. Erilaiset esisuunnittelussa toimiviksi testatut konseptit kootaan toimivaksi kokonaisuudeksi. Yleensä yksityiskohtaisen suunnittelussa hyödynnetään erilaisia CAD-ohjelmistoja esimerkiksi 3D-mallien tai sähkökaavioiden luomisessa. Suunnittelussa on otettava huomioon myös kaikki tapauskohtaisesti olennaiset standardit, lait ja säädökset, sekä myös käytettyjen ulkoisten tavarantoimittajien komponent-



tien spesifikaatiot. Suunnittelutyön lopputuloksena saadulle mallille tulee toteuttaa myös tapauskohtaiset testit ja tarkistukset. Tämän vaiheen lopputuloksena saadaan viimeistelty malli ja alustavat valmistustiedot asiakkaalle esiteltäväksi. (Dym & Little 2004, 25)

Suunnittelun viimeisessä vaiheessa esitetään suunnittelutyön tuloksena saatu malli, sekä mallin valmistustiedot asiakkaalle. Mallista tulee lisäksi laatia kattavat dokumentit, kuten käyttöoppaat ja tuotespesifikaatiot. Kun myös vaadittavat dokumentoinnit on tehty, on suunnitteluprosessi viety päätökseen. (Dym & Little 2004, 25)

Esiteltu viisiportainen suunnitteluprosessi saattaa vaikuttaa erittäin lineaariselta, eli että eri suunnittelun vaiheissa edetään ainoastaan eteenpäin askel askeleelta. Tosiasiassa koko suunnitteluprosessin ajan mallille suoritetaan testejä ja kerätään asiakaspalautetta, minkä lisäksi saatetaan kohdata odottamattomia ongelmia suunnittelun suhteen. Tällöin suunnittelussa on palattava aiempaan vaiheeseen, tarpeen vaatiessa aina ongelman määrittelyyn asti, jos esimerkiksi asiakkaan tarpeet muuttuvat suunnittelun aikana. (Dym & Little 2004, 26-27)

Mekatronisessa suunnittelussa on myös omat erityispiirteensä verrattuna perinteiseen koneensuunnitteluun. Perinteisellä koneensuunnittelulla toteutettu järjestelmäkin saattaa aluksi näyttää mekatroniselta, vaikka se ei sitä olisikaan. Perinteisesti suunniteltu järjestelmä koostuu yleensä useista osajärjestelmistä, jotka kaikki toteuttavat omaa tehtäväänsä, ja joilla on vain rajallinen kyky esimerkiksi järjestelmien keskinäiseen vuorovaikutukseen. Perinteisen järjestelmän suunnittelu alkaa mekaniikkasuunnittelusta, jonka päälle lähdetään suunnittelemaan sähköjä, ja edelleen järjestelmään sulautettavaa muuta laitteistoa, ohjelmistoa, sekä ohjausjärjestelmää. Lisäksi jokainen osajärjestelmä on yleensä tietyn suunnittelutiimin toteuttama. (Březina & Singule 2006, 5)

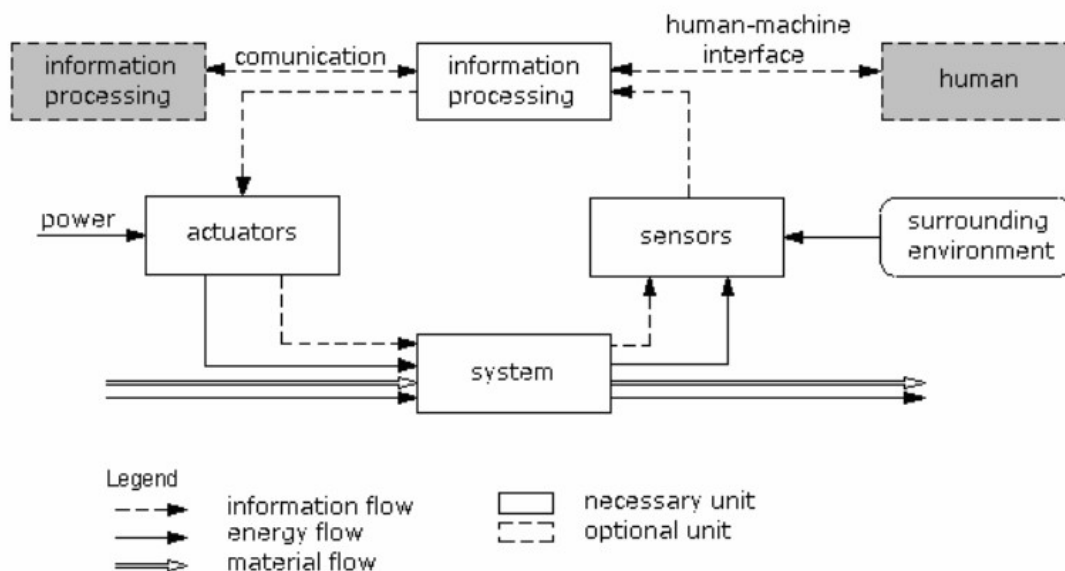
Aidosti mekatronisesti suunniteltu järjestelmä ei sisällä varsinaisia itsenäisiä osajärjestelmiä vaan yhden järjestelmän, minkä eri osilla on mahdollisimman suuri integraatio ja yhteistoiminnallisuus. Myös näiden osajärjestelmien suunnittelu toteutetaan käytännössä yhtenä kokonaisuutena, eli esimerkiksi mekaniikkasuun-

nittelua ja ohjausjärjestelmän suunnittelua tehdään samanaikaisesti. Tämänkaltaisella suunnittelulla varmistetaan järjestelmän eri palasten mahdollisimman su-lava integraatio ja maksimaalinen toiminnallisuus yhtenä kokonaisuutena. (Březina & Singule 2006, 5-6)

### 2.3 Mekatronisen järjestelmän rakenne

Mekatronisen järjestelmän perusrakenne (kuvio 2.) voidaan jakaa neljään perus-osioon: perussysteemiin, toimilaitteisiin, antureihin, ja tietoa käsittelevään yksikköön. Perusosioiden lisäksi järjestelmä yleensä sisältää myös erityisen HMI-elementin, jonka tarkoituksena on helpottaa järjestelmän hallintaa ja tarkastelua. (Březina & Singule 2006, 8-9)

Perussysteemillä tarkoitetaan yleensä mekatronisen järjestelmän sitä raken-etta, mihin järjestelmän toimilaitteilla pyritään vaikuttamaan. Toimilaitteet siis toteuttavat järjestelmään tehtävät muutokset. Anturit seuraavat perussysteemin toimintaa, esimerkiksi sijaintia ja lähettävät signaalia tietoa käsittelevälle yksikölle. Tietoa käsittelevänä yksikkönä toimii yleensä mikroprosessori, mikä toteuttaa jär-jestelmän ohjaamisen. (Březina & Singule 2006, 8-9)



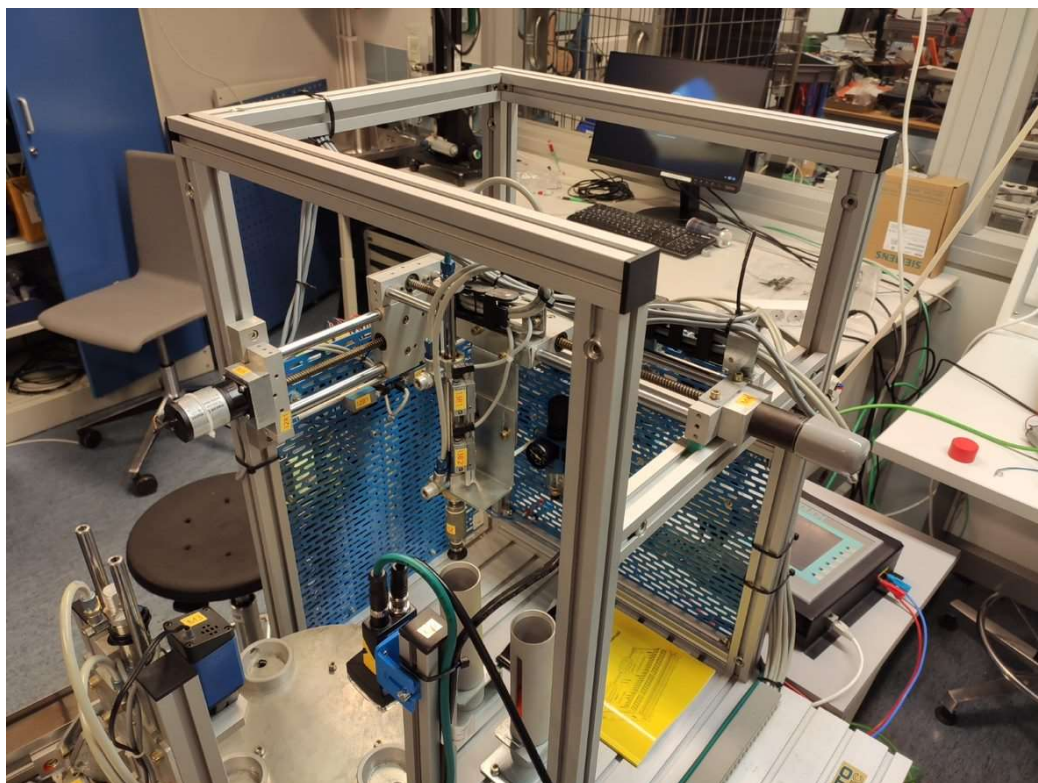
Kuvio 2. Mekatronisen järjestelmän perusrakenne (Březina & Singule 2006, 8)

### 3 KEHITYSPROJEKTIN KARTOITUS JA MENETELMÄT

#### 3.1 Alkuperäinen manipulaattori

Kehityksprojektissa tarkoituksena oli aloittaa Tampereen ammattikorkeakoulun koneautomaation laboratoriossa sijaitsevan Festo-solun päivittäminen. Ensimmäiseksi päivityskohteeksi, ja tämän kehityksen aiheeksi, määriteltiin solun manipulaattori (kuva 1.), jonka toiminnan hitaus ja kankeus heikentävät sen toiminnallisia mahdollisuuksia.

Alkuperäisen manipulaattorin liike on toteutettu sähköisillä servomootoreilla ja trapetsiruuveilla. Manipulaattorin tarttujana on käytössä paineilmalla toimiva alipainetarttuja ja tarttujan pystysuuntainen liike on toteutettu paineilmasyylinterillä.



Kuva 1. Nykyinen käytössä oleva manipulaattori

Manipulaattorin rooli osana Festo-solun toimintaa on noutaa kappale pyörivältä siirtopöydältä prosessin aikaisemmasta vaiheesta ja varastoida se toiseen kahdesta manipulaattorin alla sijaitsevasta varastointipaikoista prosessissa aiemmin

määritettyjen muuttujien perusteella. Manipulaattorin ohjauslogiikkana on käytössä Siemensin S7 300-PLC, joka vastaa manipulaattorin lisäksi myös solun muista toiminnoista. Lisäksi järjestelmään on yhdistetty HMI-paneeli, jolla voidaan toteuttaa manipulaattorin käsiajo ja kalibrointi.

Alkuperäisen manipulaattorin suurimpana heikkouksena on sen liikkeen hitaus. Lyhyenkin liikkeen toteuttaminen vie useita sekunteja. Liike itsessään on tarkkaa ja manipulaattoria on mahdollista liikutella kohtalaisen suurella alueella, mutta osaksi liikkeen hitauden takia manipulaattorin mahdollisesta liikkumisalueesta hyödynnetään harjoitustöissä vain pientä osaa. Lisäksi paineilmasylinterin käyttäminen manipulaattorin tarttujan nostamisessa ja laskemisessa rajaa tarttujan pystysuuntaisen liikkeen kahteen pisteeseen, mikä käytännössä myös pienentää manipulaattorin liikkumisaluetta.

### **3.2 Kehitystoiveet ja työn rajaukset**

Työnantona oli suunnitella käytännössä täysin uusi manipulaattori vanhan manipulaattorin tilalle. Manipulaattorin rakentaminen oli määrä toteuttaa omalle Festo-solusta erillään olevalle alustalle ja uusi manipulaattori kytkettäisiin myöhemmin vanhan solun prosessiin esimerkiksi liukuhihnoilla.

Uuden manipulaattorin tulisi olla edeltäjänsä nopeatoimisempi ja pystyä toteuttamaan tarkasti määritellyjä ja tarkkoja liikkeitä xyz-koordinaatistossa. Manipulaattorin tarttujalla tulisi myös pystyä tarttumaan eri muotoisiin ja kokoisiin kappaleisiin ja manipulaattorin pitäisi kyetä liikuttelemaan ne tarkkoihin erikseen määritettyihin pisteisiin manipulaattorin toiminta-alueella.

Lopullisena tavoitteena täysin valmiille manipulaattorille olisi, että uusi manipulaattori pystyisi varastoimaan manipulaattorille saapuvat kappaleet automaattisesti esimerkiksi kappaleiden koon tai muodon perusteella erikseen määritettyihin varastopaikkoihin. Manipulaattorin tulisi myös pystyä noutamaan jo varastoidut kappaleet esimerkiksi erilliselle liukuhihnalle, joka kuljettaisi kappaleet pois manipulaattorilta.

Tämän opinnäytetyön aikana tehtävästä kehitysprojektista rajattiin jo valmiiksi suuren työmäärän takia pois varsinaisen ohjelmalogiikan ohjelmointi, esimerkiksi aiemmin mainitun varastointiominaisuuden osalta. Projektissa päädyttiin keskittymään vain manipulaattorin varsinaisten liiketoimintojen kannalta olennaisten osioiden suunnitteluun, toteutukseen, sekä testaukseen.

Alun perin projektin aikana oli myös tarkoitus suunnitella manipulaattorille tarttuja, joka pystyisi tarttumaan mahdollisimman monenlaisiin eri muotoisiin ja kokoiisiin kappaleisiin. Myöhemmässä vaiheessa uuden tarttujan suunnittelu kuitenkin rajattiin pois kehitysprojektista ja manipulaattorille asennettiin tavallinen paineilma-toiminen kaksileukainen tarttuja.

### 3.3 Suunnittelussa huomioon otettavat tekijät ja vaatimuslista

Kehitettävälle manipulaattorille määritettiin asiakkaan toiveiden perusteella tarkennetut vaatimukset eri toiminnoille, mitkä kerättiin kokoon vaatimuslistaan (taulukko 1.). Vaatimukset toimivat lähtökohtana suunnittelutyölle ja niiden lisäksi kehitystyön aikana tapahtui jatkuvaa kommunikaatio asiakkaan kanssa esimerkiksi erilaisten toteutusideoiden ehdottamisessa.

TAULUKKO 1. Kehitettävälle manipulaattorille määritetyt vaatimukset

Toiminto	Vaatus
Liike	Manipulaattoria mahdollista liikuttaa x-, y, sekä z-suunnissa, liikkeen toteutus servomootoreilla
Manipulaattorin nopeus	Päästä-päähän liikematkaan tulisi kulua enintään n. 2 sekuntia. Nopeusarvio liikenopeudelle n. 0,15–0,25 m/s.
Toistotarkkuus	Manipulaattori pitää pystyä ajamaan toistuvasti tarkkoihin liikkeelle määritettyihin koordinaatteihin
Tarttuja	Pystyttävä tarttumaan eri mallisiin ja kokoiisiin kappaleisiin
Turvallisuus	Liikkeen pysäyttävät toiminnot manipulaattorin toiminta-alueen rajoilla
Ohjauslogiikka	Oltava Siemens S7-1200 yhteensopiva
Toiminnallisuus	Manipulaattorilla oltava mahdollista toteuttaa "varastotoiminto"

Vaatimuslista sisältää myös vaatimuksia toiminnoille, jotka on rajattu tämän kehitysprojektin ulkopuolelle. Ohjauslogiikaksi määritettiin jo tässä vaiheessa Siemensin S7-1200 PLC, vaikka varsinaisesti kyseistä PLC:tä ei ole tarkoitus tämän projektin aikana ottaa vielä osaksi manipulaattorin toimintaa. Manipulaattorin toiminnallisuudelle on myös asetettu vaatimus pystyä toteuttamaan aiemmin esitetty varastointitoiminto, mutta tarkoituksena ei ole kyseistä toimintoa vielä toteuttaa. Suunnittelutyössä on otettava kuitenkin huomioon, että esimerkiksi valitut komponentit, kuten moottorit ovat S7-1200 yhteensopivia ja niillä on ohjelmoinnin kautta myöhemmin mahdollista toteuttaa vaaditut toiminnot.

### **3.4 Suunnittelutyökalut ja -ohjelmistot**

Mekatronisessa suunnittelussa on tarkoitus toteuttaa mekatronisen laitteen mekaaninen, sähköinen, sekä ohjelmallinen suunnittelu. Tämän kehitysprojektin aikana oli käytössä erilaisia suunnittelun työkaluina käytettäviä ohjelmistoja, jotka helpottivat ja nopeuttivat suunnitteluprosessia.

Kehitysprojektin mekaanisen suunnittelun perustana toimi CAD-mallinnusohjelma Solidworks. Ohjelma mahdollisti manipulaattorin kokoonpanon suunnittelun virtuaalisesti ja auttoi myös erilaisten toteutusideoiden vertailussa ja hahmotelussa suunnitteluprosessin eri vaiheissa. Solidworks toimi myös mallinnussovelluksena kokoonpanossa käytetyille 3D-tulostetuille osille.

3D-tulostetut kappaleet olivat tärkeä osa suunnitellun manipulaattorin kokoonpanoa. Projektissa käytettynä tulostimena toimi Prenta CXY-tulostin ja tulostusmateriaalina PLA-muovi. Solidworksilla mallinnettujen kappaleiden muuttaminen tulostettavaan g-koodimuotoon suoritettiin Simplify3D-ohjelmalla.

Projektin sähkösuunnittelu oli kohtalaisen nopeaa ja yksinkertaista työhön valikoituneiden komponenttien takia. KytKentöjä varten piirrettiin kuitenkin kytkentäpiirustukset CADMATIC Electrical-ohjelmistolla.

Varsinainen ohjelmointityö rajattiin tämän kehitysprojektin ulkopuolelle, vaikka se periaatteessa kuuluisikin osaksi mekatronista kehitysprojektia. Järjestelmän toi-

minnan testaamiseksi käytössä oli kuitenkin FAULHABER Motion Manager 6-ohjelma, joka mahdollisti työssä käytettyjen servomoottoreiden ajamisen ja manipulaattorin toiminnallisuuden testaamisen.

### **3.5 Mekatronisen suunnitteluprosessin soveltaminen**

Suunnittelutyössä seurattiin soveltuvilta osin mekatronisen suunnitteluprosessin oppeja. Käytännössä tämä ilmeni projektin eri osa-alueiden, kuten mekaanisen suunnittelun, sähkösuunnittelun ja komponenttivalintojen, edistämistä samanaikaisesti.

Toimivan integraation ja järkevän mekatronisen kokoonpanon aikaansaamiseksi esimerkiksi mekaanisessa suunnittelussa keskityttiin tarkasti myös vaadittavien johdotusten ja erilaisten erillisten komponenttien, kuten servomoottoreiden, sijaintiin. Samanaikaisesti edistettiin siis projektin suunnittelun kaikkia osa-alueita ja näiden toimintaa testattiin kattavasti ja jatkuvasti projektin edetessä.

## 4 SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

### 4.1 Servomootoreiden ja moottorinohjainten valinta

Suunniteltavan manipulaattorin liikkeelle olivat vaatimuksina, että liikkeen on oltava tarkkaa ja nopeaa. Oikeanlaisen DC-servomootorin valitsemalla pystytään helposti toteuttamaan molemmat edellä mainituista vaatimuksista. Lisäksi liikkeen tulee tapahtua kolmessa suunnassa, joten servomootoreita vaaditaan vähintään kolme kappaletta, joista jokainen toteuttaa liikkeen yhdessä ulottuvuudessa. Servomootorin tyypistä ja mallista riippuen tarvitaan moottorin käyttämiseksi myös oikeanlainen moottorinohjain, joka ohjaa moottorin toimintaa moottorin virransyöttöä säätämällä.

Yleensä sähkömoottori mitoitettaisiin sen käyttökohteen mukaan, jonka jälkeen sopiva moottori tilattaisiin. Tässä tapauksessa käytettävissä oli kuitenkin hyvin useita erilaisia servomootoreita, joten tarvetta moottoreiden tilaamiselle ei ollut. Lähtökohtaisesti suunnitelmana oli valita koneautomaatiolaboratorion varastoista ominaisuuksiltaan paras mahdollinen servomoottori.

Koneautomaatiolaboratorion varastoissa oli muutamia sopivia servomootoreita. Ylivoimaisesti ominaisuuksiltaan parhaaksi osoittautui kuitenkin Faulhaberin valmistama 3564K024B-K1155 DC-servomoottori (kuva 2.), jonka datalehti löytyy tämän raportin liitteenä. Kyseisiä moottoreita oli varastossa useita kappaleita, joten niillä voitiin toteuttaa kaikki tarvittavat kolme liikesuuntaa.

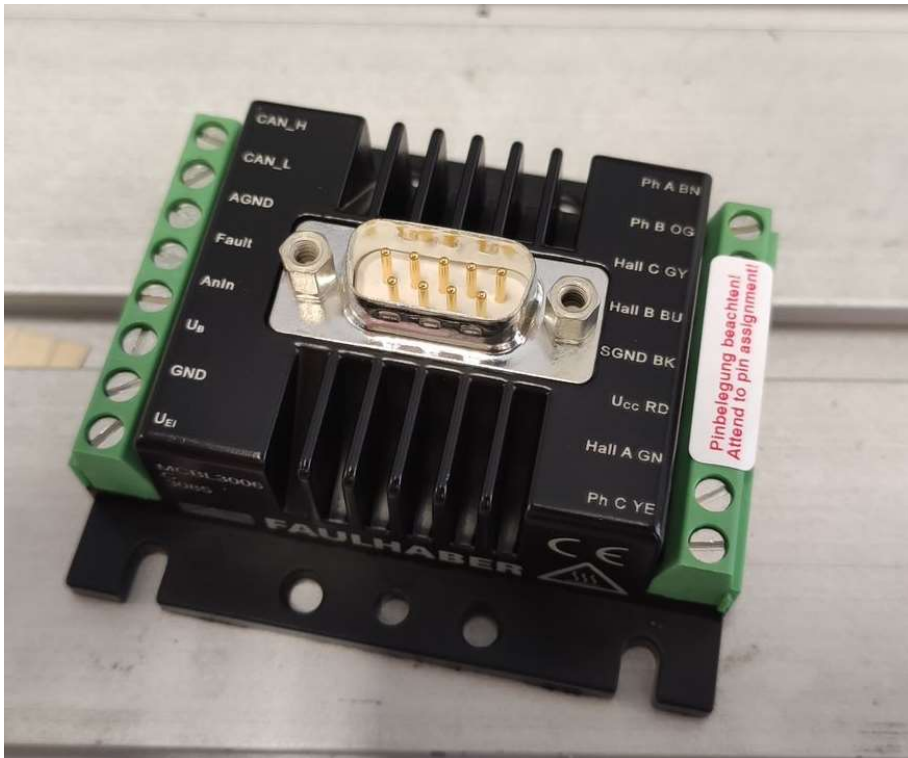




KUVA 2. 3564K024B-K1155 DC-servomoottori

Ominaisuuksiltaan 3564K024B-K1155-servomoottori sopii projektiin etenkin sen korkean pyörimisnopeuden ja erittäin hyvän tarkkuuden takia. Moottorin nimellisyörimisnopeus jatkuvalle käytölle on 9620 kierrosta minuutissa ja moottori sisältää analogiset Hall-anturit, joiden ansiosta oikeanlaista moottorinohjainta käyttämällä saavutetaan moottorille erittäin korkeatasoinen 3000-resoluution paikoitus. Moottorin nimellisvääntömomentti on 55,3 mNm ja jo valmiiksi korkean pyörimisnopeuden ansiosta vääntömomenttia voidaan kasvattaa esimerkiksi lisäämällä moottorin akselin ja liikkeen kohteen väliin halutun välityssuhteen hammastus.

Valitut servomoottorit on suunniteltu käytettäväksi yhdessä Faulhaberin MCBL-sarjan moottorinohjaimilla, jotka kykenevät tulkitsemaan moottoreiden analogisten Hall-antureiden jännitetasoja moottorin paikoituksen paikoitukseen. Koneautomaatiolaboratorion varastoissa oli MCBL 3006 C-moottorinohjaimia, jotka valikoituvat työhön käytettäväksi.



KUVA 3. Faulhaberin MCBL 3006 C -moottorinohjain

MCBL 3006C- moottorinohjaimissa on sisäänrakennettuna mikrokontrolleri, joka mahdollistaa useita eri ominaisuuksia ja mahdollisuuksia moottorinohjaimen käytössä. Ohjaimessa on mm. sisäänrakennettu PID-ohjain ja useita paikkoja suoraan ohjaimelle liitettävälle I/O:lle ja ohjelmointia varten ohjaimesta löytyy myös sarjaporttiliitäntä. Ohjaimella on mahdollista paikoittaa analogisilla Hall-antureilla varustettu servomoottori 3000-resoluution tarkkuudella.

Ohjaimen heikkoutena tämän kehitysprojektin näkökulmasta on sen käyttämä CANopen-väylätekniikka tiedonsiirrossa, joka ei ole suoraan yhteensopiva esimerkiksi työn vaatimuksissa määritetyn S7-1200 PLC:n kanssa. Siemens kuitenkin valmistaa S7-1200 CM CANopen-moduulia, minkä avulla CANopen-väylän käyttö onnistuu myös S7-1200-sarjan PLC:llä. Kyseisen moduuli myös tilattiin työtä varten, mutta pitkien toimitusaikojen takia se ei ehtinyt saapua projektin aikana.

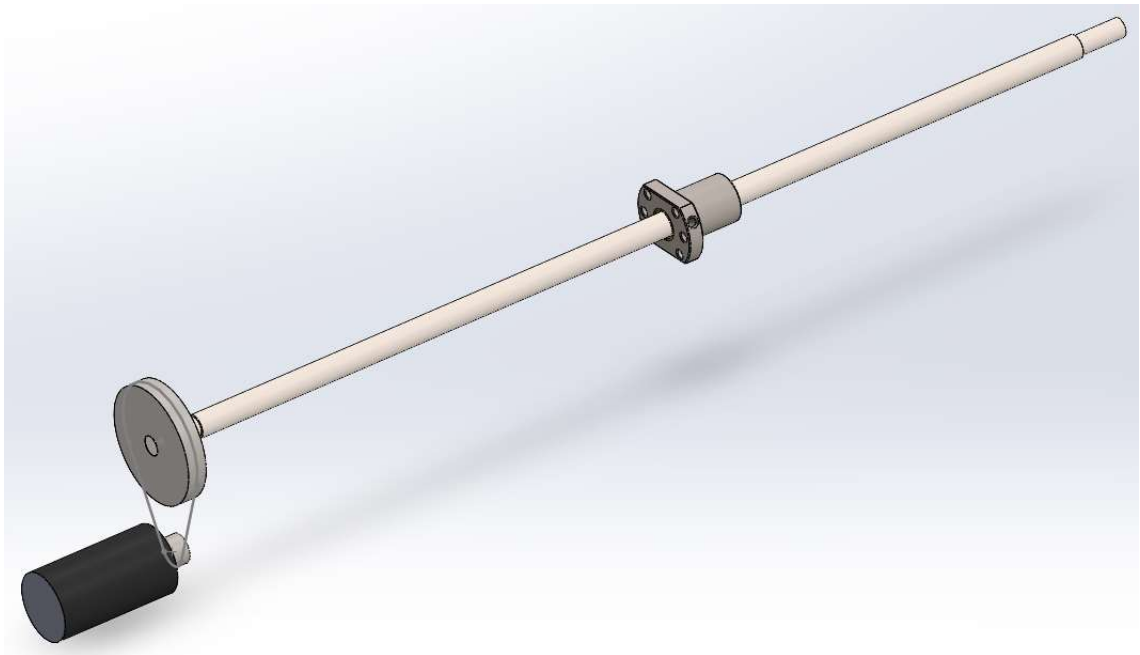
## 4.2 Järjestelmän rakenteen suunnittelu

Manipulaattorin mekaanisen puolen suunnittelu toteutettiin suurimmilta osin Solidworksia hyödyntämällä. Järjestelmästä luotiin mallinnettu kokoonpano, mitä päivitettiin jatkuvasti projektin edetessä. Kokoonpanomalli toimi kaiken suunnittelutyön tukena esimerkiksi mitoituksessa ja 3D-tulosteiden mallintamisessa.

### 4.2.1 Liikkeen toteuttaminen

Manipulaattorin varsinaisen liikkeen toteuttamisessa päädyttiin käyttämään x- ja y-suunnan liikkeille laakerillisia kuularuuveja. Kuularuuvit ovat hyvä vaihtoehto tarkan liikkeen toteuttamiseksi, ja niillä on helppo muuntaa moottorin pyörimisliike lineaariseksi liikkeeksi. Koneautomaation laboratoriossa oli käytettävissä useita eri mittaisia ruuveja, ja työssä päädyttiin lopulta käyttämään 525 mm pituisia ruuveja. Valitut ruuvit mahdollistavat manipulaattorille pitkät liikematkat ja kasvattavat sen toiminta-alueen kokoa. Pystysuuntaisen liikkeen toteuttamiseen valikoitui lyhyempi ja kevyempi trapetsiruuvi.

Kuularuuvien kierteen nousu on 4 mm, eli yhden ruuvin kierroksen aikana liikkuu ruuvin liikuttama laakeri neljä millimetriä. Työhön valittujen servomoottoreiden nimellispyörimisnopeuden ollessa 9620 kierrosta minuutissa, liikkuisi ruuvin laakeri sekunnin aikana 641 mm. Toteuttamalla voimansiirto hihnavetoisesti moottorin akselilta ruuville (kuva 4.), voidaan akselin ja ruuvin välille luoda haluttu välityssuhde suurentamaan moottorilta saatavaa momenttia. Välityssuhteella 4:1 olisi kuularuuvin laakerin liikenopeus moottorin nimellispyörimisnopeudella noin 0,16 m/s, mikä täyttää manipulaattorin liikenopeudelle asetetut vaatimukset ja nostaa moottorilta saatavan momentin nelinkertaiseksi. Suurempi momentti helpottaa raskaamman kuorman siirtämistä, joten manipulaattorin muiden rakenteiden suunnittelussa ei tarvitse ottaa rakenteiden massaa yhtä tarkasti huomioon.



KUVA 4. Solidworksissa luotu hahmotelma voimansiirrosta moottorilta ruuville

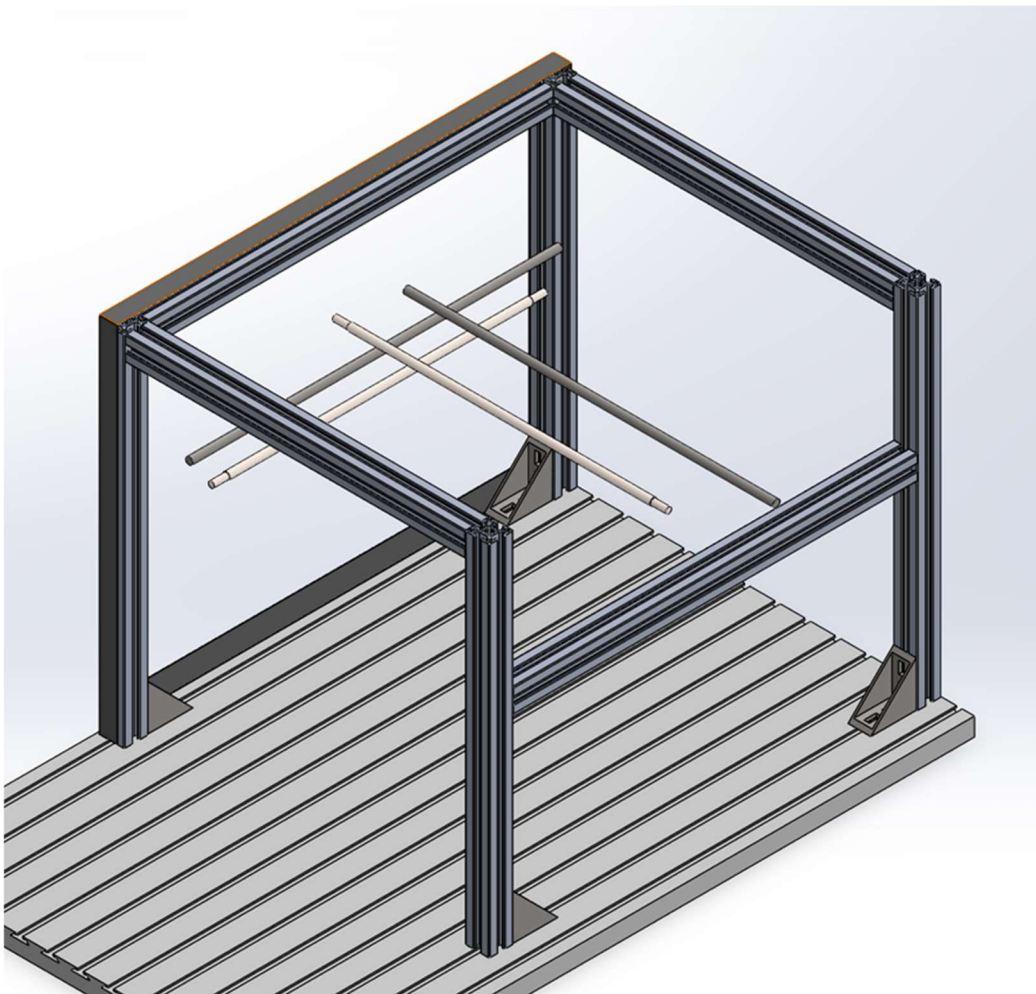
Työhön valitun servomoottorin akselille sopivia hammastettuja hihnapyöriä ei koneautomaation laboratorion tiloista löytynyt, moottorin akseli on halkaisijaltaan vain 4 mm. Työtä varten tilattiin setti 4:1 välityssuhteella teetettyjä hihnapyöriä, hammasluvuilla 15 ja 60, sekä hammastettuja hihnoja.

Kuularuuvien liikkeen vastakappaleeksi suunniteltiin käytettävän alumiinisia lineaariakseleita. Lineaariakseleita oli laboratoriossa saatavilla useassa eri mitassa, minkä lisäksi akseleille oli valittavissa eri mallisia lineaarilaakereita. Lineaarilaakereiden ja kuularuuvien laakereiden yhdistelmä oli suunnittelun kannalta helppo toteuttaa mm. monipuolisten kiinnitysmahdollisuuksien mukaan. Työhön valittiin 600 mm mittaiset, halkaisijaltaan 12 mm kokoiset lineaariakselit ja näille sopivat lineaarilaakerit.

#### 4.2.2 Runko

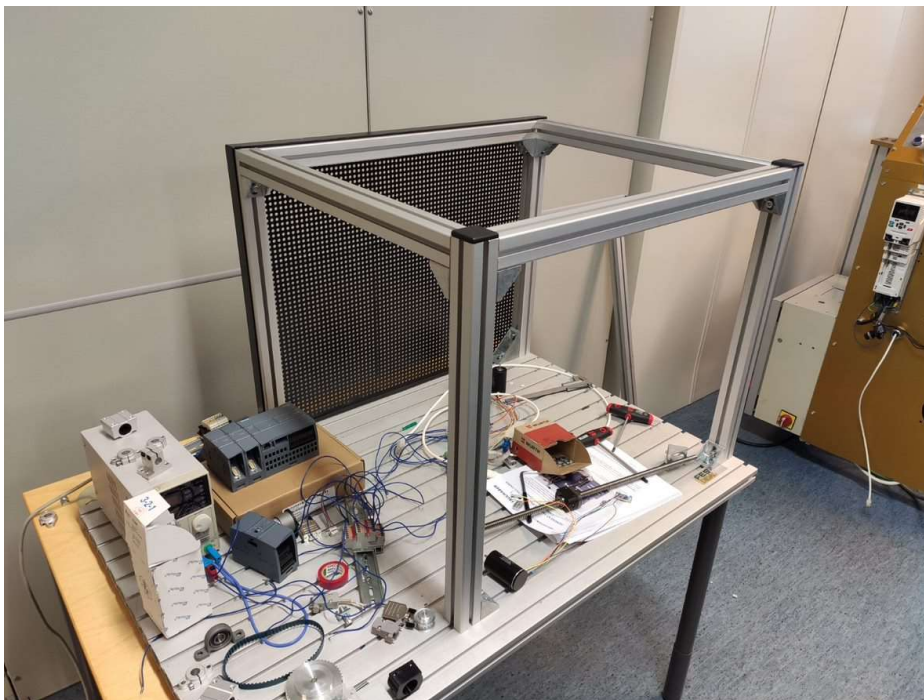
Järjestelmän runko mitoitettiin työssä käytettäväksi valittujen kuularuuvien, sekä ohjauslogiikan ja muiden kytkentöjen asentamista varten tarkoitetun kytkentäalustan mukaan. Rungon kehikkomainen rakenne koottiin pääosin alumiiniprofiilipaloista. Järjestelmän alustana toimi alumiinista pursotettu levy, johon oli helppo kiinnittää muita alumiiniprofiilirakenteita. Ohjauslogiikkaa ja muita kytkentöjä varten tarkoitettu kytkentäalusta kiinnitettiin kehikkorakenteen yhdelle sivulle.

Kaikkien rakenteiden suunnittelu ja mitoittaminen toteutettiin mallintamalla järjestelmästä kokoonpano Solidworksissa (kuva 5.), mihin sisällytettiin myös projektiin valittujen kuularuuvien, lineaariakselien, sekä kytkentäalustan ja varsinaisen järjestelmän alustan mallit. Alumiiniprofiilin palat mitoitettiin muihin komponentteihin nähden sopivan mittaisiksi, jotta esimerkiksi kytkentäalustan kiinnittäminen kokoonpanoon olisi mahdollista toteuttaa järkevästi. Kokoonpanomallinnuksessa käytettiin muiden komponenttien tarkkoja mittoja, minkä johdosta tarvittavien alumiiniprofiilipalasten mitat voitiin ottaa myöhemmässä kokoonpanovaiheessa suoraan mallinnetusta kokoonpanosta.



KUVA 5. Mallinnettu suunnitelma järjestelmän rungosta

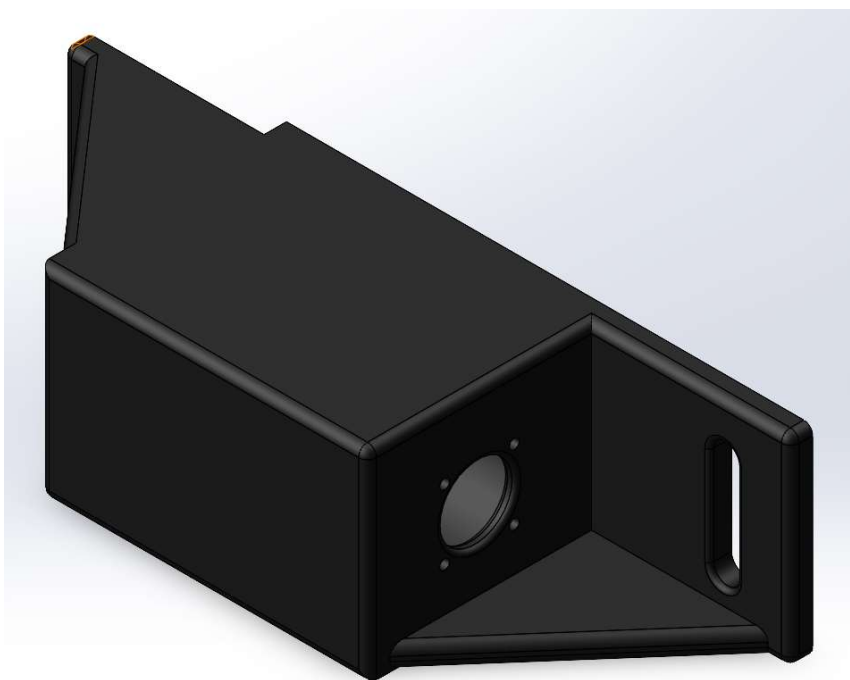
Profiilipalaset leikattiin myöhemmin mallinnuksessa mitoitettuihin mittoihinsa fyysisessä kokoonpanovaiheessa. Runko koottiin liittämällä alumiiniprofiilin palat toisiinsa kyseiselle alumiiniprofiilille tarkoitetuilla kulmapaloilla (kuva 6.).



KUVA 6. Manipulaattorin runko koottuna

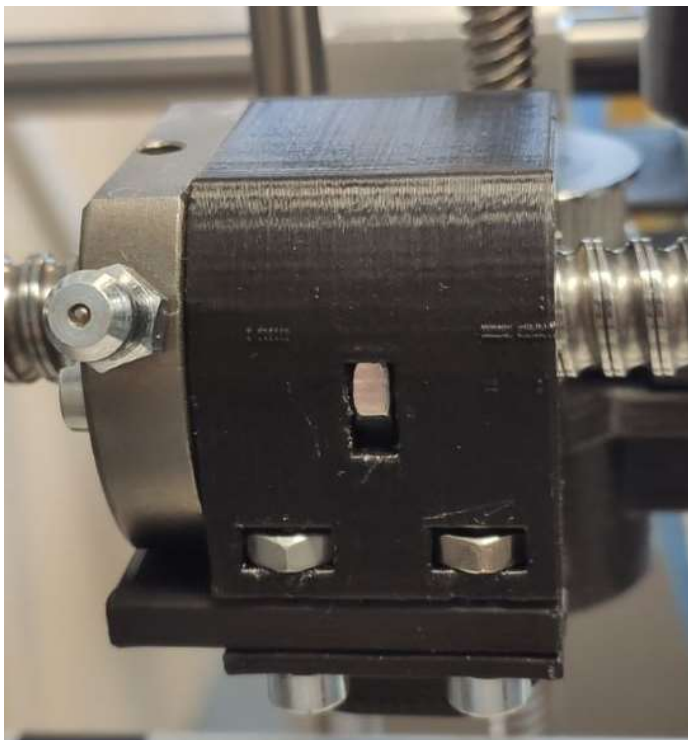
#### 4.2.3 Tulostettavat komponentit

Manipulaattorin kokoonpanossa päädyttiin hyödyntämään useita 3D-tulostettuja osia esimerkiksi kiinnikkeinä työssä käytetyille moottoreille ja antureille (kuva 7.). Kaikkien tulosteiden materiaalina toimi PLA-muovi.



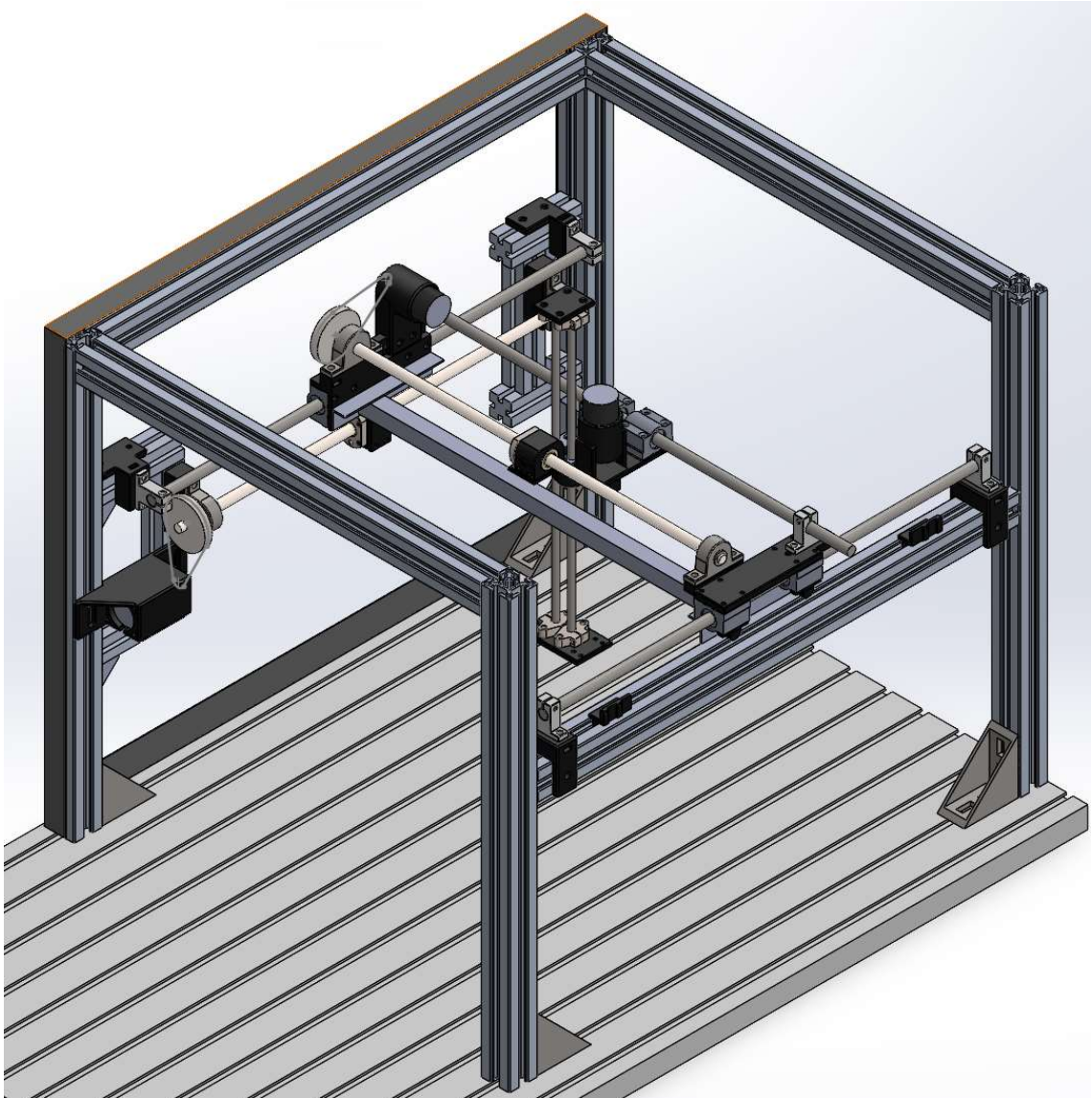
KUVA 7. Yksi tulostamista varten mallinnetuista moottorikiinnikkeistä

Tulosteiden suunnittelu oli hyvin tapauskohtaista ja ne suunniteltiin täyttämään aina tietty tehtävä. Tulosteita suunnitellessa huomioon piti ottaa etenkin tulosteen käyttökohteessa vaikuttavat voimat, jotta tulostetuista kappaleista saataisiin riittävän kestäviä. Kestävyyteen vaikuttaa esimerkiksi tulosteen seinämienpaksuudet ja muodot, sekä tulostussuunta. Rakenteiden kestävyttä on myös mahdollista parantaa erilaisten metallirakenteiden avulla. Esimerkiksi kestäviä kierteitä varten tulostettavaan kappaleeseen voidaan suunnitella paikka siihen upotettavalle mutterille (kuva 8.).



KUVA 8. Kuularuuvien laakeriin tulostettu kiinnike, joka sisältää useita upotettuja muttereita

Kehitysprojektin varsinaisen fyysisen kokoonpanon aikana ilmeni, että osa tulostetuista komponenteista käyttävistä rakenteista joustivat liikaa. Ongelma ratkesi suunnittelemalla sopivia metallisia rakenteita tulostettujen rakenteiden tueksi tuomaan järjestelmään lisää jäykkyyttä ja kestävyttä. Viimeisin mallinnettu kokoonpano (kuva 9.) sisältää käytännössä kaikki työssä käytetyt tulostetut rakenteet ja näiden rakenteiden tueksi suunnitellut metalliset tukirakenteet.



KUVA 9. Kuva viimeisimmästä kokoonpanomallista, tulostettavat komponentit on maalattu mustalla

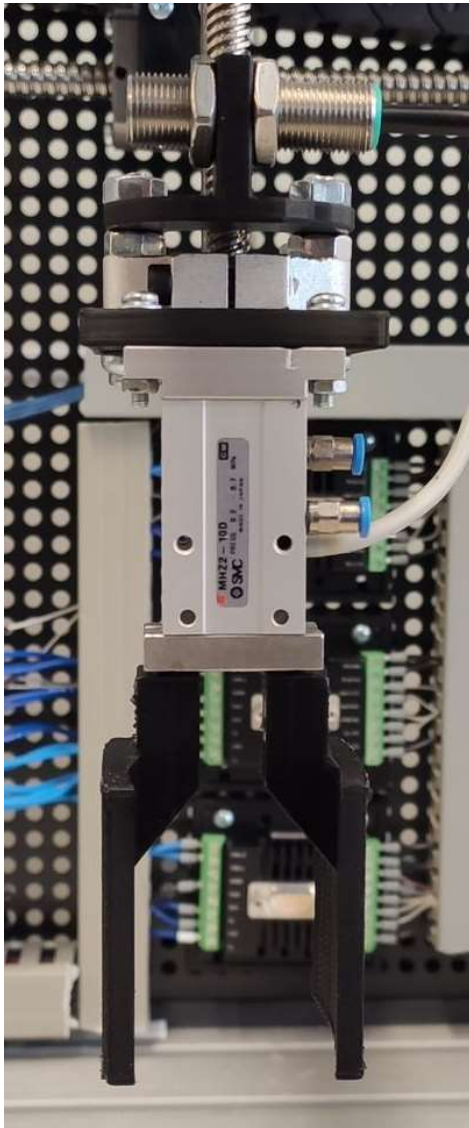
### 4.3 Muut erilliset komponentit

Alun perin manipulaattorille oli tarkoitus suunnitella tarttuja, joka kykenisi tarttumaan useisiin eri kokoisiin ja muotoisiin kappaleisiin. Myöhemmässä vaiheessa kuitenkin koettiin järkevämmäksi käyttää valmista tarttujaa, mutta tehdä tarttujan uudelleen suunnittelu tai vaihto tulevaisuudessa mahdollisimman helpoksi. Käytettäväksi valikoitui SMC:n MHZ2-10D-mallin paineilmatoiminen tarttuja, johon mallinnettiin ja tulostettiin sopivan kokoiset tarttujakourat (kuva 10.).



Tarttujaa ei otettu tämän kehitysprojektin aikana käyttöön puuttuvan ohjauslogiikkayksikön takia. Tarttujan vaatimat paineilmalinjat ja tarttuja itsessään asennettiin kuitenkin valmiiksi myöhempää käyttöönottoa varten.

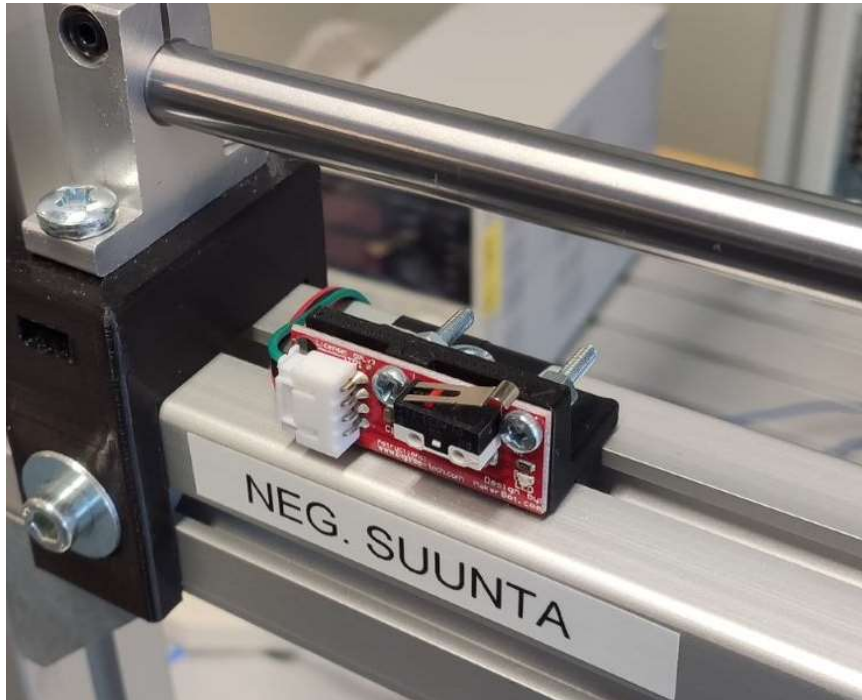
Tarttujan yläpuolelle asennettiin induktiivinen anturi, joka aktivoituu z-suuntaisen liikkeen ylärajalla. Induktiivisella anturilla rajoitetaan tarttujan pystysuuntaista ajamista ulos sen suunnitellulta toiminta-alueelta.



KUVA 10. Asennettu MHZ2-10D-tarttuja, jonka yläpuolella z-suunnan liikettä rajaava induktiivinen anturi

Myös x- ja y-suuntaiset liikeradat päätettiin rajoittaa mekaanisilla rajakytkimillä (kuva 11.), jotka asennettiin kummankin liikesuunnan pätyihin. Rajakytkiminä käytettiin MakerBot Mechanical Endstop V1.2-mallin rajakytkimiä, joita voidaan

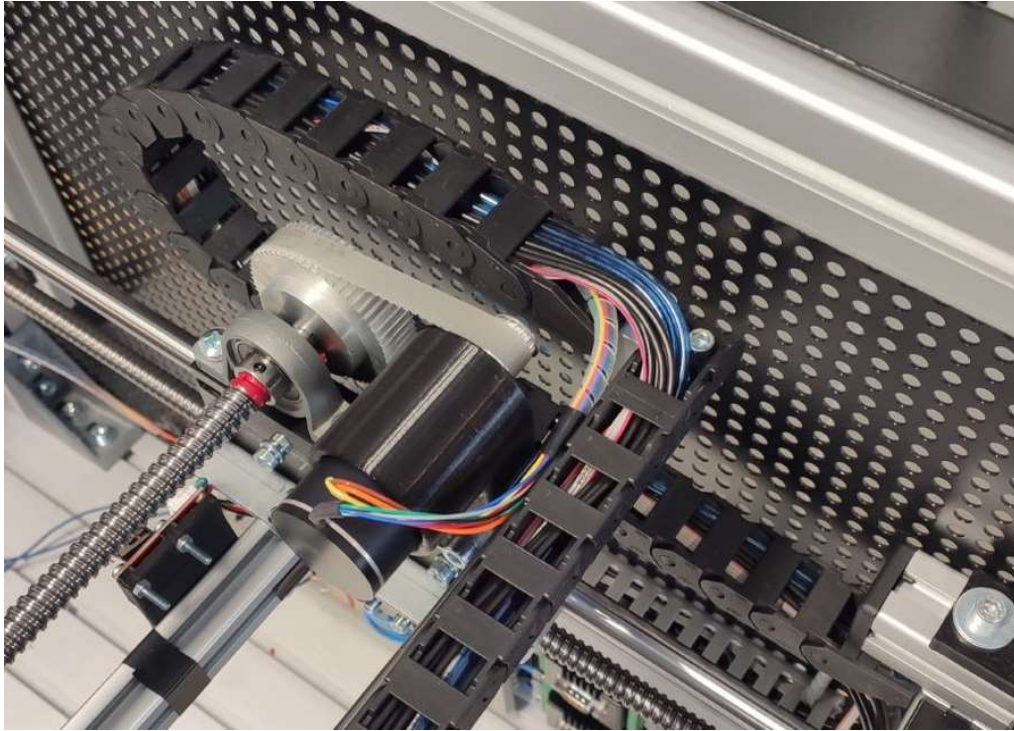
käyttää niin NO-, kuin NC-tilassa. Rajakytkimet otettiin alustavasti käyttöön NO-tilassa, mutta niiden kytkentä voidaan helposti muuttaa NC-tilaan.



KUVA 11. Manipulaattorin x-suuntaisen liikkeen nollapäädyn rajakytkin

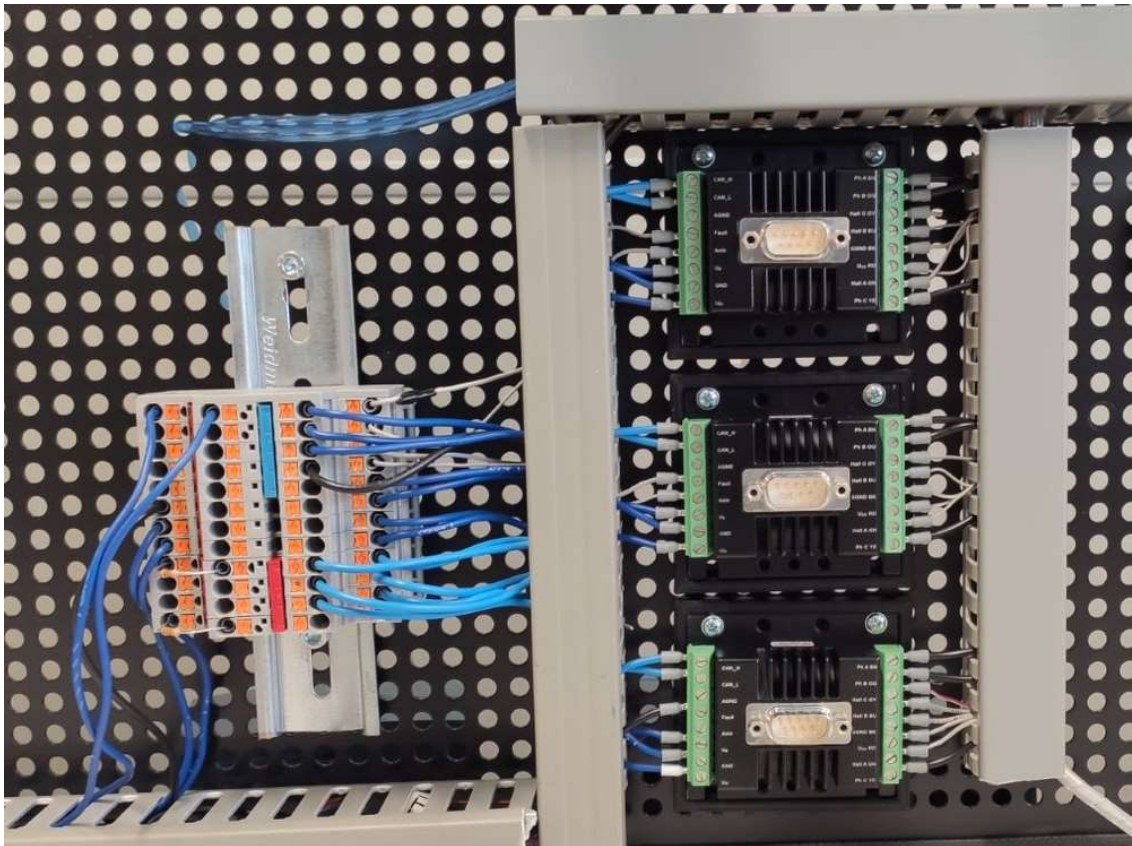
#### 4.4 Johdotukset ja kytkennät

Suurin osa moottoreiden ja muiden elektronisten komponenttien johdotuksista vedettiin energiansiirtoketjujen läpi (kuva 12.). Samalla tavalla vedettiin myös manipulaattorille viedyt paineilmaletkut. Energiansiirtoketjun sisällä kulkevat johdot eivät pääse roikkumaan, eivätkä näin ollen aiheuta turhia riskejä manipulaattorin liikkussa. Energiansiirtoketjuille oli jätetty tarpeeksi tilaa jo aiemmissa suunnittelun vaiheissa, joten niiden asentaminen onnistui ilman ongelmia.



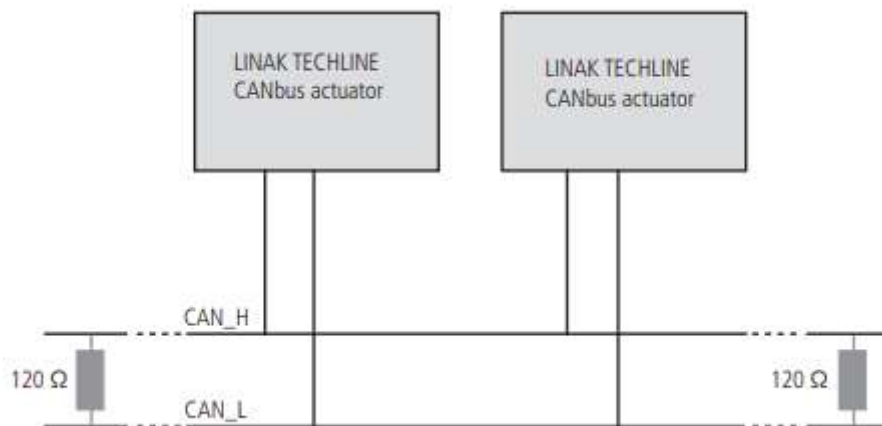
KUVA 12. Johdotukset energiansiirtoketjujen läpi vedettynä

Järjestelmään ei tämän projektin aikana lisätty omaa virtalähdettä, vaan virransyöttö tapahtui kytkentäalustalle asennettujen riviliittimien ja erillisen virtalähteen kautta (kuva 13.). Riviliittimille tuotiin erilliseltä virtalähteeltä 24 V, joka jaettiin moottorinohjaimille ja rajakytkimille. Moottoreiden virransyöttö tapahtui suoraan moottorinohjaimilta. Tarkemmat kytkentäpiirustukset on sisällytetty tähän raporttiin liitteenä.



KUVA 13. Virranjaolle ja CAN-väylälle käytetyt riviliittimet (vasen) ja moottoreiden moottorinohjaimet (oikea)

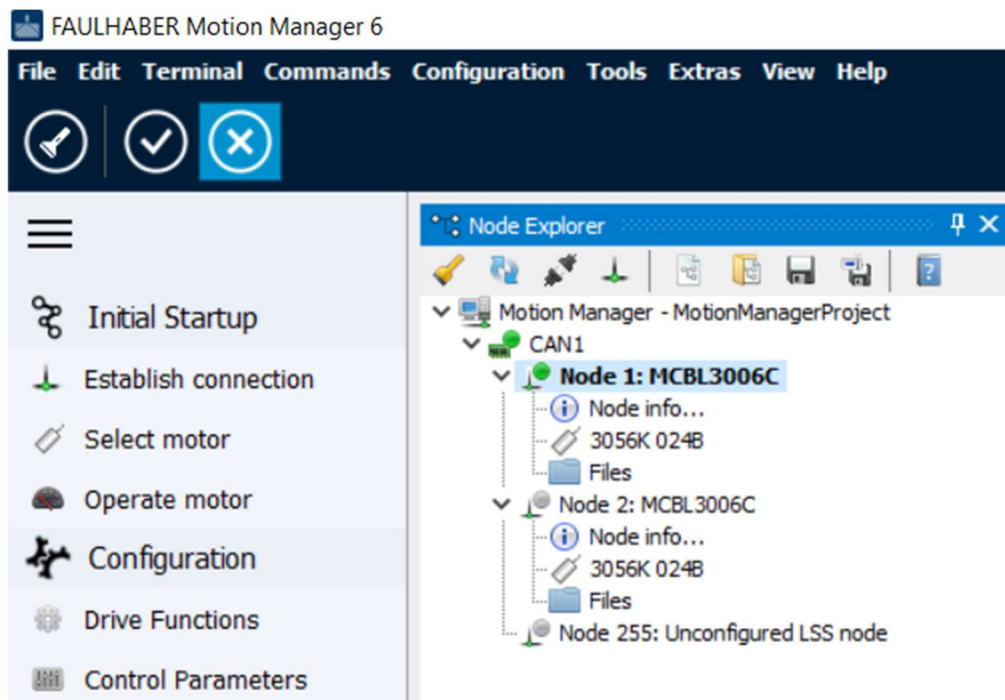
Riviliittimillä toteutettiin virransyötön lisäksi moottorinohjainten välisen kommunikation mahdollistava CANopen-väylä, missä jokaisen moottorinohjaimen CAN Hi-portit ja CAN Lo-portit kytkettiin rinnan omiin erillisiin piireihinsä. Lisäksi nämä kaksi piiriä yhdistettiin toisiinsa CAN-väylätekniikan vaatimilla (kuva 14.) kahdella  $120\ \Omega$  vastuksella väylien terminoimiseksi.



KUVA 14. CANopen-väylän kytkentäesimerkki (CANopen User Manual n.d.)

## 4.5 Ohjausjärjestelmän toteutus

Järjestelmälle ei vielä tämän kehitysprojektin aikana otettu käyttöön PLC-logiikkayksikköä, joten kattavaa loogista ohjelmointia ei pystytty suorittamaan. Työssä käytetyt moottorinohjaimet sisältävät kuitenkin sisäänrakennetut mikroprosessorit ja niitä on mahdollista ohjelmoida lähettämällä niille komentoja CANopen-väylän kautta. Kyseisten ohjainten ohjelmoinnin tueksi on saatavilla Faulhaberin julkaisema, tietokoneella käytettävä, Motion Manager 6-sovellus (kuva 14.), joka helpottaa huomattavasti esimerkiksi ohjainten ensimmäisen käyttöönoton vaatimaa konfigurointia, ohjainten sisäisten asetusten ja säätöjen muuttamista, sekä liikekäskyjen ja yksinkertaisten ohjelmien luomista. Ohjainten yhdistäminen CAN-väylän kautta tietokoneeseen vaatii erityisen CAN-USB-adapterin.



KUVA 14. Motion Manager 6-sovelluksen perusnäkyä ja keskeisimmät toiminnot

Moottorit on mahdollista ajaa tarkasti haluttuun pisteeseen absolute move-tilassa. Tällöin Ohjaimelle syötetään käsky pisteestä, mihin moottori halutaan ajaa. Moottorin yksi kierros sisältää 3000 "astetta", mihin moottori voidaan tarkasti ajaa ja jos halutaan ohjata manipulaattoria esimerkiksi kymmenen moottorin kierroksen verran sen kotiasemasta, asetetaan liikekäskyn arvoksi 30000. Manipulaattorin x- ja y-suuntien liikealueet on rajoitettu nollan ja miljoonan välille.

Moottorinohjaimet sisältävät myös kolme vapaata I/O-paikkaa ulkoisille liitännöille, jotka on nimetty termeillä AGND, Fault, sekä AnIn. Kaikki kyseisistä paikoista voi asettaa toimimaan digitaalisina tulopaikkoina, minkä lisäksi ne voidaan ohjaimen asetuksista asettaa tiettyihin erilaisiin toimintoihin. AGND voidaan asettaa toimimaan erillisenä maadoituksena, Fault voidaan asettaa digitaaliseksi lähdöksi esimerkiksi häiriöledin sytyttämiseksi ja AnIn voidaan asettaa analogiseksi tuloksi. Tässä työssä kaikkia käytettyjä I/O-paikkoja käytettiin digitaalisina tuloina.

Ohjainten digitaalisten tulojen ja sisäänrakennetun logiikan ansiosta manipulaattorin liikeratoja rajoittamaan asennetut rajakytkimet pystyttiin kytkemään suoraan moottorinohjaimille. Esimerkiksi x-suunnan liikettä rajaavat rajakytkimet kytkettiin suoraan x-suunnan liikkeestä vastaavan moottorin ohjaimelle ja ohjaimen asetuksissa voitiin määrittää moottori pysähtymään rajakytkimien aktivoituessa.

Rajakytkimien ansiosta ohjaimilla on mahdollista toteuttaa myös niille valmiiksi ohjelmoitu homing-toiminto, missä manipulaattori ajetaan hitaasti kohti haluttua rajakytkintä. Rajakytkimen kohdalla kyseisen liikesuunnan paikkatieto nollataan. Homing-toiminnon ajaminen on tärkeää etenkin silloin, kun manipulaattori kytketään päälle. Moottoreiden paikkatieto pysyy kyllä ohjainten muistissa myös virratomassa tilassa, mutta se ei päivity, jos moottoreita liikutellaan esimerkiksi käsin ilman, että ohjaimet ovat päälle kytkettyinä. Moottoreiden totuudenmukaisten paikkatietojen ylläpito on tärkeää manipulaattorin liikkeiden tarkkuuden varmistamiseksi. Tämän lisäksi moottorinohjaimille on asetettu fyysisten rajakytkinten ohelle ohjelmalliset moottorin paikkatietoon perustuvat raja-arvot, joiden toiminta vaatii, että liikkeiden nolla-asetat sijaitsevat niille erikseen määriteltujen rajakytkimien kohdalla. Etenkin z-suuntaisen liikkeen kohdalla on tärkeää, että moottorin paikkatieto pysyy totuudenmukaisena, koska kyseinen liikesuunta sisältää rajakytkimenä toimivan induktiivisen anturin vain ylöspäin liikkeessä. Alaspäin liikuttaessa liike on rajattu vain ohjelmallisesti perustuen liikkeen nolla-asemaan induktiivisen anturin kohdalla.

Moottorinohjainten käyttöönottamisesta ja käytön kannalta keskeisimmistä toiminnoista koottiin käyttöohje. Kyseinen käyttöohje löytyy tämän raportin liitteenä.

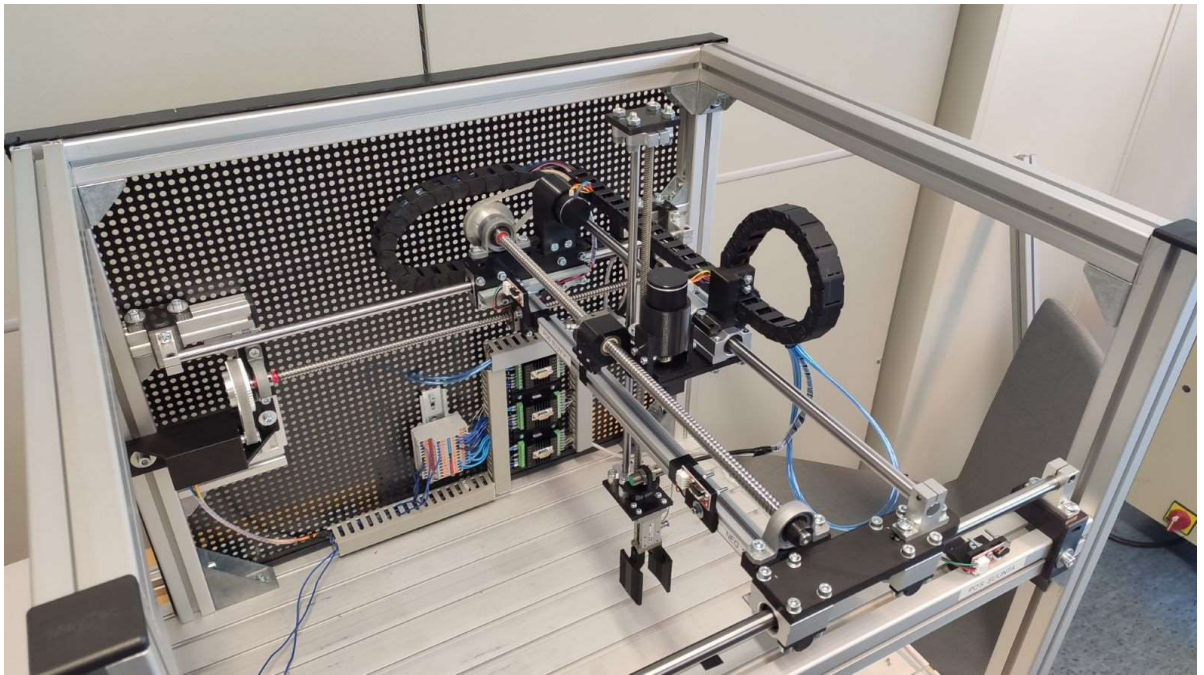
## 5 TULOKSET

### 5.1 Valmis järjestelmä

Manipulaattori saatiin tämän kehitysprojektin aikana kohtalaisen toimivaksi kokonaisuudeksi. X- ja y-suuntien liikkeet saatiin toteutettua erinomaisesti. Z-suunnan liikettä ei projektin aikana päästy vielä testaamaan, koska oikean mittainen hammashihna puuttui. Muilta osin myös z-suunnan liike olisi toimintakunnossa ja oikean kokoinen hammashihna on tilauksessa. Manipulaattorin kaikkia moottoreita on mahdollista ajaa ottamalla tietokoneella yhteys minkä tahansa moottorinohjaimen sarjaporttiin, koska ohjaimet on keskenään yhdistetty CANopen-väylällä. Liikkuminen on mahdollista toteuttaa tarkasti haluttuihin koordinaatteihin ohjainten sisäisen logiikan ansiosta.

Tarttujaa ei puuttuvan PLC-ohjauslogiikan takia otettu käyttöön, mutta sen vaatimat paineilmalinjat vedettiin paikoilleen, jotta tarttujan käyttöönotto olisi tulevaisuudessa mahdollisimman helppoa. Tarttujan tilalle on myös helppo vaihtaa eri mallin tarttuja, jos manipulaattorin tuleva käyttökohde niin vaatii. Tarttuja on kiinnitetty järjestelmään yhdellä tulosteella, jonka muotoa muuttamalla siihen voidaan lisätä oikeastaan minkä tahansa mallin tarttuja.

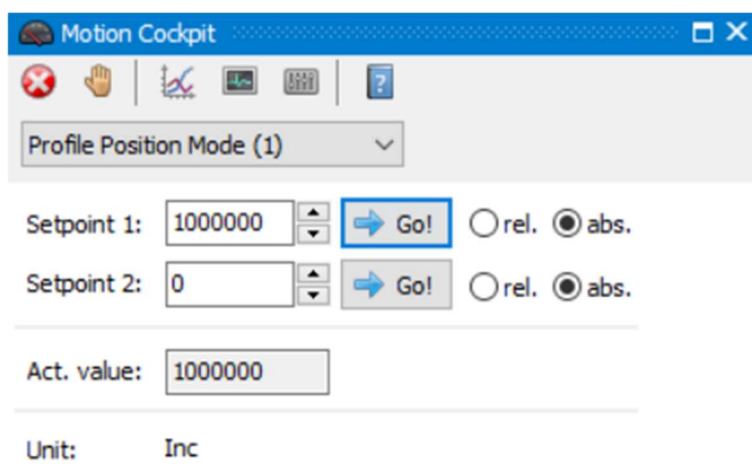
Järjestelmän viimeistelyssä johdotukset ja paineilmalinjat vedettiin energiansiirtokeijujen ja johtokourujen sisään, jotta kokoonpanosta saatiin siisti ja turvallinen. Myös johdot, mitkä eivät tällä hetkellä ole käytössä vedettiin valmiiksi ketjujen läpi ja piilotettiin johtokouruihin odottamaan PLC-logiikan asentamista tulevaisuudessa. Lopullinen työn tulos on siisti kokonaisuus, mihin on helppo myöhemmin lisätä erillinen ohjauslogiikka (kuva 15.).



KUVA 15. Kehitysprojektin tuloksena toteutettu manipulaattori

## 5.2 Järjestelmän suorituskyvyn arviointi ja testaus

Faulhaberin Motion Manager 6-sovelluksen avulla on mahdollista kerätä tarkkaa dataa manipulaattorissa käytettyjen moottoreiden toiminnasta. Toteutettavien liikkeiden paikoitustarkkuutta ja nopeutta voidaan tarkastella. Esimerkiksi sovelluksen Motion Cockpit-välilehdellä, jolla lähetetään liikekäskyjä ohjaimille, voidaan nähdä moottorin asema reaaliajassa (kuva 16.). Moottoreille lähetettiin testeissä käskyjä liikkua eri pisteisiin. Moottoreiden asemaa tarkastellessa todettiin, että liikkeet pysähtyivät aina tismalleen käskyssä asetetun pisteen kohdalle, eikä liikkeissä huomattu oikeastaan ollenkaan yliampumista kohdepisteestä.

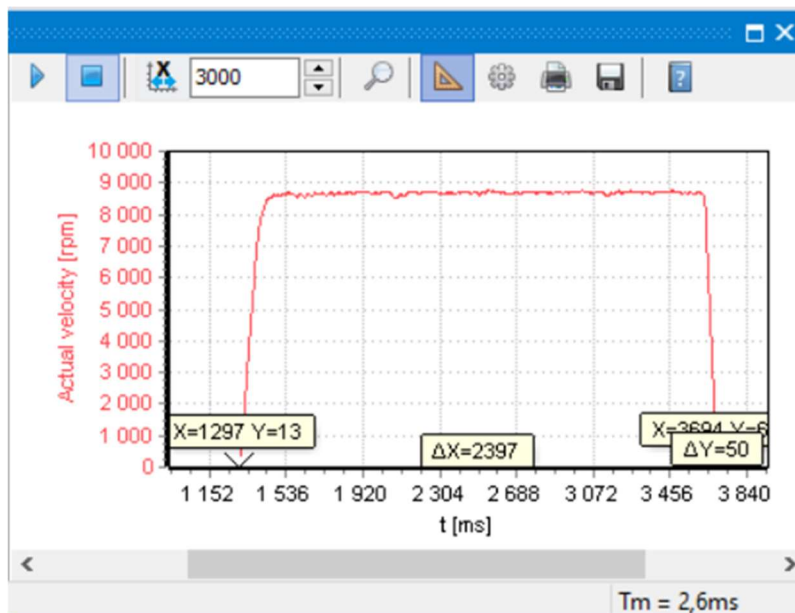


KUVA 16. Manipulaattorin y-liike ajettu pisteeseen 1000000



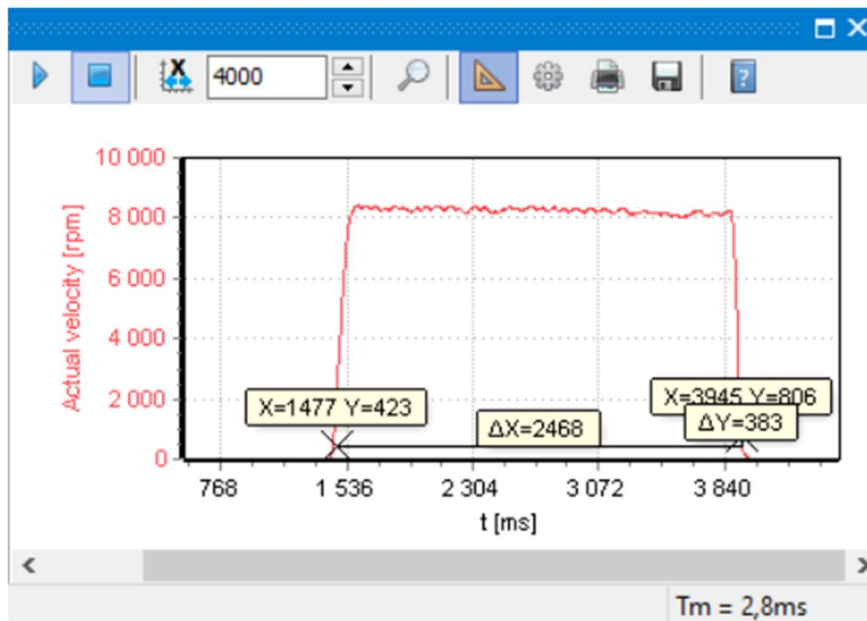
Motion Managerilla on myös mahdollista tarkastella moottoreiden käyttäytymistä kuvaajien muodossa. Eri kuvaajia löytyy esimerkiksi moottorin ottamalle virralle, momentille, liikenopeudelle ja kiihtyvyydelle. Järjestelmälle suoritetuissa testeissä keskityttiin tarkastelemaan moottorien pyörimisnopeutta tilanteessa, missä moottorit ajetaan liikeratojensa päästä päähän.

Testien ja analyysien perusteella (kuva 17.) x-suuntaisen liikkeen aikana moottorin suurin pyörimisnopeus on noin 8800 kierrosta minuutissa. Liikeradan koko päästä-päähän liikeradan ajamiseen kuluu noin 2400 millisenkuntia, eli noin 2,4 sekuntia.



KUVA 17. X-suunnan liikkeen tarkastelu

Y-suuntaista liikettä analysoidessa kuvaajasta huomataan (kuva 18.), että suurin moottorin pyörintänopeus liikkeen aikana on noin 8200 kierrosta minuutissa. Liikeradan päästä-päähän ajamiseen kuluu kyseisellä nopeudella noin 2470 millisekuntia, eli noin 2,5 sekuntia.



KUVA 18. Y-suunnan liikkeen tarkastelu

### 5.3 Vertailu järjestelmälle asetettuihin vaatimuksiin

Projektia aloitettaessa suunniteltavalle manipulaattorille asetettiin useita vaatimuksia, joista ensimmäisenä oli, että manipulaattoria on oltava mahdollista liikutella kolmessa eri tasossa. X- ja y-suuntaisten liikkeiden toteutus saatiin vietyä kokonaan loppuun asti, mutta z-suunnan liikkeen toteutuksesta jäi uupumaan yksi tarvittava hammashihna, millä liike oli tarkoitus viedä moottorin akselilta z-suunnan trapetsiruuville. Kaikki vaadittavat hihnapyörät ja muut komponentit ovat jo hihnan asentamista varten kunnossa, joten tällä hetkellä tilauksessa oleva hihna helppo asentaa myöhemmin paikoilleen. Kun hihna saadaan paikoilleen vastaa manipulaattori täysin sen liikesuunnille asetettuun vaatimukseen.

Manipulaattorin liikkeiden nopeudelle määriteltiin, että kaikki liikeradat tulisi pysyä ajamaan kokonaisuudessaan noin kahdessa sekunnissa. Testien ja analyysien perusteella manipulaattorin liikeratojen päästä-päähän ajo vie tällä hetkellä noin 2,4-2,5 sekuntia, mikä on erittäin lähellä asetettua vaatimustasoa. Kyseinen kahden sekunnin vaatimus ei ollut kuitenkaan kiveen hakattu, vaan enemmänkin arvio halutusta liikenopeudesta. Työn tilaajan mukaan nyt saavutetut liikenopeudet riittävät hyvin manipulaattorin tulevaa käyttökohdetta ajatellen. Testien perusteella myös liikkeen tarkkuudelle asetetut vaatimukset täytettiin.

Tällä hetkellä manipulaattorille kytketty tarttuja ei vastaa sille vaatimuksissa esitettyihin ehtoihin, koska se on suunniteltu tarttumaan vain tietyn mallisiin kappaleisiin. Kyseisen tarttujan käyttöön päädyttiin lopulta projektin aikataulun ja muutenkin suuren työmäärän takia. Tarttujan kiinnitys järjestelmään on kuitenkin toteutettu yksinkertaisella 3D-tulosteella, mitä muokkaamalla voidaan manipulaattorille kiinnittää myöhemmin oikeastaan minkälainen tarttuja tahansa.

Manipulaattorin turvatoimintojen kannalta vaatimuksena oli rajakytkimien lisääminen sallittujen liikeratojen päätyihin. Vaakatasossa tapahtuville liikkeille lisättiin mekaaniset ja ohjelmalliset rajat kaikkiin liikeratojen päätyihin. Pystysuuntaiselle liikkeelle lisättiin fyysinen rajakytkin ylöspäin liikuttaessa ja ohjelmallisesti liikkeelle asetettiin rajat molempiin liikesuuntiin.

Järjestelmässä käytetyt moottorinohjaimet ovat S7-1200-yhteensopivia, mikä oli myös yksi asetetuista vaatimuksista. Kyseisen logiikan käyttöönotto voidaan toteuttaa myöhemmin S7-1200 yhteensopiva CANopen-lisämoduulin saapuessa. Työssä käytettyjen servomoottoreiden ja moottorinohjainten ansiosta manipulaattorilla on tulevaisuudessa myös mahdollista ja jopa kohtalaisen yksinkertaista toteuttaa haluttu varastointitoiminto.

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyöni aiheena oli suunnitella ja rakentaa uusi manipulaattori PLC-ohjelmoinnin harjoitustöihin käytettävälle Festo-solulle. Solun alkuperäisen manipulaattorin suurimmat puutteet liittyivät sen liikkeen hitauteen ja uuden manipulaattorin kehitysprojektille määriteltiin korkeat vaatimukset etenkin liikkeen nopeudelle ja tarkkuudelle.

Mielestäni tämän opinnäytetyön aikana toteutettu kehitysprojekti onnistui hyvin sille asetettuihin tavoitteisiin nähden. Työn tuloksena saatiin suunniteltua ja kasattua miltei täysin toiminnallinen manipulaattori ja suurimmat jäljellä olevat puutteet liittyvät tarvittavien komponenttien puutteisiin. Kyseiset komponentit on kuitenkin helppo asentaa paikalleen, kunhan ne keretään tilaamaan.

Varsinainen suunnitteluprosessi eteni hyvin sille asetetun aikataulun mukaisesti ja eteen tulleet ongelmat onnistuttiin ratkomaan kohtalaisen nopeasti. Muutamia kompromisseja työn aikana oli kuitenkin tehtävä aikataulussa pysymiseksi, esimerkiksi tarttujan suunnittelun kohdalla. Alun perin tämän opinnäytetyön aikana oli tarkoitus toteuttaa myös manipulaattorin ohjelmointipuoli, mutta jo valmiiksi suuren työmäärän, sekä yhteensopivan PLC-logiikan puuttuessa, rajattiin työn kuva vain itse manipulaattorin mekaaniseen ja sähköiseen suunnitteluun.

Tehdyistä rajauksista huolimatta projektin työmäärä oli suuri ja etenkin 3D-tulosteiden suunnittelu, mallinnus ja tulostus vei paljon aikaa. Suuresta työmäärästä huolimatta projekti oli mielestäni erittäin mielenkiintoinen ja olen täysin tyytyväinen aikaansaamaani lopputulokseen.

Manipulaattorin jatkokehityksen kannalta suosittelisin etenkin kunnon virtalähteen lisäämistä järjestelmälle, mikä varmasti tulee aiheelliseksi viimeistään PLC-logiikkaa lisätessä. Asentamani tarttujan tilalle kannattaa myös vaihtaa parempi malli, joka kykenisi monimutkaisempien kappaleiden liikutteluun.

## LÄHTEET

Bradley, D. & Russell, D. 2010. Mechatronics in Action. Case Studies in Mechatronics – Applications and Education. Lontoo: Springer

Březina, T. & Singule, V. 2006. Design of Mechatronic Systems. BRNO University of Technology. Pdf-dokumentti. Viitattu 11.4.2023.  
<http://www.umt.fme.vutbr.cz/images/opory/Design%20of%20Mechatronic%20Systems/1UM.pdf>

Dugan, L. 2019. Real life applications of Mechatronics. Capitol Technology University. Verkkosivu. Viitattu 10.4.2023. <https://www.captechu.edu/blog/real-life-applications-of-mechatronics>

Dym, L. & Little, P. 2004, Engineering Design: A Project-Based Introduction. 2. Painos. Hoboken: Wiley

Isermann, R. 2005. Mechatronic Systems: Fundamentals. 2. Painos. Lontoo: Springer.

Linak. n.d. CANopen User Manual v1.4. Pdf-dokumentti. Viitattu 17.4.2023.  
<https://cdn.linak.com/-/media/files/ic-and-bus-actuators/techline-canopen-user-manual-eng.pdf>

## LIITTEET

## Liite 1. DC-Servomootorin 3564 K datalehti

1(2)



**Brushless DC-Servomotors**  
2 Pole Technology

**66 mNm**  
**126 W**

## Series 3564 ... B

Values at 22°C and nominal voltage	3564 K	012 B	024 B	036 B	048 B		
1 Nominal voltage	$U_N$		12	24	36	48	V
2 Terminal resistance, phase-phase	$R$		0,56	1,1	2,61	4,1	$\Omega$
3 Efficiency, max.	$\eta_{max}$		82	83	83	83	%
4 No-load speed	$n_0$		8 300	11 500	11 600	12 800	min <sup>-1</sup>
5 No-load current, typ. (with shaft $\varnothing$ 4 mm)	$I_0$		0,198	0,166	0,112	0,099	A
6 Stall torque	$M_{st}$		293	432	408	418	mNm
7 Friction torque, static	$C_r$		1,2	1,2	1,2	1,2	mNm
8 Friction torque, dynamic	$C_v$		$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	mNm/min <sup>-1</sup>
9 Speed constant	$k_n$		696	481	323	266	min <sup>-1</sup> /V
10 Back-EMF constant	$k_e$		1,44	2,08	3,1	3,75	mV/min <sup>-1</sup>
11 Torque constant	$k_{tr}$		13,7	19,9	29,6	35,8	mNm/A
12 Current constant	$k_i$		0,073	0,05	0,034	0,028	A/mNm
13 Slope of n-M curve	$\Delta n / \Delta M$		28	27	28	31	min <sup>-1</sup> /mNm
14 Terminal inductance, phase-phase	$L$		90	190	410	640	$\mu$ H
15 Mechanical time constant	$T_m$		10,4	9,7	10,4	11,1	ms
16 Rotor inertia	$J$		34,9	34,9	34,9	34,9	gcm <sup>2</sup>
17 Angular acceleration	$\alpha_{max}$		84	124	117	120	$\cdot 10^{-3}$ rad/s <sup>2</sup>
18 Thermal resistance	$R_{th} / R_{th2}$	1,6 / 6,2					K/W
19 Thermal time constant	$\tau_{th} / \tau_{th2}$	15,4 / 820					s
20 Operating temperature range:							
- motor			-30 ... +125				°C
- winding, max. permissible			+125				°C
21 Shaft bearings			ball bearings, preloaded				
22 Shaft load max.:							
- with shaft diameter			4				mm
- radial at 3 000 min <sup>-1</sup> (5 mm from mounting flange)			112				N
- axial at 3 000 min <sup>-1</sup> (push only)			50				N
- axial at standstill (push only)			131				N
23 Shaft play:							
- radial	$\leq$	0,015					mm
- axial	$=$	0					mm
24 Housing material		aluminium, black anodized					
25 Mass		311					g
26 Direction of rotation		electronically reversible					
27 Speed up to	$n_{max}$	29 000					min <sup>-1</sup>
28 Number of pole pairs		1					
29 Hall sensors		digital					
30 Magnet material		SmCo					
<b>Rated values for continuous operation</b>							
31 Rated torque	$M_N$		56,2	55,3	53,5	50,4	mNm
32 Rated current (thermal limit)	$I_N$		4,43	3,04	1,98	1,55	A
33 Rated speed	$n_N$		6 160	9 620	9 640	10 800	min <sup>-1</sup>

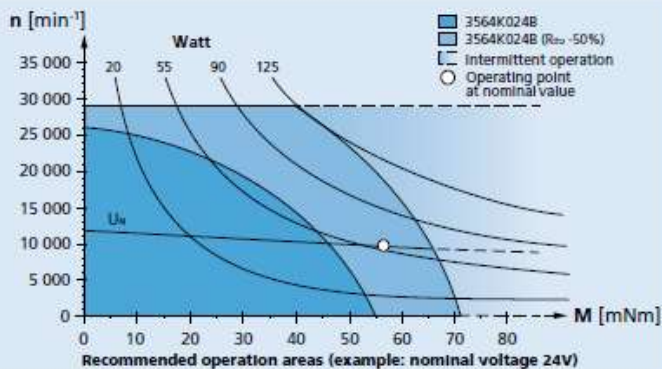
**Note:** Rated values are calculated with nominal voltage and at a 22°C ambient temperature. The  $R_{th2}$  value has been reduced by 25%.

**Note:**

The diagram indicates the recommended speed in relation to the available torque at the output shaft for a given ambient temperature of 22°C.

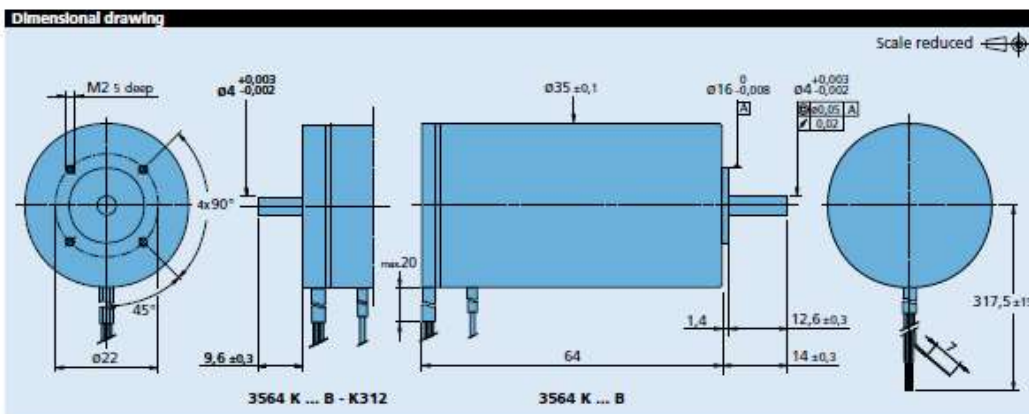
The diagram shows the motor in a completely insulated as well as thermally coupled condition ( $R_{th2}$  50% reduced).

The nominal voltage ( $U_N$ ) curve shows the operating point at nominal voltage in the insulated and thermally coupled condition. Any points of operation above the curve at nominal voltage will require a higher operating voltage. Any points below the nominal voltage curve will require less voltage.



For notes on technical data and lifetime performance refer to "Technical Information".  
Edition 2022 Jun. 21

© DR. FRITZ FAULHABER GMBH & CO. KG  
Specifications subject to change without notice.  
[www.faulhaber.com](http://www.faulhaber.com)



**Option, cable and connection Information**

Example product designation: **3564K012B-K1155**

Option	Type	Description	Connection
K1155	Controller combination	Analog Hall sensors for combination with Motion Controller MCBL	Function      Colour
K1026	Sensorless	Motor without Hall sensors	Phase C      yellow
K1838	Encoder combination	Motor with rear end shaft for combination with Encoder IE3	Phase B      orange
K312	Encoder combination	Motor with rear end shaft for combination with Encoder HEDS/HEDL/HEDM	Phase A      brown
K3051	Encoder combination	Motor with rear end shaft for combination with Encoder AES	GND          black
K179	Bearing lubrication	For vacuum of 10 <sup>-3</sup> Pa @ 22°C	U <sub>00</sub> (+5V)      red
			Hall sensor C      grey
			Hall sensor B      blue
			Hall sensor A      green
			<b>Standard cable</b>
			Single wires, material PTFE
			AWG 20: Phase A/B/C
			AWG 26: Hall A/B/C, U <sub>00</sub> , GND

**Product combination**

Precision Gearheads / Lead Screws	Encoders	Drive Electronics	Cables / Accessories
30/1 30/1 S 32GPT 32/3 32/3R 38/1 38/1 S 38/2 38/2 S 42GPT 32L ... ML 32L ... PB 32L ... SB 32L ... TL	HEDS 5500 IE3-1024 IE3-1024 L HEDL 5540 AEMT-12/16 L AES-4096 L	SC 2804 S SC 5004 P SC 5008 S MCBL 3003 P MCBL 3006 S MC 5005 S MC 5010 S	MBZ  To view our large range of accessory parts, please refer to the "Accessories" chapter.

For notes on technical data and lifetime performance refer to "Technical Information".  
 Edition 2022 Jun. 21

© DR. FRITZ FAULHABER GMBH & CO. KG  
 Specifications subject to change without notice.  
[www.faulhaber.com](http://www.faulhaber.com)

## Liite 2. Sarjan MCBL 3003/3006 C moottorinohjainten datalehti

1(4)



## Motion Controller

4-Quadrant PWM  
with CAN interface

For combination with:  
Brushless DC-Servomotors  
with option number K1155

### Series MCBL 3003/06 C

		MCBL 3003 C	MCBL 3006 C	
Power supply	U <sub>s</sub>	12 ... 30	12 ... 30	V DC
PWM switching frequency	f <sub>PWM</sub>	78,12	78,12	kHz
Efficiency	η	95	95	%
Max. continuous output current <sup>1)</sup>	I <sub>dauer</sub>	3	6	A
Max. peak output current	I <sub>max</sub>	10	10	A
Total standby current	I <sub>st</sub>	0,06	0,06	A
Speed range		5 ... 30 000	5 ... 30 000	rpm
Scanning rate	N	100	100	μs
Encoder resolution with Hall Sensors		≤ 3 000	≤ 3 000	lines/rev.
Resolution with external encoder		≤ 65 535	≤ 65 535	lines/rev.
Input/output (partially free configurable)		3	3	
Operating temperature range		0 ... +70	0 ... +70	°C
Storage temperature		-25 ... +85	-25 ... +85	°C
Housing material		without housing	aluminium, black anodized	
Weight		18	160	g

<sup>1)</sup> at 22°C ambient temperature

### Connection Information

Connection "CANH", "CANL":			CAN-High / CAN-Low	
Interface			CAN	
Communication profile			CANopen	
Max. transfer speed rate			1	Mbit/s
Connection "AGND":				
- analog ground			analog GND	
- digital input external encoder			channel B	
	R <sub>in</sub>		10	kΩ
	f		≤ 400	kHz
Connection "Fault":				
- digital input		R <sub>in</sub>	100	kΩ
- digital output (open collector)		U	≤ U <sub>s</sub>	V
	I		≤ 30	mA
	clear		switched to GND	
	set		high-impedance	
	no error		switched to GND	
	error		high-impedance	
	signal output	f	≤ 2	kHz
	resolution		1...255	lines/rev.
Connection "AnIn":				
- analog input set speed value		U <sub>in</sub>	"AGND" as GND	
	f		± 10	V
- digital input PWM set speed value		T	100 ... 2 000	Hz
			50% ± 0 rpm	
external encoder			channel A	
	f		≤ 400	kHz
	f		≤ 400	kHz
	R <sub>in</sub>		5	kΩ
Connection "+24V":		U <sub>s</sub>	12 ... 30	V DC
Connection "GND":			ground	
Connection "3. In":				
- digital input		R <sub>in</sub>	22	kΩ
- electronic supply voltage <sup>2)</sup>		U <sub>s</sub>	12 ... 30	V DC

<sup>2)</sup> Optional on request

Specifications subject to change without notice



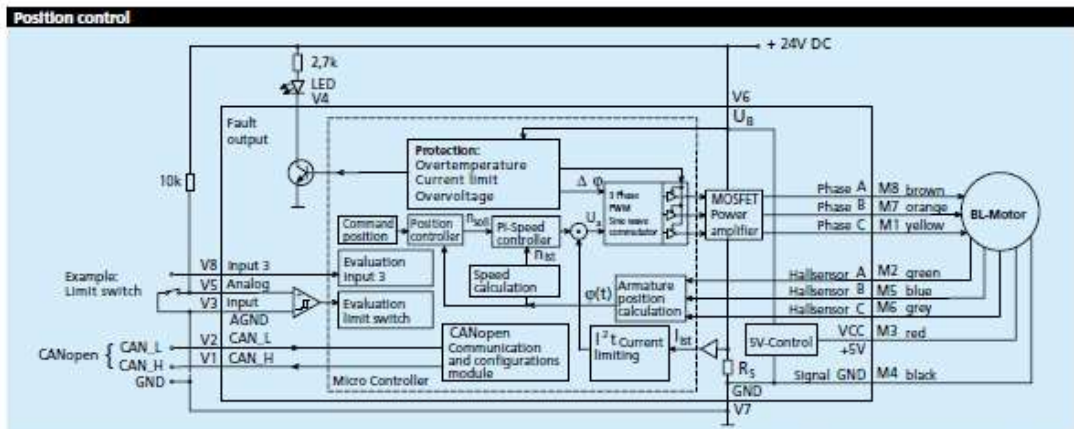
Connection Information				
Connection "Ph A", "Ph B", "Ph C":				
Motor connection	Ph A		Phase A	brown <sup>1)</sup>
	Ph B		Phase B	orange <sup>1)</sup>
	Ph C		Phase C	yellow <sup>1)</sup>
PWM switching frequency		U <sub>out</sub> f <sub>PWM</sub>	0 ... U <sub>s</sub> 78,12	V kHz
Connection "Hall A", "Hall B", "Hall C":				
Hall sensor input	Hall A		Hall sensor A	green <sup>1)</sup>
	Hall B		Hall sensor B	blue <sup>1)</sup>
	Hall C		Hall sensor C	grey <sup>1)</sup>
		U <sub>in</sub>	≥ 5	V
Connection "SGND":				
Signal GND			Signal ground	black <sup>1)</sup>
Connection "+5V":				
Output voltage for external use <sup>2)</sup>		U <sub>out</sub>	5	V DC
Load current		I <sub>out</sub>	≤ 60	mA

<sup>1)</sup> Color identification for brushless DC-Servomotor  
<sup>2)</sup> E.g. Hall sensor

D-SUB-connector Information		
Connection D-SUB-connector:		
Pin 2	CAN_L	CAN-Low
Pin 3	GND	Ground
Pin 7	CAN_H	CAN-High

Digital inputs general information			
- PLC, default	high	12,5 ... U <sub>s</sub>	V
	low	0 ... 7	V
- TTL	high	3,5 ... U <sub>s</sub>	V
	low	0 ... 0,5	V

The signal level (PLC or TTL) of the digital inputs can be set over the Interface (see instruction manual).



Specifications subject to change without notice

### Motion Controller

#### General description

The MCBL 3003/06 C is designed for brushless DC-Servomotors with linear Hall sensors. Ultra-low speeds and high positioning resolutions (1/3000 revolutions) are thus possible without the need for an additional encoder. The motors have a sinusoidal current, resulting in a constant torque over the entire circumference. This means that the motors run particularly quietly, and efficiency is also increased.

#### Maximum performance:

- **PI speed controller** with superior performance specifications in respect of synchronous operation and minimal torque fluctuations.
- **Speed profiles** such as e.g. ramp, triangular or trapezoidal movements. More complex profiles can also be implemented.
- **Positioning** with high resolution, including **limit switches and zero referencing**.
- **Operation as torque controller** through current regulation.
- **Extended operating modes:**
  - Stepper motor mode
  - Gearing mode (electronic gear)
  - Analogue positioning mode (position control with analogue voltage)
  - Voltage regulator mode
  - Analogue target current presetting
  - External encoder to determine actual position

#### Latest technology in micro format:

- High efficiency
- Power amplifier with very high PWM frequency
- Power MOSFETs with minimal on-resistance
- Unique thermal protection device determines MOSFET silicon temperature
- High-capacity 16 bit signal processor

#### Versatile communication:

- **Set-point input** for speed presetting. Processes analogue and PWM signals. The input can also be used for a frequency or reference mark signal.
- **Error output** (Open Collector). Can also be programmed as a rotational direction or reference mark input.
- **Additional digital input**
- **CANopen Interface** for integration into a CAN network with transfer rates up to 1Mbit/s

#### Programming made easy

The MCBL 3003/06 C supports the CANopen communication profile according to DS301 V4.02 and DSP402 V2.0 in accordance with the CiA specification for slave devices with the following services:

- 1 Server SDO
- 3 Transmit PDOs, 3 Receive PDOs
- Static PDO Mapping
- NMT with Node Guarding
- Emergency Object

The transfer rate and node no. are set via the network in accordance with the LSS protocol according to DSP305 V1.11, and automatic baud rate detection is also implemented. In addition, all functions and parameters of the drive unit can be very easily activated via a special FAULHABER PDO channel. For each FAULHABER command a corresponding CAN message frame is available on the PDO channel, enabling the CAN unit to be operated analogously to the serial variant.

For Windows operating systems the "FAULHABER Motion Manager" software is available. This considerably simplifies operation and configuration and also enables graphic online analysis of the operating data.

#### Fields of application

The Motion Controller can be used in many different areas. Thanks to the highly flexible connection options, this device is suitable for a diverse range of applications, for example in decentralised systems of automation technology, as well as in pick-and-place machines and machine tools.

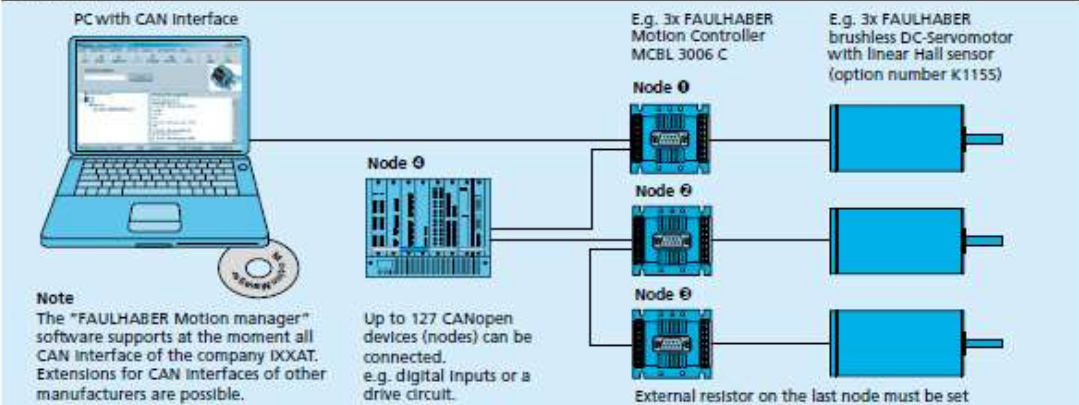
#### Options

- Separate supply of motor and control electronics for safety-relevant applications is optionally available (Option no. - 3085); in this case the 3rd input is not available for digital signals.
- Special preconfiguration of modes and parameters is possible on request.
- The "FAULHABER Motion Manager" software is available on request or on the internet.

#### Note

A detailed instruction manual for installation and operation are provided with the Motion Manager.

### Connection diagram



Specifications subject to change without notice

**Ordering Information**

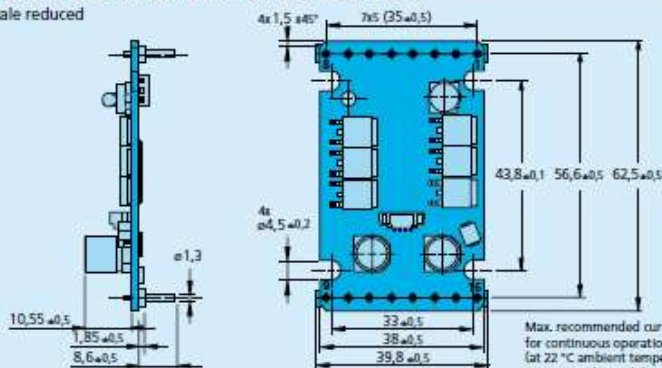
This Motion Controller is exclusively designed and tuned for the control of the listed brushless DC-Servomotors with option no. - K1155.

Option no. - K1155 indicates motors with linear Hall sensors for implementation with Motion Controller MCBL 3003/06.

- 1628 T... B - K1155
- 2036 U... B - K1155
- 2057 S... B - K1155
- 2444 S... B - K1155
- 3056 K... B - K1155
- 3564 K... B - K1155
- 4490 H... B - K1155
- 4490 H... B5 - K1155

**Dimensional drawing and connection information for MCBL 3003 C**

Scale reduced



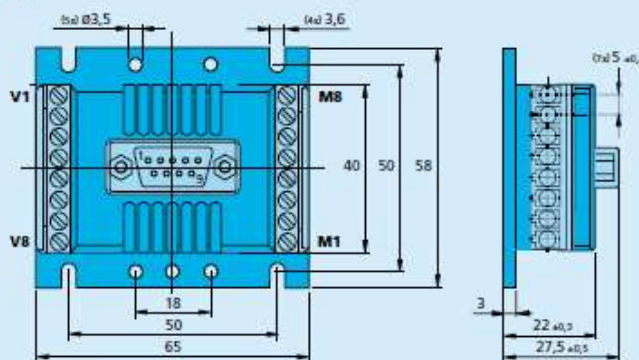
Max. recommended current for continuous operation: 3A (at 22 °C ambient temperature)  
CAUTION: Thermal shutdown is NOT guaranteed!

**Connection**

No.	Function
1	Ph C
2	Hall A
3	+5V
4	SGND
5	Hall B
6	Hall C
7	Ph B
8	Ph A
9	CAN_H
10	CAN_L
11	AGND
12	Fault
13	AnIn
14	+24V
15	GND
16	3. In

**Dimensional drawing and connection information for MCBL 3006 C**

Scale reduced



**Motor connection**

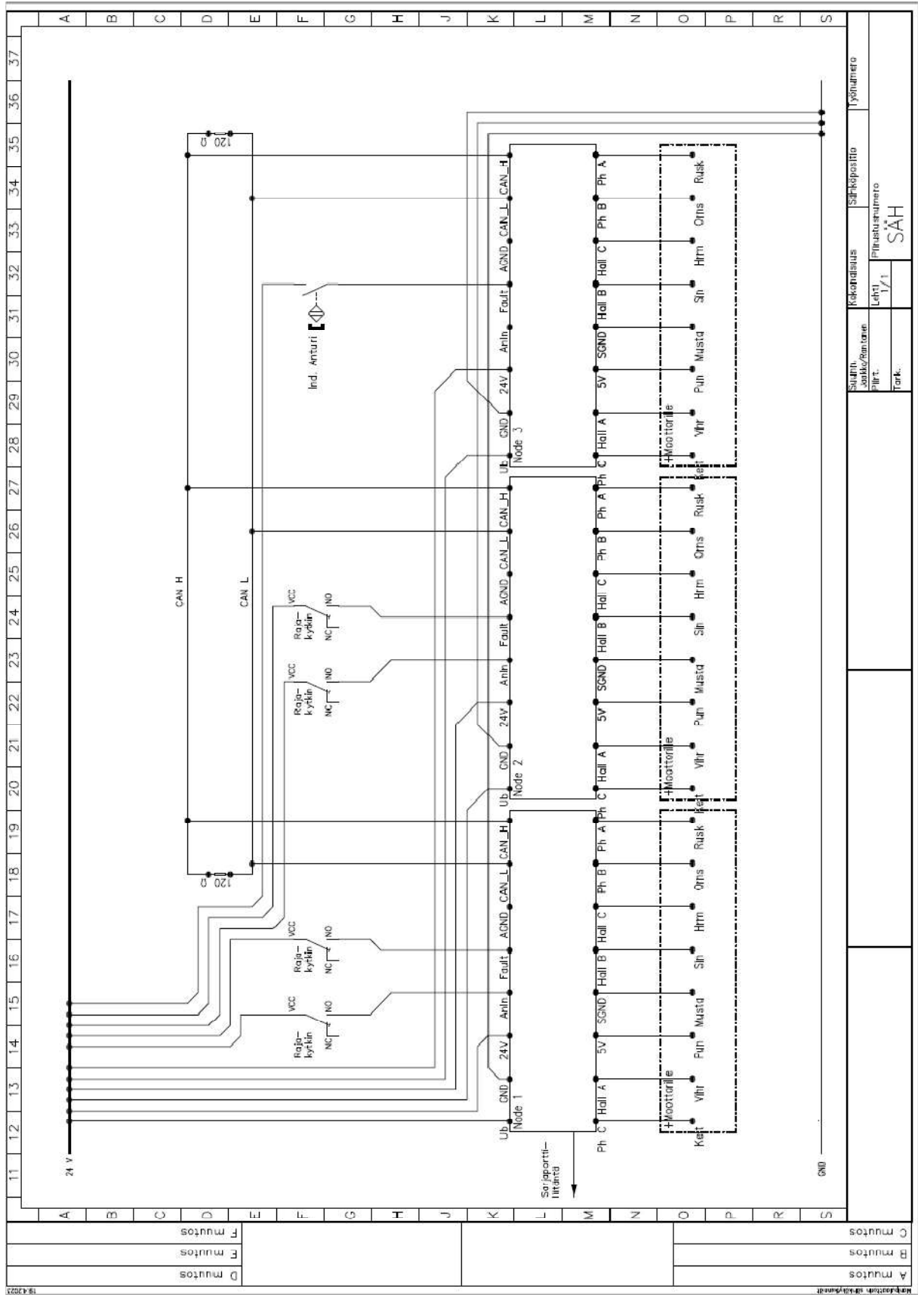
No.	Function
M1	Ph C
M2	Hall A
M3	+5V
M4	SGND
M5	Hall B
M6	Hall C
M7	Ph B
M8	Ph A

**Supply connection**

No.	Function
V1	CAN_H
V2	CAN_L
V3	AGND
V4	Fault
V5	AnIn
V6	+24V
V7	GND
V8	3. In

Specifications subject to change without notice

Liite 3. Kytentäkaavio



A	D muutos	
B	B muutos	
C	C muutos	
F	F muutos	
F	F muutos	

SÄH		Pilausnumero		Työnumero	
Lehti	1/1	Kokonaistus	Sähköpiirros	Suunn.	Joakko/Panoran
Tark.					

## Liite 4. Käyttöopas moottorinohjainten käyttöönotosta ja käytöstä

1(9)

**Käyttöopas MCBL3006C moottorinohjaimille**

Tähän oppaaseen on koottu MCBL3006C-moottorinohjainten käyttämisessä vaadittavat perusteet. Oppaan ohjeet on toteutettu hyödyntämällä Faulhaber Motion Manager 6-ohjelmaa, joka helpottaa huomattavasti ohjainten konfigurointia ja testaamista.

Tarkemmat ohjeet ohjaimille löytyvät Faulhaberin kommunikaatiomanuaalista:

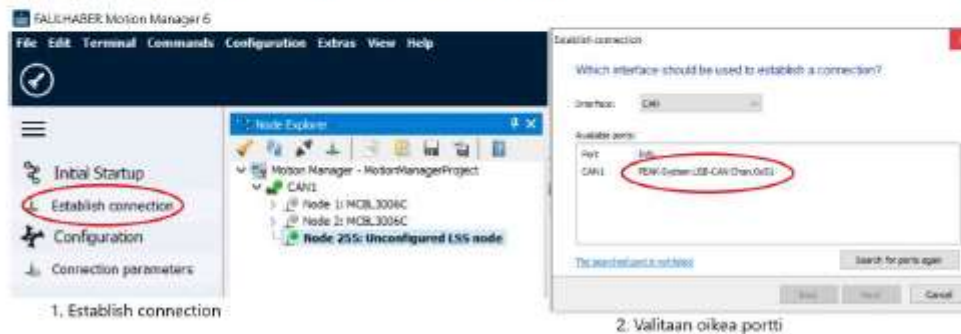
[https://www.faulhaber.com/fileadmin/Import/Media/EN\\_7000\\_05040.pdf](https://www.faulhaber.com/fileadmin/Import/Media/EN_7000_05040.pdf)

Asentamisesta ja kytkennöistä löytyy tietoa Faulhaberin teknisestä manuaalista:

[https://www.faulhaber.com/fileadmin/Import/Media/EN\\_7000\\_05038.pdf](https://www.faulhaber.com/fileadmin/Import/Media/EN_7000_05038.pdf)

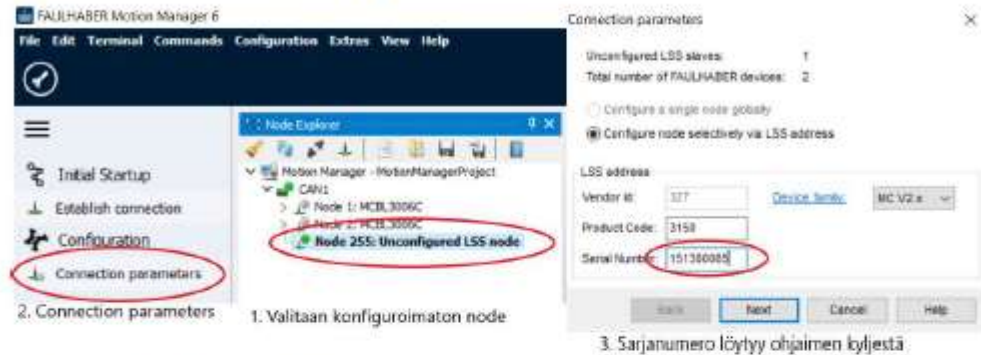
**Uuden ohjaimen ensimmäinen käyttöönotto**

Ohjaimen ensimmäisen käyttöönoton yhteydessä sille pitää suorittaa konfigurointi, joka onnistuu helpoiten **Motion Manager 6**-ohjelmalla. Yhteyden muodostaminen ohjaimen toimii CANopen-väylällä, joka vaatii **USB-CAN-adapterin**. Yhteyden muodostaminen Motion Managerilla tapahtuu klikkaamalla ohjelman **Establish connection**-painiketta (kuva 2.). Valitaan valikosta Can-väylän käyttämä portti ja seurataan ohjelman antamia ohjeita.



KUVA 1. Yhteyden muodostaminen

Yhteyden muodostuttua pitäisi konfiguroimattoman ohjaimen näkyä Motion Managerin Can-nodejen listassa (kuva 2.). CAN-väylään liitetyjä laitteita kutsutaan nodeiksi. Valitaan konfiguroimaton node, ja klikataan **Connection parameters**, minkä jälkeen asetetaan ohjaimen perustiedot.



KUVA 2. Uuden noden konfigurointi

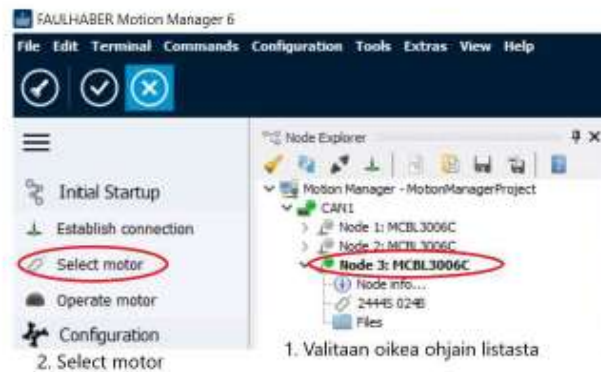
Seuraavalla sivulla asetetaan nodelle haluttu numero, sekä transfer rate (kuva 3.). **Transfer rate on oltava sama kaikilla väylään liitetyillä nodeilla.** Tämän jälkeen ohjain on liitettynä Can-väylän node-verkkoon.



KUVA 3. Node number ja transfer rate

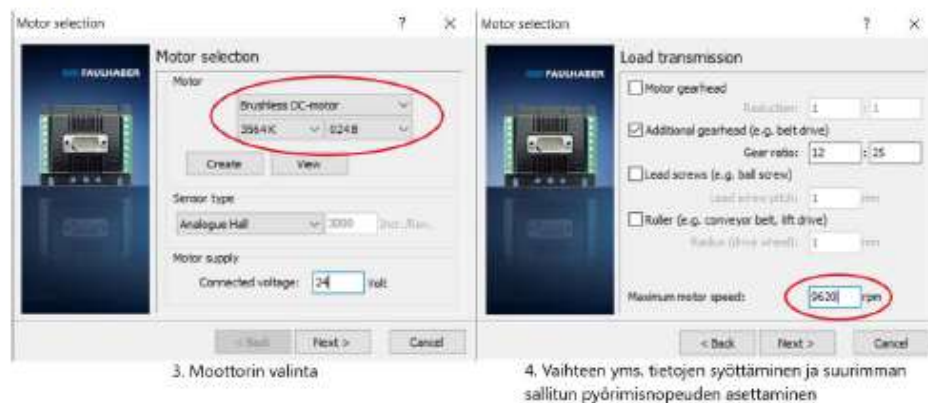
## Moottorin lisääminen

Ohjaimelle tulee määrittää sille kytketyn moottorin tiedot. Valitaan oikea ohjain listasta ja klikataan Select Motor (kuva 4.)



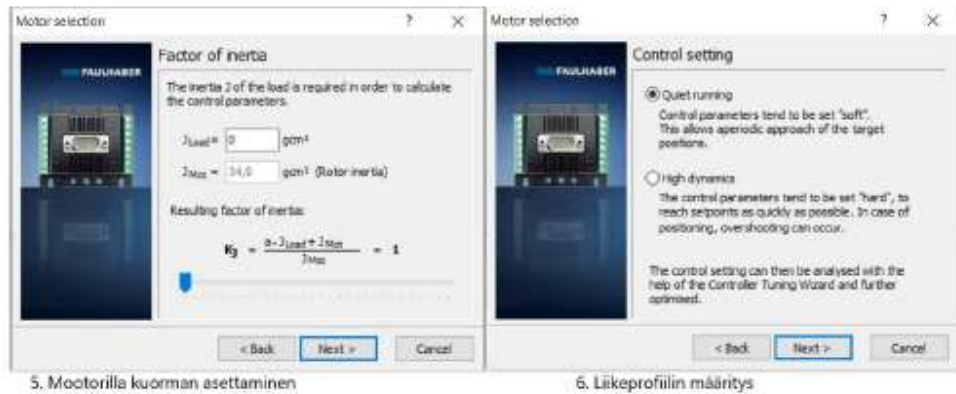
KUVA 4. Select motor

Valitaan avautuvasta valikosta oikea moottori. Asetetaan moottorin käyttöjännite. (Kuva 5.)



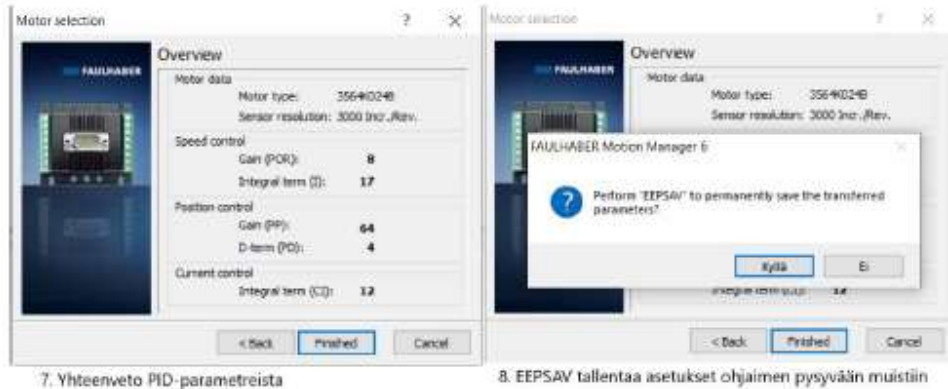
KUVA 5. Moottorin mallin valinta ja mahdollisen vaihteen yms. määrittys

Ohjain laskee moottorin tarkan liikkeen vaatimat PID-parametrit automaattisesti moottorilla liikuteltavan hitausmassan perusteella (kuva 6.) **HUOM!** itse tehtyjen testien perusteella moottori toimii pienellä kuormalla parhaiten, kun kuorman hitausmassaksi asetetaan 0. Seuraavassa valikossa valitaan moottorin ohjaustila.



KUVA 6. Moottorin kuorma ja käyttäytyminen

Viimeisessä valikossa nähdään yhteenveto moottorille käytettävistä PID-asetuksista. Asetetut tiedot tulee tallentaa ohjaimen muistiin EEPSAV-toiminnolla, jotta ne säilyvät ohjaimen muistissa myös ohjaimen uudelleen käynnistyessä. (Kuva 7.)



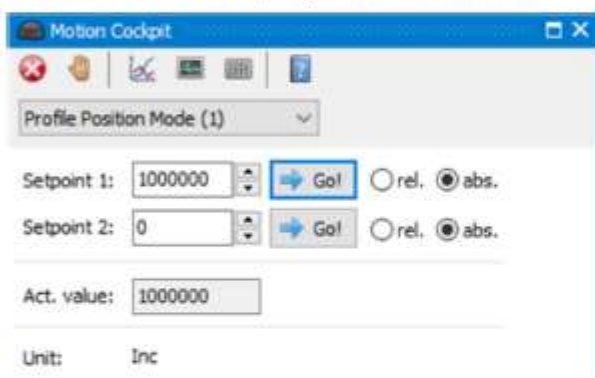
KUVA 7. Yhteenveto ja tallennus



## Liiketoiminnot

Moottoreiden käyttäminen toimii helpoiten Motion Managerin **Motion Cockpit**-sovelluksella. Liikkeelle on valittavissa eri toimintoja, kuten profile position-mode, missä liikutaan haluttu liikematkaksi tai profile velocity-mode, missä liikkeelle asetetaan haluttu pyörimisnopeus.

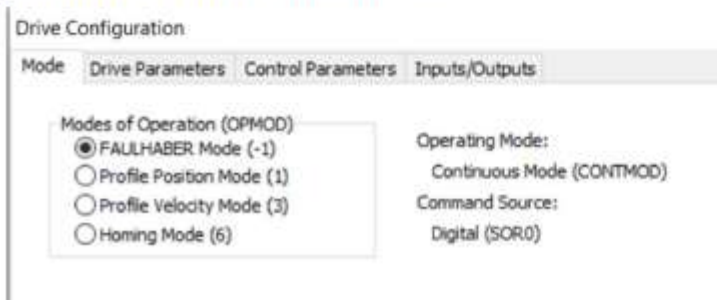
Profile position-tilassa liikekäsky voidaan asettaa relatiiviseksi liikematkaksi moottorin nykyisestä sijainnista tai absoluuttiseksi, missä moottori voidaan ajaa tiettyyn haluttuun pisteeseen. Liikekäskyjen yksikkönä toimii moottorin Hall-sensoreiden incrementit, eli yksi moottorin kierros = 3000 Inc. (Kuva 8.)



Kuva 8. Motion cockpit

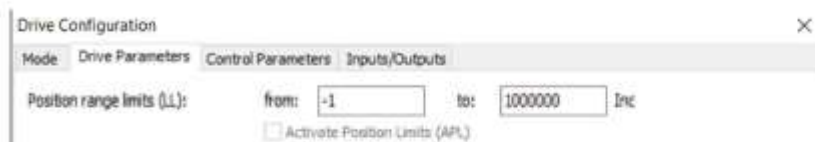
## Drive configuration

Drive configuration-sovelluksella voidaan muuttaa useita moottorinohjaimen asetuksia. Ensimmäisellä välilehdellä voidaan valita moottorin käyttötila (kuva 9.). Ulkoisten Faulhaber-komentojen vastaanottamiseksi esimerkiksi PLC:itä, on ohjaimen oltava **FAULHABER**-tilassa.



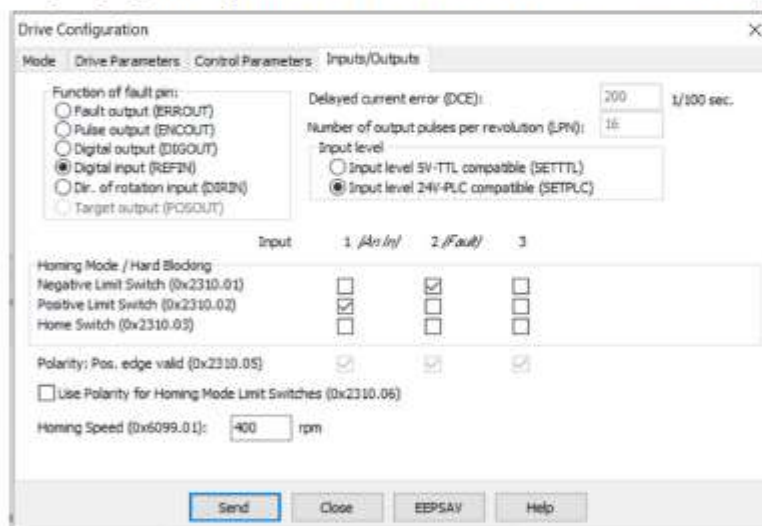
Kuva 9. Käyttötilan valinta

Drive parameters-välilehdellä voidaan muuttaa useimpia moottorin liikkeeseen vaikuttavia asetuksia manuaalisesti. Suurin osa tämän välilehden asetuksista määrittyy automaattisesti käytettävän moottorin mukaan. Position range limits-toiminto on kuitenkin hyvä ottaa käyttöön, jos moottorille halutaan asettaa ohjelmallisesti maksimiliikerajat (kuva 10.).



Kuva 10. Drive parameters

Inputs/Outputs-välilehdellä määritetään ohjaimen I/O-asetukset, etenkin Fault-paikan osalta. Tällä välilehdellä ottaa myös käyttöön ohjaimelle mahdollisesti kytetyt rajakytkimet ja muokata niiden toiminnallisia asetuksia. (Kuva 11.)



KUVA 11. Inputs/Outputs

### Homing-mode

Homing mode on moottorinohjaimen liiketila, missä moottori käsketään ajamaan halutulle rajakytkimelle, jonka kohdalla moottorin paikan arvo nollataan. Tämä on tärkeää, kun halutaan nollata moottorin paikkatieto. Ohjaimet säilyttävät moottorin paikkatiedon myös virrattomassa tilassa, mutta paikkatieto ei päivity, jos moottoria liikutetaan käsin ohjaimen ollessa virrattomana.

Rajakytkinten asetukset homing-tilaa varten asetetaan ohjaimen I/O-sivulta (kuva 11.). Motion Cocpit-sovelluksella voidaan valita käytettäväksi Homing Mode, missä voidaan käskä ohjainta ajamaan homin-ajo. Homing method 1 tarkoittaa, että moottori ajetaan negatiivisen suunnan rajakytkimelle, missä paikkatieto nol-lataan (kuva 12.). Muista homing-metodeista löytyy tietoa Faulhaberin omasta kommunikaatiomanuaalista.



KUVA 12. Homing Mode

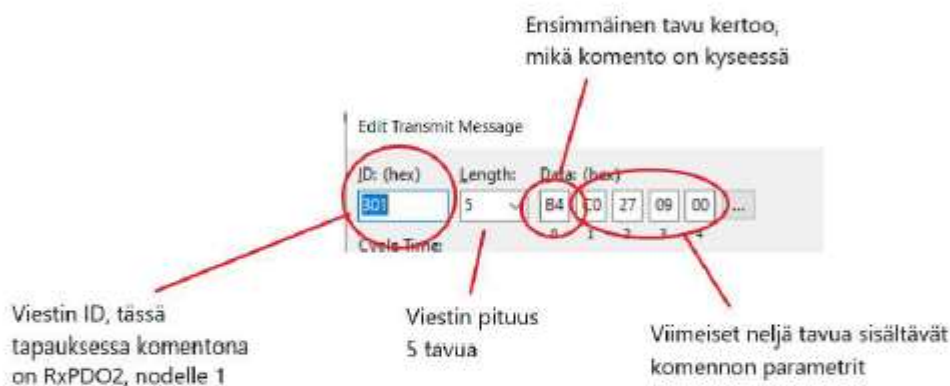
### Ulkoisen komennon lähettäminen

Ohjaimille on mahdollista lähettää viestejä CANopen-väylän kautta esimerkiksi väylään liitetystä PLC:stä. Faulhaberin moottorinohjaimille on mahdollista käyttää eri standardien mukaisia CANopen-viestirakenteita, sekä Faulhaberin luomaa viestirakennetta, joka on muita viestirakenteita yksinkertaisempi ymmärtää ja käyttää. Faulhaber-muotoisten viestien vastaanottamiseksi tulee ohjaimen olla FAULHABER-tilassa (kuva 9.).

Tässä oppaassa käydään läpi lyhyet esimerkit Faulhaber-muotoisten komentojen lähettämisestä ohjaimelle. Komentojen lähettämiseen käytettiin PCAN-view -ohjelmaa, joka toimii terminaalina CAN-väylän viesteille. Tarkemmat ohjeet löytyvät Faulhaberin omasta kommunikaatiomanuaalista.

Faulhaber-muodossa oleva viesti koostuu **ID:stä**, sekä **viiden tavun mittaisesta** komennosta (kuva 13.).

Viestin ID kertoo, minkä muotoinen viesti on kyseessä, sekä viestin kohteen. Jos viestin ID on 300, tarkoittaa se, että kyseessä on RxPDO2, eli FAULHABER-muotoinen komento. ID:n tarkka muoto **301** kertoo viestin olevan FAULHABER-muotoinen komento **nodelle 1**. Esimerkiksi nodelle kaksi käytettäisiin ID:tä 302 jne.



KUVA 13. FAULHABER-muotoinen CAN-viesti

Komennon tavuista ensimmäinen kertoo, mistä komennosta on kyse. Kaikki komennon tavut on ilmoitettava hexadesimaalimuodossa. Kuvan 13. esimerkkikomennon ensimmäinen tavu B4 kertoo, että kyseisellä komennolla määritetään tavoitesijainti moottorin liikkeelle. **Eri Faulhaber-komennoille löytyvät tavut Faulhaberin kommunikaatiomanuaalista, alkaen sivulta 133.**

Neljä viimeistä tavua kertovat parametrit komennolle, esimerkiksi kuvan 13 tapauksessa parametreina on paikkatieto 600000. **Parametrit on ilmoitettava hexadesimaalina Little endian-muodossa.** Netistä löytyy useita työkaluja desimaalilukujen muuttamiseen Little endian-muotoon (kuva 14.).

Enter decimal number

600000 10

Convert Reset Swap

Hex number (5 digits)

927C0 16

Hex signed 2's complement (8 digits)

000927C0 16

Binary number (20 digits)

10010010011111000000 2

Digit grouping

Little endian

Address	0	1	2
Data	C0	27	09

KUVA 14. Desimaaliluku muutettuna Little endianiin

Tietojen kyselyyn ohjaimelta, esim. paikkatiedon kysymiseen, käytetään viesteissä ID:tä 280, mikä tarkoittaa TxPDO2:ta, eli n. Faulhaber query-komentoa. ID:n perään lisätään myös sen noden numero, mille viesti on osoitettu.

Tiedon ulos saamiseksi ohjaimelle on ensin lähetettävä RxPDO2-muotoinen komento (ID 300), esim. paikkatietojen kyselykäske. Tämän jälkeen lähetetään sama komento, mutta TxPDO2-muodossa (ID 280). Ohjain lähettää paikkatiedon ulos vasta TxPDO2-komennon jälkeen.