



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

SÄÄTÖJOHDE

Jomet Oy

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikka
Mekatroniikka
Opinnäytetyö
Syksy 2011
Anssi Lautjärvi

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka

LAUTJÄRVI, ANSSI:

Säätöjohde
Jomet Oy

Mekatroniikan opinnäytetyö, 46 sivua, 21 liitesivua

Syksy 2011

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö tehtiin forssalaiselle Jomet Oy:lle syksyllä 2011. Yritys valmistaa automaattisia pakkauskoneita teollisuuden tarpeisiin. Koneen vaatimukset vaihtelevat suuresti kohteen ja asiakkaan mukaan, joten käytännössä lähes jokainen kone on ainut laatuaan. Suunnittelussa pyritään saavuttamaan kustannustehokkuutta yksittäisten komponenttien standardoinnilla.

Jometilla on ollut käytössä itse suunniteltu standardikomponentti, käsikäyttöinen alumiiniprofiilia pitkin ajettava lineaaritrapsiruuvikäyttö. Johdetta voidaan käyttää esimerkiksi koneen mekaniikan uudelleen säädössä, kun käsiteltävän tuotteen mitat muuttuvat työnvaihdon yhteydessä.

Opinnäytetyön tarkoitus oli kehittää johdetta edelleen ja suunnitella siitä moottorikäyttöinen versio. Moottorikäyttöistä johdetta voidaan käyttää hyödyksi myös koneen varsinaisessa työkierrossa toimilaitteena.

Vaihtoehtoisina voimansiirtomenetelminä esitellään trapsiruuvi, hammashihnakäyttö ja sekä perinteinen kuularuuvi että kuulaton liikeruuvi. Hammashihnakäyttö esitellään pelkästään teoriassa, ruuvikäyttöistä piirrettiin valmiit SolidWorks-mekaniikkakuvat.

Lisäksi rakennettiin Eichenbergerin kuulattoman liikeruuvien ympärille testipenki, jota ajetaan Feston servomoottorilla. Opinnäytetyössä esitellään testipenkin suunnitteluprosessi servokonfiguraatioineen.

Avainsanat: lineaarijohde, säätöjohde, trapsiruuvi, liikeruuvi, kuularuuvi, hammashihnakäyttö, servokäyttö

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

LAUTJÄRVI, ANSSI: Positioning guidance
Jomet Oy

Bachelor's Thesis in Mechatronics 46 pages, 21 appendices

Autumn 2011

ABSTRACT

This thesis was made for Jomet Oy during the autumn 2011. The company is situated in Forssa in Southern Finland and is specialized in designing and manufacturing of packaging automation lines. The required functions of the lines vary remarkably depending on the client and the field of industry, which means that practically nearly each line is unique. The cost efficiency of the designing work is to be kept at a reasonable level by standardizing individual components.

Jomet has been using a self-designed standard component, a manually driven trapezoidal lead screw guidance built inside an aluminium profile. The guidance is useful in case the mechanics of the line must be readjusted, for instance, if the dimensions of the product to be handled change.

The goal of the thesis was to increase the performance of the guidance and design a motor-driven version of it. A motor-driven guidance can be utilized also in the main work cycle as a program-controlled positioning unit.

The variety of power transmission methods presented in the thesis include the trapezoidal lead screw, the toothed-belt drive and both the ball screw and the lead screw without the ball circulation system. The toothed-belt drive is presented only in theory, the screw drives are, in addition to theory, also modelled with Solid-Works.

Furthermore, a test drive powered by a Festo servo motor and an Eichenberg lead screw was built. The designing process, as well as the servo configuration, is described in this thesis.

Key words: linear guidance, positioning guidance, trapezoidal lead screw, lead screw, ball screw, toothed-belt drive, servo drive

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	JOHDE	3
2.1	Alumiiniprofiilin suunnittelu	4
2.1.1	T-mutteriurat	4
2.1.2	Valmistustekniikan huomiointi	7
3	KIINNITYSPÖYTÄ	11
4	KÄYTTÖ	12
4.1	Käsiikäyttöinen trapetsiruuvivälitys	12
4.2	Moottorilta vaadittava voima	14
4.3	Ruuvikäyttöjen laakerointi	15
4.4	Kytkin ja kytkinkotelo	15
4.5	Kuularuuvivälitys	17
4.5.1	Kuularuuvin kriittinen nopeus	17
4.5.2	Kuularuuvin vääntömomentti	21
4.5.3	Kuularuuvin mutterinkannatin	22
4.6	Liikerouvivälitys	23
4.6.1	Liikerouvin kriittinen nopeus	24
4.6.2	Liikerouvin kuormakerroin	25
4.6.3	Liikerouvin vääntömomentti	27
4.6.4	Liikerouvin mutterinkannatin	28
4.7	Hammashihnavälitys	29
4.7.1	Hampaan kestävyys	29
4.7.2	Hammashihnakäytön vääntömomentti	31
5	TESTIKÄYTTÖ	33
5.1	Laitteisto	33
5.2	Laskelmat	34
5.3	Mekaaniset rakenteet	36
5.4	Sähkösuunnittelu	37
5.5	Servoakselien konfigurointi ja käyttöönotto	40
5.6	CoDeSys-ohjelma	40
6	YHTEENVETO	42
	LÄHTEET	44

Liite 1. Pää- ja logiikkapiirikaaviot

Liite 2. Servoakselien konfigurointi ja käyttöönotto

Liite 3. Logiikkaohjelma

1 JOHDANTO

Jomet Oy on vuonna 1977 perustettu automaattisia pakkauskoneita suunnitteleva ja valmistava forssalainen yritys. Pakkauskoneiden kirjo on hyvin laaja, ja jokainen kone on asiakkaan toiveiden mukaisesti räätälöity. Suunnittelussa ei siis juurikaan voida turvautua standardinmukaisiin kokonaisratkaisuihin, sitä vastoin standardikomponenteilla saadaan aikaan kustannustehokkuutta. (Hiisilä 2011.)

Yhtenä standardikomponenttina voidaan pitää Jometin suunnittelemaa moduulityyppistä lineaarijohderatkaisua, joka pohjautuu teetettyyn alumiiniprofiiliin upotettavaan trapetsiruuvikäyttöön. Käytännön esimerkki käsikäyttöisen trapetsiruuvin käytöstä on käsiteltävän tuotteen mittojen vaihtuminen työnvaihdon yhteydessä. Ratkaisu on vastaaviin kaupallisiin lineaarijohdeyksikköihin verrattuna taloudellisempi ja joustavampi, sillä profiili ja ruuvi ovat hyllytavaraa ja kuhunkin tilanteeseen saadaan helposti itse mitattua sopivan kokoinen johde. (Hiisilä 2011.)

Trapetsiruuvikäytön lineaariliike-elementtinä on käytetty alumiiniprofiilin muotoa johdekiskona hyödyntävää alumiinikelkkaa, johon on porattu vakioimitoitettu reikäryhmä paikoitettavan rakenteen kiinnitystä varten. Alumiiniprofiilin pursotusteranssi on kuitenkin aikaa myöden osoittautunut johdekäytössä riittämättömäksi, mikä usein näkyy profiilin toisessa päässä välyksenä toisen päädyn jäädessä kelkalle liian ahtaaksi. (Hiisilä 2011.)

Ratkaisuna tähän on kelkan rakenteesta kehitetty ruuvein säädettävä. Rakenne mahdollistaa kelkan säätämisen johteeseen sopivaksi, mutta sovitus on aikaa vievää ja tuloksena on aina yksilöllinen sovite. Tämä ei välttämättä ole kustannustehokkuuden ja huollon kannalta optimaalinen ratkaisu, vaikka johteen komponentit onkin metritavarana tilattu ja itse koneistettu. (Hiisilä 2011.)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää vaihtoehtoja säätöjohteen rakenteelle ja komponenteille. Tavoitteena on kehittää kustannustehokas ja käytännöllinen standardijohderunko sekä siihen sopiva moottoroitu tarkkuussäätökäyttö, jota voidaan tarvittaessa muokata käyttökohteeseen sopivaksi.

Työssä tarkastellaan hammashihnakäytön ja sekä kuularuuvien että kuulattoman liikeruuvien mahdollisuuksia johteessa. Trapetsiruuvi tulee säilyttämään asemansa tulevaisuudessakin käsikäyttökomponenttina, joten uuden johderungon toimivuus trapetsiruuvien kanssa varmistetaan. Laajasta komponenttivalmistajien tarjoamasta valikoimasta saadaan rajattua suuri osa pois ottaen huomioon Jometin vaatimukset paikoituksen suorituskyvystä. Tavoitenopeuteen 1 m/s pyritään 0,4 sekunnin kiihdytysajassa. Ruuvikäytöissä suuret nopeudet aiheuttavat herkästi mekaniikkaa vahingoittavan resonanssitilan, joten teoreettiset laskelmat ovat välttämättömiä tehdä.

Teoreettisen tutkimuksen lisäksi opinnäytetyö sisältää testikäytön suunnittelun sveitsiläisen lineaarivoimansiirtokomponentteihin erikoistuneen Eichenberger Gewinde AG:n valikoimasta löytyvällä suurinosisella Speedy-liikeruuvilla ja tunnetun automaatioteknologiatoimittaja Festo Oy:n servokäytöllä. Testikäyttö on puhtaasti tuotekehitysprojekti, sillä Jometilla ei ole aikaisempaa kokemusta kyseisten valmistajien mainituista komponenteista. Suunnitellun käytön sähköpiirustukset sekä logiikkaohjelma löytyvät liitteenä opinnäytetyön lopusta. SolidWorks-mallinnusohjelmalla piirretyt mekaniikkakuvat seuraavat opinnäytetyön mukana digitaalisessa muodossa (CD/DVD) muokattavuuden säilyttämiseksi.

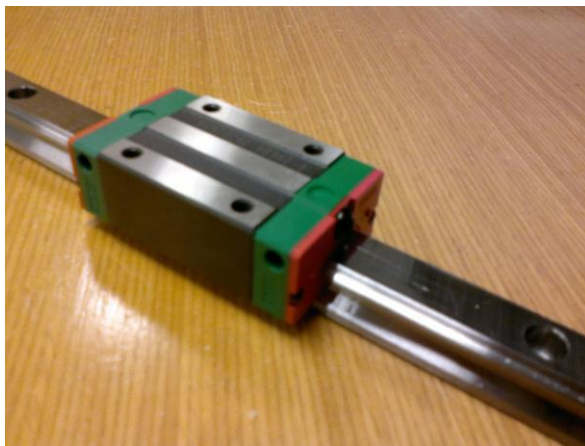
Testikäytön tuloksia verrataan teoreettisiin hihna- ja kuularuuvikäytön laskelmiin ja Jometin suunnittelijoiden keräämään vuosien kokemukseen säätöjohteiden parissa. Suorituskyvyltään ja käytettävyydeltään parhaat ratkaisut tullaan huomioidaan Jometin suunnittelussa tulevaisuuden pakkausautomaatiosovelluksissa.

Kaikki opinnäytetyön laskutoimitukset on laskettu SI-järjestelmän suureita käyttäen, ellei toisin ole mainittu.

2 JOHDE

Lähtökohtaisesti voidaan johdevaihtoehdoista jättää pois alumiinijohdeessa ruuvi-käyttönä kulkeva alumiinikelkka pursotteen toleranssiongelmien vuoksi. Alumii-niprofiili runkoelementtinä on kuitenkin muuten erittäin toimiva ratkaisu, sillä profiilimuotin teettämisen jälkeen itse profiili on edullista metritavaraa. Profiilin muodosta saa myös suhteellisen suuria kuormia kestävän ja myös kiinnitysarat ja ruuvien alkureiät profiilin päätyihin voidaan suunnitella täysin Jometin tarpeiden mukaan.

Johde-elementteinä voidaan käyttää taiwanilaisen Hiwin Corporationin lineaari-johdetta ja HG20CA-kelkkaa (kuvio 1), joista Jometilla on myönteistä käyttöko-kemusta (Hiisilä 2011). Yhdistelmä tuo paikoitukseen kaivattua välyksettömyyttä ja suorituskykyä, hinta on melko edullinen ja kelkka kestää dynaamistakin rasitus-ta jopa 17 kN (Hiwin Corporation 2010b, 35). Lisäksi johdekisko on pitkää hylly-tavaraa, mikä tarjoaa joustavuutta suunnitteluun.



KUVIO 1. Hiwin HG20CA-lineaarijohde ja kelkka

2.1 Alumiiniprofiilin suunnittelu

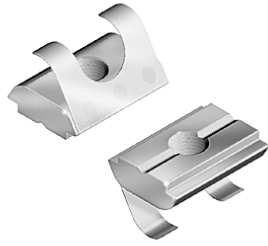
Profiilin muodon suunnittelussa olennaista on saada tarvittavat elementit integroitua mahdollisimman pieneen tilaan säilyttäen kuitenkin rakenteen jäykkyys ja kestävyys. Vaadittavia elementtejä ovat kiinnitysura kuulajohteelle, käyttötila ruuville tai hihnalle, sekä moduulin kiinnitykseen koneen runkoon käytettävät mutteriurat ja -palat. Profiilin päihin tarvitaan lisäksi alkureiät päätyrakenteiden kiinnitykseen.

2.1.1 T-mutteriurat

Mutteriurien mitoitus vaatii markkinoilla saatavilla olevien mutterikokojen lähempää tarkastelua. Kaupan hyllyltä suoraan löytyvien standardiprofiilien mallisot muuttuvat aika ajoin ja usein myös mutterikoot niiden mukana profiilin mutteriuran vaihtuessa erikokoiseksi. Tämän vuoksi profiilin uraa ei kannata suunnitella vain yhdelle mutterille vaan mahdollisimman monenkokoiselle ja -muotoiselle sopivaksi.

Toinen olennainen uran mitoitukseen liittyvä seikka on mutterin mahtuminen uraan jossain asennossa keskeltä profiilia. Asennusteknisesti, jos lähes valmiiseen koneeseen tulee muutos viime hetkellä ja keskelle profiilia tulee kiinnitettäväksi rakenteita, nopeutuu työ huomattavasti, jos lisäys ei vaadi valmiiden rakenteiden purkamista ja mutterin lisäämistä profiilin päädystä. (Hiisilä 2011.)

Myös lehtijousella (kuvio 2) tai vastaavalla mekaniikalla varustettu mutteri helpottaa esimerkiksi pystysuunnassa suoritettavia asennuksia huomattavasti. Tällöin, kun pystyssä olevaan mutteriuraan pujotetaan mutteri, kiinnike ei tipahda alas vaan jää jousen varassa sijoituskohtaan nojaten profiilin ulkoseinämän alapintaan. (Hiisilä 2011.)



KUVIO 2. Lehtijousellinen Fath 096168F -mutteripala (Fath GmbH 2011)

Sopivanlaisia, toiveet ja vaatimukset täyttäviä M8-kierteisiä muttereita myyvät ainakin saksalaiset Fath GmbH ja MayTec Aluminium Systemtechnik GmbH. Todennäköisesti ainakin erilaisiin kiinnikkeisiin erikoistuneen Fathin laaja mutterimallisto pysyy saatavilla, vaikka profiilimallit ympärillä muuttuvat.

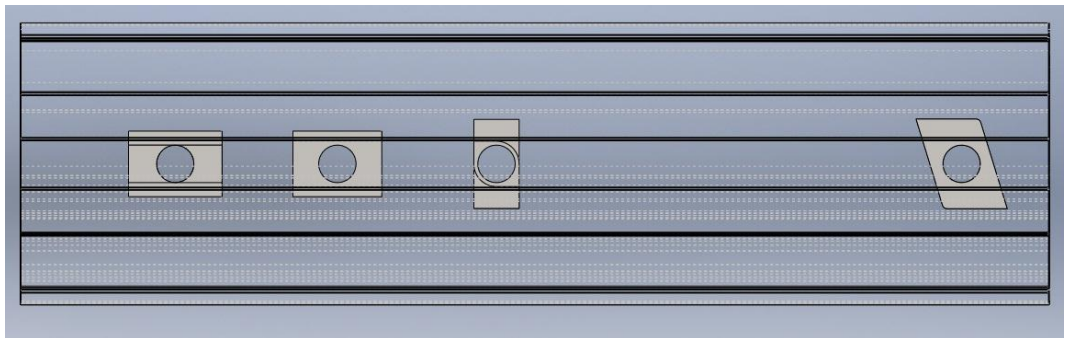
Varmuuden vuoksi vaihtoehdoksi otetaan silti myös suomalaisen Würth Oy:n tavallinen salmiakkimutteri, josta puuttuu jousioptio, mutta joka kuitenkin mahtuu profiilin uraan ja vieläpä kiristäessä kääntyy aina samaan asentoon lukittuen ulkoreunan alle tukevasti. Saman periaatteen mukaisesti toimii myös Fathin valmistama ”Hammer nut” (kuvio 3) 90° kääntyvä ja lukittuva mutteripala, jota voidaan myös tarvittaessa käyttää. (Fath GmbH 2011; Würth Oy 2011.)



KUVIO 3. Fath 096H10 -sarjan ”hammer nut” (Fath GmbH 2011)

Valitaan 10 mm:n kiinnitysuraan käytettäväksi seuraavat, myös kuviossa 4 esitetyt M8-mutteripalamallit (Fath GmbH 2011; MayTec GmbH 2011; Würth Oy 2011):

- Fath 096168F (Lehtijousella; sinkittyä terästä)
- MayTec 1.32.4EM8/1.32.4EM8V (Lehtijousella; teräs/ruostumaton teräs)
- Fath 096H10830/096H10830E ("Hammer nut"; teräs/ruostumaton teräs)
- Würth salmiakkimutteri 0862-062-48 (Sinkittyä terästä).

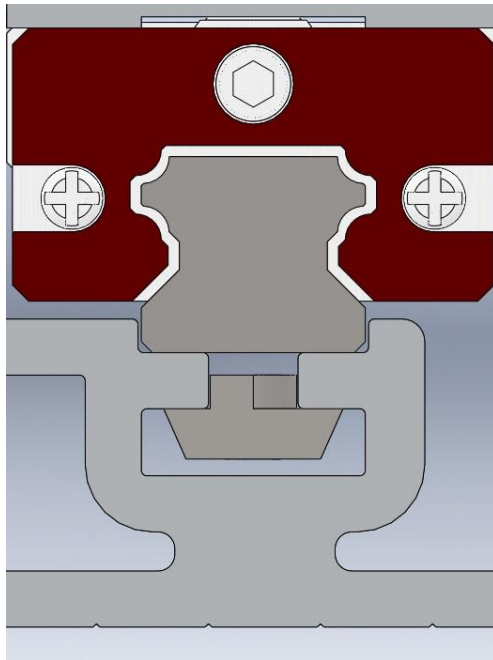


KUVIO 4. 10 mm:n kiinnitysuraan valittavat M8-mutteripalat

T-mutteriura on kätevä tapa myös lineaarijohteen asennukseen. Käytännöllisin mutteripalatyyppejä tarkoitukseen on ehkä poikittain uraan lukittuva "hammer nut", joka kannattaa esiasentaa johdekiskoon löysästi uran suuntaisesti ennen johteen asettamista uran päälle. Kun mutterit on asennettu, kisko asetetaan uran kohdalle ja mutteripalat solahtavat uraan. Kun johde sitten kiristetään paikalleen, mutterit lukittuvat oikeaan asentoon ja tukevat johteen profiilin pintaan. Tämän vuoksi esimerkiksi arvokkaampiin lehtijousillisiin muttereihin on tässä yhteydessä tarpeetonta panostaa. Valittu Hiwinin lineaarijohde kiinnitetään M5-kierteisillä muttereilla, ja myös tässä koossa löytyy sopivat versiot sekä Fathilta että MayTeciltä. Würth ei toimita M5-kokoisia salmiakkimuttereita.

Linearijohteen 8 mm:n uraan (kuvio 5) sopivat M5-mutteripalamallit (Fath GmbH 2011; MayTec GmbH 2011):

- Fath 096H08530 ("Hammer nut"; sinkittyä terästä)
- MayTec 1.34.10EM5 ("Hammer nut"; sinkitty GD-Zn -seos).



KUVIO 5. Fathin "Hammer nut" linearijohteen urassa

2.1.2 Valmistustekniikan huomiointi

Alumiiniprofiileja toimittava siurolainen Purso Oy esittelee internetsivuillaan raja-arvot profiilin suunnitteluun. Profiilin poikkileikkauksen ympäri piirretty ympyrä ei saa olla yli 300 mm suurimmallakaan Purson puristimella valmistettuna. Seinämävahvuuden minimi on 1,2 mm, mutta jo kestävyysnäkökulmasta tarkasteltuna kannattaa harkita selkeästi paksumpaa materiaalia. (Purso Oy 2011.)

Huomiota kannattaa kiinnittää myös materiaalivahvuuden tasaisuuteen, sillä selvästi erivahvuiset seinämät jäähtyvät eri tahtiin pursotuksen jälkeen, mikä saattaa johtaa hitsauksesta tunnetun "vetelyn" kaltaiseen ilmiöön rakenteessa. Vetelyssä

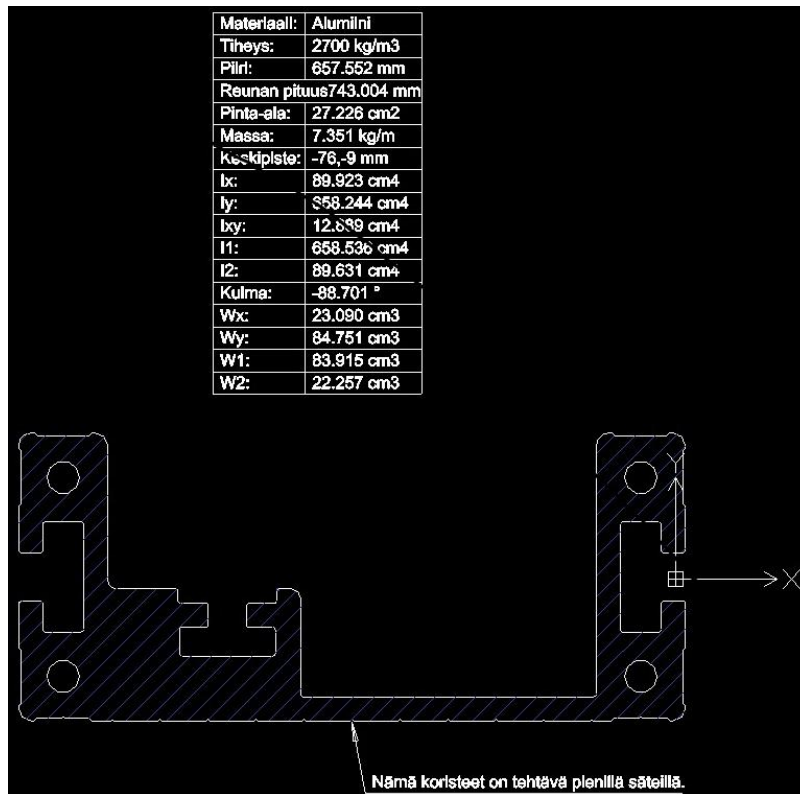
on kyse materiaalin epätasaisen lämpölaajenemisen tai jäähtymisen aiheuttamasta ulkomuodon vääntymisestä. Vaikka tavoitteena onkin suunnitella johde niin, ettei toimilaitteen toiminta ole herkkä pienille profiilin mittavirheille, tulee profiilin muodosta väistämättä melko avoin energiansiirron ja kelkan asennettavuuden vuoksi. Avoimuus altistaa sille, että jo pieni vetely toisessa päässä profiilia saattaa saada aikaan reilun mittavirheen rakenteen toisessa päässä.

Rakenteen monimutkaisuus vaikuttaa myös valmistettavuuteen. Itse suunniteltu valmis profiilin muoto toimitetaan profiilivalmistajalle, joka teettää muodon pohjalta puristimeen sopivan muotin. Jokainen tuurna kasvattaa muotin tekoon tarvittavan työkalun hintaa noin 4 - 8 % (Paasi 2011). Kuitenkin, muotin valmistuksen jälkeen metrihinta itse suunnitellulle profiilille on edullinen, joten toimivaan tuotantotyökaluun sijoitus saattaa olla järkevää (Hiisilä 2011).

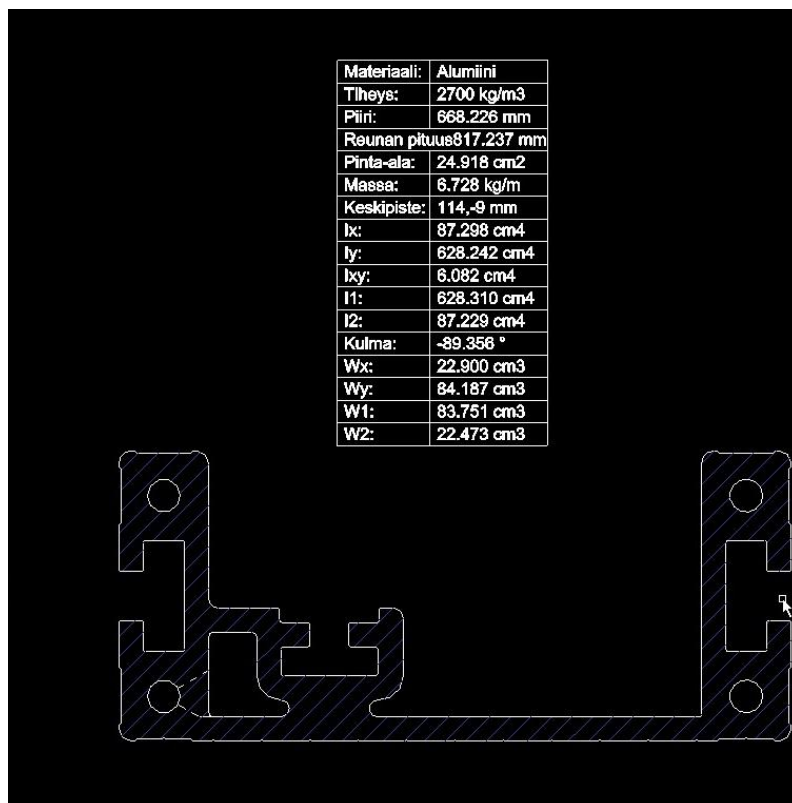
Ensimmäinen versio profiilista (kuvio 6) lähetettiin Nordic Aluminiumille, joka on Kirkkonummella toimiva alumiinijalostustuotteiden tarjoaja. Pääsuunnittelija Pertti Paasi lähetti takaisin kuvion 7 mukaisen parannusehdotuksen. Ensimmäisen version paksu kohta profiilissa vie Paasin mukaan paljon raaka-ainetta ja aiheuttaa jäähtyessään sivuttaiskuormitusta työkaluun, jolla tehdään vasemman alakulman pulttikierteen alkureikä. Tämä johtaa työkalun taipumiseen, mahdollisesti jopa katkeamiseen.

Parannusehdotuksena Paasi esittelee kevennysonkalon, joka jopa jatkuisi vasemman alakulman reikään. Reikään jatkuva onkalo heikentää kierrettä hieman, mutta säästää yhden ylimääräisen tuurnan hinnan. Tämän tyyppiset ratkaisut ovat Paasin mukaan yleisesti käytössä.

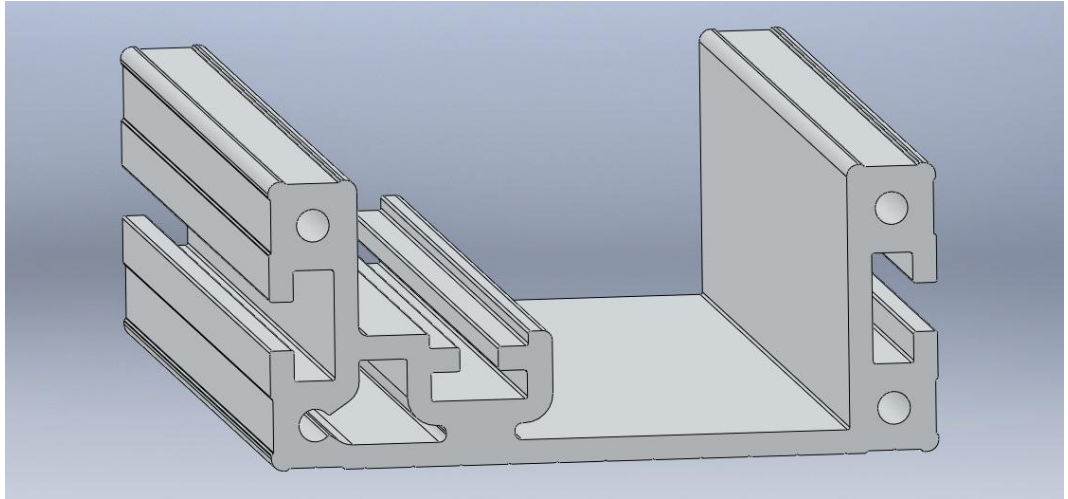
Paasin mukaan paksu kohta ei olisi ongelma ilman alakulman reikää. Purson tuotepäällikkö Pasi Kohtala puolestaan pitää nyrkkisääntönä, että paksuimman kohdan suhde aineen perusvahvuuteen kannattaa olla enimmillään 3:1. Säättöjohteen profiilin perusvahvuus on 5 mm, joten paksuin kohta 27 mm olisi joka tapauksessa ollut liikaa Kohtalan ohjeen mukaan.



KUVIO 6. Ensimmäinen versio, kommentti Pertti Paasin



KUVIO 7. Nordic Aluminiumin Pertti Paasin parannusehdotus



KUVIO 8. Säättöjohteen lopullinen profiili

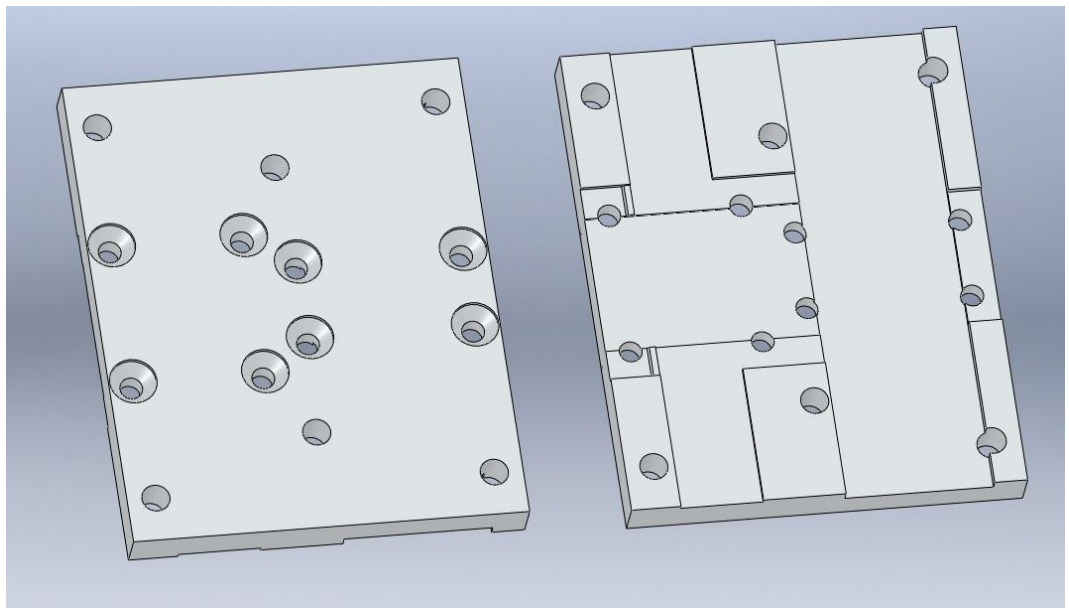
Johdeprofiilin lopullinen versio on Paasin ohjeita noudattaen kuvion 8 kaltainen. Pursotetulle alumiiniprofiilille teetetään lopuksi vielä luonnonvärianodisointikä-sittely ulkonäkösyistä Jometin tavan mukaisesti (Hiisilä 2011).

3 KIINNITYSPÖYTÄ

Kiinnityspöydän tehtävä on yhdistää paikoitettava rakenne lineaarijohteen kelkkaan ja liike-energiaa välittävään koneenelimeen, hihna- tai ruuvikäyttöön. Pöytä kiinnitetään kelkkaan ja ruuviin tai hihnaan pultein, joten oleellista on, että kiinnityspöydän kautta rakenteisiin kulkeva voima ei rasita pultteja tarpeettomasti ja aiheuta näin väsymismurtuman mahdollisuutta jatkuvassa rasituksessa. Sen vuoksi pöydän pohjaan koneistetaan urat niin, että kappale tukeutuu ja ottaa vastaan vaakatasossa kulkevat voimat pulttien sijaan.

Kiinnityspöytään tulee paikoitettavia rakenteita varten kuusi kiinnitysreikää. Aiemmassa rakenteessa käytetty reikäväli 70 mm keskellä johdetta kiskon suuntaisesti halutaan säilyttää olemassa olevien standardikiinnikkeiden vuoksi, minkä lisäksi tehdään neljä reikää kiinnityspöydän nurkkiin (Hiisilä 2011). Pulttikoko on M8.

Kelkan ja ruuvikäytön mutterinkannattimen kiinnityspultit upotetaan kiinnityspöytään päällirakenteiden asennusta helpottamaan kuvion 9 mukaisesti.



KUVIO 9. Kiinnityspöytä kuvattuna päältä ja alta

4 KÄYTTÖ

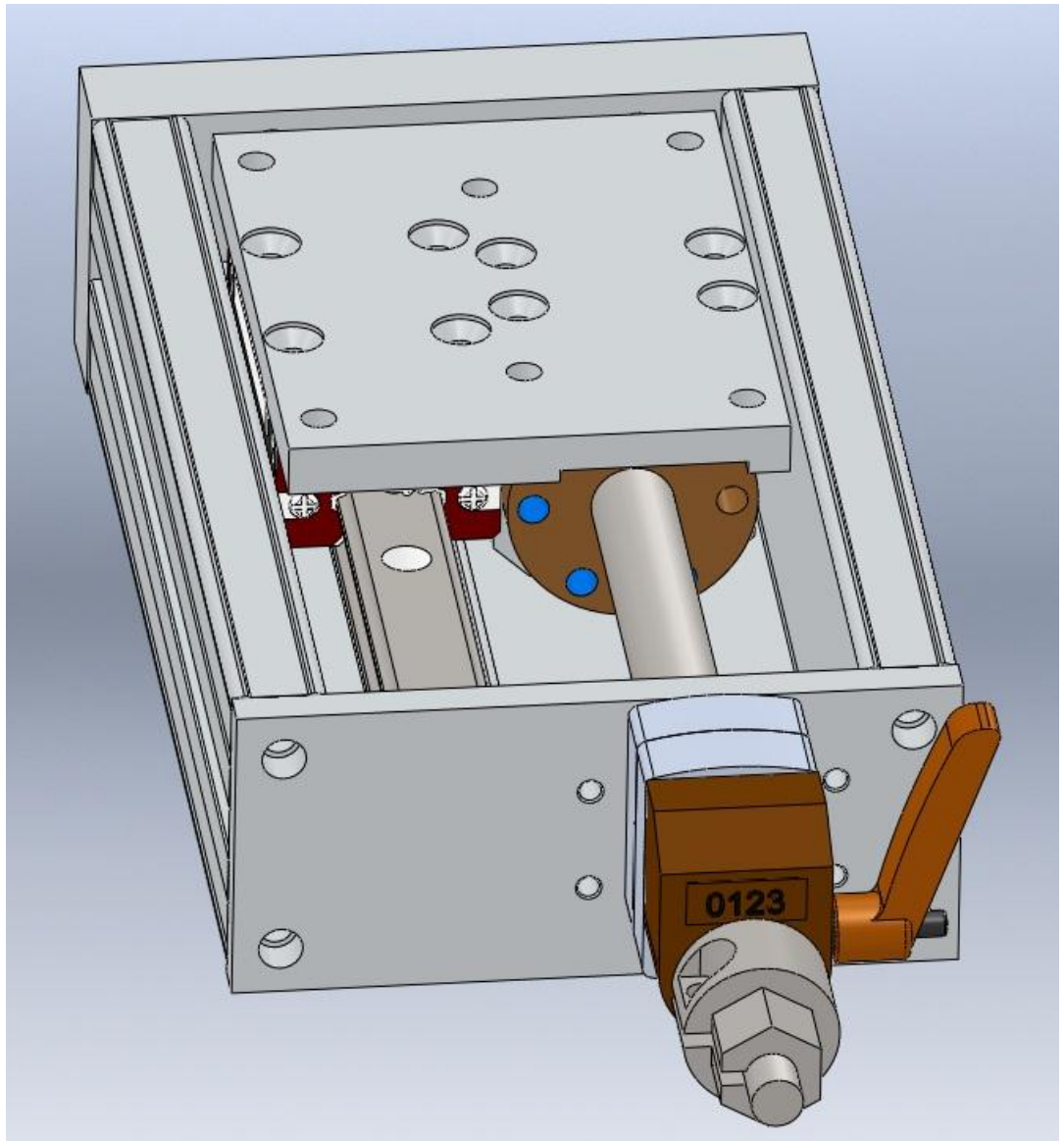
Rakenteisiin vaikuttavien voimien tiedostaminen ja käytön huolellinen mitoitus ovat olennaisimpia asioita johdmoduulin suunnittelussa toimilaittekokonaisuuden kestävyys- ja toimivuuden kannalta. Moottoroiduissa käytöissä on otettava huomioon nopeaan kiihdytykseen vaadittava vääntömomentti ja jokaisen yksittäisen komponentin pitää kestää tuotettu momentti. Moottoroiduissa ruuvikäytöissä pitää lisäksi huomioida kullekin akselille ominainen kriittinen nopeus, jossa ruuvin pyörimisnopeus saavuttaa akselin ominaisvärähtelytaajuuden (Hiisilä 2011). Tämän seurauksena ruuviakseli alkaa resonoida voimakkaasti ja saattaa jopa katketa.

Jokaiselle käytölle täytyy myös suunnitella mekaaninen kiinnityspala, jolla käyttö saadaan sidottua kelkkaan aiemmin esitellyn kiinnityspöydän välityksellä. Ruuvikäytöissä kyseessä on liuku- tai kuulamutterin kannatinpala ja hihnakäytössä hammashihnan pöytään sitova kannatin. Hihnakäytön kannattimen suunnittelu jätetään kuitenkin tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

4.1 Käsikäyttöinen trapetsiruuvivälitys

Trapetsiruuvin hyötysuhde on esimerkiksi kuularuuvia selkeästi matalampi ja sillä ei voi suorittaa nopeita ja tarkkoja paikoituksia automaattisesti. Sen hintalaatusuhde on kuitenkin hyvä, ja siksi sitä kannattaa käyttää käsin suoritettavissa toiminnoissa, kuten tuotantokoneen työvaihdoissa tuotteen mittojen muuttuessa. Trapetsiruuvin kanssa Jometilla on ollut käytössä analoginen millimetrimitari ruuvin päässä tarkkoja paikoituksia varten. (Hiisilä 2011.)

Raskaampia rakenteita voidaan Hiisilän mukaan paikoittaa kaksinkertaisella säätöjohteella, kahden erikätisen trapetsiruuvin ja kahden kulmavaihteen kanssa. Trapetsiruuvin koko kannattaakin valita käyttöön niin, että saatavilla on sekä oikea- että vasenkätinen ruuvikierre. Säätöjohteeseen sovitetaan esimerkkitrapetsiruuviksi SolidWorks-malliin oikeakätinen 16/4-trapetsiruuvi. Ruuvin halkaisija on siis 16 mm ja nousu 4 mm kierrosta kohti.



KUVIO 10. Trapetsiruuvikäyttö ja millimetrimittari

Kelkkaa siirretään manuaalisesti jakoavaimella. Avainväli on 19 mm. Kuviossa 10 näkyvää kahvaa käyttämällä vapautetaan ensin akseli, minkä jälkeen rakenne voidaan asemoida haluttuun sijaintiin. Toimivaksi havaittu paikoitus voidaan toistaa lukemalla millimetrielukema mittarista.

4.2 Moottorilta vaadittava voima

Jomet asettaa moottoroidun käytön kiihtyvyydelle tavoitteeksi nopeuden 1 m/s saavuttamisen ajassa 0,4 s. Käsiteltävän tuotteen massaksi määritellään 10 kg, rakenteiden ja käytön yhteismassaksi 30 kg ja paikoitusmatkaksi 1 m. (Hiisilä 2011.)

Jos oletetaan paikoitettavan rakenteen olevan vaikkapa kappaleenkäsittelijä, pitää huomioon ottaa kappaleen ja mahdollisen tasopinnan välinen kitkakerroin. Kitkakerroimeksi arvioidaan 1,1, sillä pinta voi joskus olla hyvinkin tahmea (Hiisilä 2011).

Olenaisia laskettavia avainlukuja ovat käytön vaatima voima, moottorilta vaadittava vääntömomentti, akselin pyörimisnopeus ja mahdollisesti väliin sovitettavan vaihteen välityssuhde. Käytöstä riippumatta voidaan olettaa, että voima, joka tarvitaan käytön liikuttamiseen, on aina sama:

$$m_{\text{kok}} = 30 \text{ kg (koko kiihdytettävä massa)}$$

$$m_{\mu} = 10 \text{ kg (kitkaa aiheuttava muu massa, esimerkiksi käsiteltävä tuote)}$$

$$\mu = 1,1 \text{ (pöydän tms. vastuksen varmuuskitkakerroin)}$$

$$v = 1 \text{ m/s}$$

$$t = 0,4 \text{ s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{\mu, \text{kelkka}} = 2 * 1,57 \text{ N} = 3,14 \text{ N (kahden päätylevyn aiheuttama maksimivastus kelkan ja kiskon välillä; Hiwin Corporation 2010b, 32)}$$

$$\begin{aligned} F &= F_a + \Sigma F_{\mu} \\ &= m_{\text{kok}} a + (F_{\mu, \text{kelkka}} + \mu m_{\mu} g) \\ &= 30 \text{ kg} * \frac{1 \text{ m}}{0,4 \text{ s}} + (3,14 \text{ N} + 1,1 * 10 \text{ kg} * \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2}) \\ &= 186,05 \text{ N} \end{aligned}$$

4.3 Ruuvikäyttöjen laakerointi

Käytön kannalta merkittävät voimat ovat siis kulkusuuntaan vaikuttava kiihdytysvoima, kuorman lineaarijohteeseen aiheuttama paino- tai kitkavoima sekä Hiwinin ilmoittama suurin kelkan ja kiskon välillä vaikuttava liikettä vastustava kitkavoima. Voimia esiintyy siis sekä ruuvin suuntaisesti että ruuviin poikittain vaikuttavia. Tämä täytyy huomioida laakeroinnissa.

Moottorittomaan johteen päähän valitaan kaksirivinen viistokuulalaakeri, joka tukee akselin sekä radiaali- eli säteittäissuunnassa että aksiaalisesti. Moottorin ja vaihteen päähän riittää siten radiaalisuunnassa tukeva urakuulalaakeri.

4.4 Kytkin ja kytkinkotelo

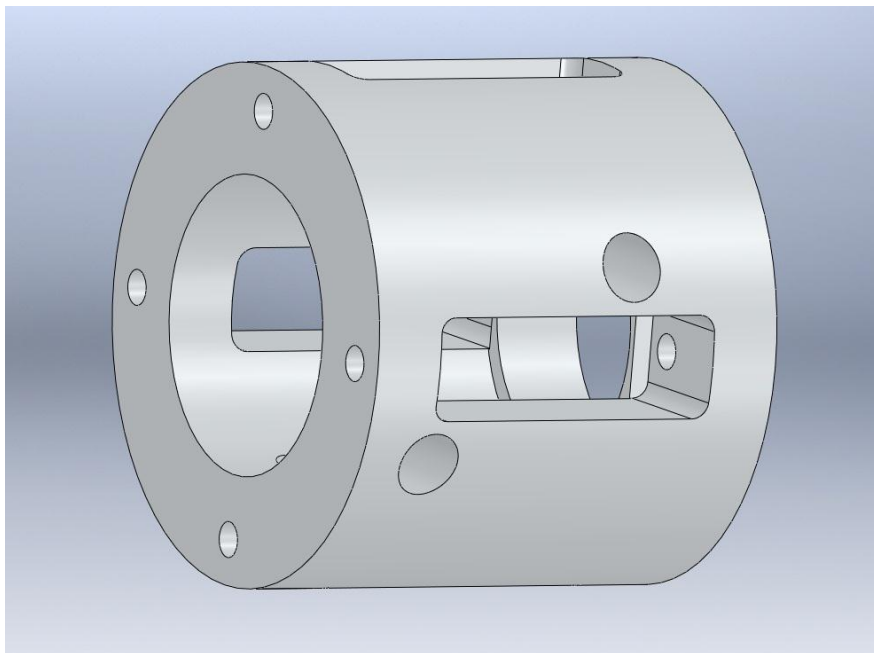
Kuula- ja liikeruuvikäytöissä moottorin akseli on käytännöllistä liittää ruuviin kytkimen välityksellä. Kytkin sallii pienen kulmavirheen käytön ja käytettävän akselin välillä sekä suojaa moottoria ja vaihdetta pieniltä toisioakselin puolelta tulevilta iskuilta. Myös itse asennustyö on helppo.

Kyttimeksi valitaan elastomeerinen R+W EKL20/A -sakarakytkin (kuvio 11) aiempien Jometin kokemusten perusteella (Hiisilä 2011; R+W Antriebsselemente GmbH 2011). Kytkimen nimellisvääntömomentinkestävyys on 17 Nm. Paras saatavuus on kytkimellä, jonka sisähalkaisija on 8 mm molemmin puolin. Kytkin voidaan tarvittaessa itse koneistaa akseleille sopivaksi, kuitenkin maksimissaan akselikokoon 25 mm (R+W GmbH 2011).



KUVIO 11. R+W EKL20/A -sakarakytkin (R+W GmbH 2011)

Kytkin vaatii ympärilleen tukevan kotelon, johon myös kiinnitetään vaihde. Kotelo toteutetaan standardikokoisesta alumiiniainesputkesta (koko 80 x 20 mm), johon sorvataan akselille ja kytkimelle sopiva tila.



KUVIO 12. Kytinkotelo

Kytäkoteloon tehdään hahlot sivuille 90 asteen välein, jotta vaihde saadaan asennettua koteloon ja kotelo johderakenteen runkoon pultein. Kuviossa 12 näkyy lisäksi reiät, joiden avulla sakarakytkin kiristetään akseleihin kiinni.

4.5 Kuularuuvivälitys

Yleisimpien servomoottorien pyörimisnopeudet ovat kohtuullisen suuria, suuruusluokkaa 3000 - 4500 r/min. Kuularuuveja puolestaan saa tavallisesti joka toimittajalta ainakin nousuhaarukalla 5 - 25 mm, joten nopeasti laskettuna vaikkapa kuularuuvikäyttö ilman vaihdetta, 20 mm:n nousulla ja moottorilla, jonka pyörimisnopeus on 3000 r/min, tuottaisi halutun nopeuden 1 m/s. Todellisuudessa joudutaan kuitenkin huomioimaan myös muun muassa laakeroinnin tyyppi, kun välittää kriittisiin nopeuksiin joutumista.

4.5.1 Kuularuuvin kriittinen nopeus

Akselin kriittinen nopeus lasketaan kaavasta (Hiwin Corporation 2010a, 29; kaava on muunnettu vastaamaan SI-järjestelmän suureita):

$$N_C = 4516,667 * \frac{M_f d}{L^2}$$

N_C = kriittinen nopeus [r/s]

d = akselin halkaisija ruuvikierteen pohjasta mitattuna

L = suurin mahdollinen akselin osuus ilman tuentaa

M_f = laakeroinnilla aikaansaatava tuki seuraavan periaatteen mukaisesti:

- $M_f = 1$, kun molemmat akselin päät tuettu aksiaalisesti ja radiaalisesti
- $M_f = 0,689$, kun toinen pää tuettu aksiaalisesti ja radiaalisesti, toinen vain radiaalisesti
- $M_f = 0,441$, kun molemmat päät tuettu radiaalisesti
- $M_f = 0,157$, kun toinen pää tuettu aksiaalisesti ja radiaalisesti ja toinen pää vapaana.

Akselin toisessa päässä oletetaan olevan säteittäissuunnassa tukeva laakeri ja toiseen päähän asennetaan säteittäis- ja aksiaalisuuntaan tukeva laakeri, jolloin M_f -kertoimena voidaan käyttää arvoa 0,689. Tällöin voidaan laatia taulukko saatavilla olevien kuularuuvien sallituista nopeuksista eri ruuvipituuksilla. Taulukkoon 1 on koottu esimerkkiruuvimalleja Hiwinin lisäksi koneenrakennuskomponentteja toimittavilta Misumi Corporationilta ja suomalaiselta SKS Mekaniikka Oy:ltä.

Sallituksi nopeudeksi määritellään 80 % kriittisestä nopeudesta. Sallittu pyörimisnopeus on taulukossa muutettu sallituksi lineaarinopeudeksi kertomalla pyörimisnopeus kierteen nousulla.

TAULUKKO 1. Kuularuuvien sallittu lineaarinopeus [mm/s] (Hiwin Corporation 2010a, 39; Misumi 2011-2012; SKS-Kuularuuvit 2011)

Pituus/nopeus -tarkastelu suunnitteluun (80 % teoreettisista arvoista)					
Pituus [mm]	Ø12 nousu 10mm	Ø15 nousu 20mm	Ø16 nousu 5mm	Ø16 nousu 10mm	Ø16 nousu 16mm
	Juuri-Ø 9,792 (Misumi)	Juuri-Ø 12,5 (Misumi)	Juuri-Ø 13,3 (Hiwin)	Juuri-Ø 13,3 (Hiwin)	Juuri-Ø 13 (arvio) (SKS)
100	24378	62240	16586	33171	53074
200	6095	15560	4146	8293	13269
300	2709	6916	1843	3686	5897
400	1524	3890	1037	2073	3317
500	975	2490	663	1327	2123
600	677	1729	461	921	1474
700	498	1270	338	677	1083
800	381	972	259	518	829
900	301	768	205	410	655
1000	244	622	166	332	531

Kuularuuvien kokoa ei periaatteessa ole rajoitettu, mutta todellisuudessa mitä suurempi on ruuvien halkaisija, sitä suurempi on ruuvia pitkin kulkeva mutteri. Halutun tyyppinen mutteri on asennuksen helppouden vuoksi laippamallinen, ja kuularuuvien johteessa vaatiman tilan määrää hyvin pitkälti juuri laipan halkaisija. Siksi ruuvinkin halkaisija halutaan pitää mahdollisimman pienenä.

Olettaen, että nopeutta 1 m/s halutaan ajaa metrin matka, taulukon esimerkeistä Misumin 15/20 -ruuvikin jää pieneksi.

Sveitsiläinen Eichenberger Gewinde AG toimittaa kuularuuvisarjaa nimeltä Carry Speed-line, jonka malleista löytyy suurinousuisia ruuveja. Kun nousu on suurempi, saadaan pienemmällä pyörimisnopeudella nopeampi lineaariliike. Carry-ruuveissa on myös kuulan palautuskanava rakennettu ruuviin eikä mutteriin, kuten yleensä kuularuuvisovelluksissa. Tämä mahdollistaa kompaktimman mutterikoon. (Eichenberger Gewinde AG 2011a.)

Eichenberger tarjoaa kaavat ja kertoimet omien tuotteidensa sallitun nopeuden laskemiseen (Eichenberger Gewinde AG 2011a, 29):

$$n_{per} = K_D * 10^6 * \frac{d}{L^2} * s_n$$

n_{per} = kriittinen nopeus [r/min]

d = akselin halkaisija ruuvikierteen pohjasta mitattuna [mm]

L = suurin mahdollinen akselin osuus ilman tuentaa [mm]

s_n = suunnitteluun käytettävä varmuuskerroin, suositusarvo 0,8

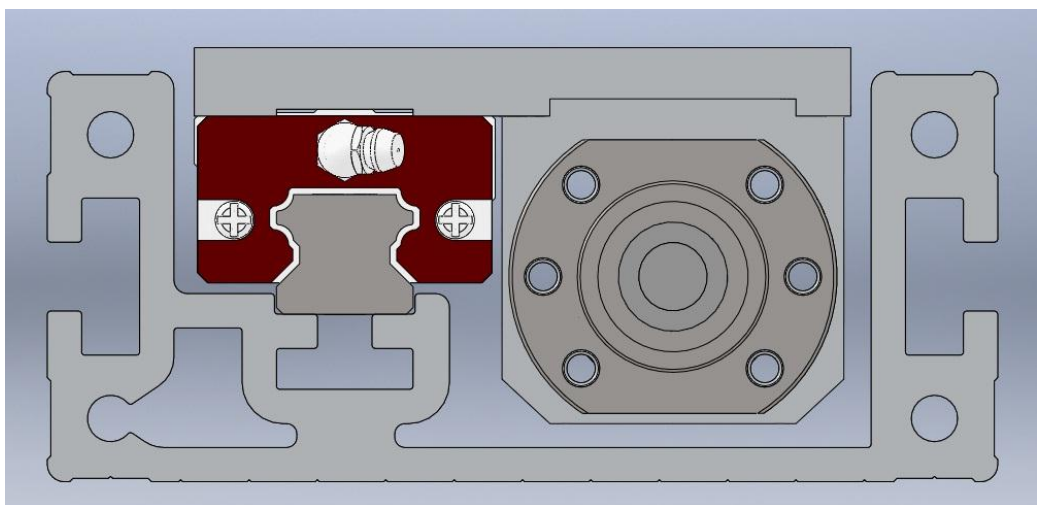
K_D = laakeroinnilla aikaansaatava tuki seuraavan periaatteen mukaisesti:

- $K_D = 276$, kun molemmat akselin päät tuettu aksiaalisesti ja radiaalisesti
- $K_D = 190$, kun toinen pää tuettu aksiaalisesti ja radiaalisesti, toinen vain radiaalisesti
- $K_D = 122$, kun molemmat päät tuettu radiaalisesti
- $K_D = 43$, kun toinen pää tuettu aksiaalisesti ja radiaalisesti ja toinen pää vapaana.

TAULUKKO 2. Carry Speed-line -lineaarinopeusrajoitukset [mm/s] (Eichenberger Gewinde AG 2011a)

Carry Speed-line, tyyppi "FBE" Varmuuskerroin 0,8						
Pituus [mm]		Ø16 nousu 10	Ø16 nousu 16	Ø16 nousu 50	Ø20 nousu 20	Ø25 nousu 25
	Juuri-Ø [mm]	13,4	13,2	13,2	17,3	21,2
100		33947	53504	167200	87653	134267
200		8487	13376	41800	21913	33567
300		3772	5945	18578	9739	14919
400		2122	3344	10450	5478	8392
500		1358	2140	6688	3506	5371
600		943	1486	4644	2435	3730
700		693	1092	3412	1789	2740
800		530	836	2613	1370	2098
900		419	661	2064	1082	1658
1000		339	535	1672	877	1343

Kestävimmän kuvan Carry-ruuveista antaa taulukon 2 mukaan 16/50 -ruuvi (kuvio 13), jolla pystytään varmuuskerroinkin huomioon ottaen ajamaan yli 1,5 m/s vielä metrin pituista käyttöä. Taulukon laskelmissa oletetaan, että toinen pää on tuettu radiaalisesti ja toinen sekä aksiaalisesti että radiaalisesti. Pyörimisnopeus on käännetty lineaarinopeudeksi.



KUVIO 13. Säättöjohteen poikkileikkaus Carry 16/50 -ruuvilla varustettuna

4.5.2 Kuularuuvien vääntömomentti

Eichenberger lupaa Carry-ruuveille hyötysuhteeksi noin 0,85 (Eichenberger Gewinde AG 2011a, 30). Carry Speed-line 16/50 -kuularuuvikäyttöön vaadittava vääntömomentti:

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{\Sigma Fp}{2\pi\eta} \\
 &= \frac{186,05N * 0,05m}{2 * \pi * 0,85} \\
 &= 1,7418 \dots Nm \\
 &\approx 1,74Nm
 \end{aligned}$$

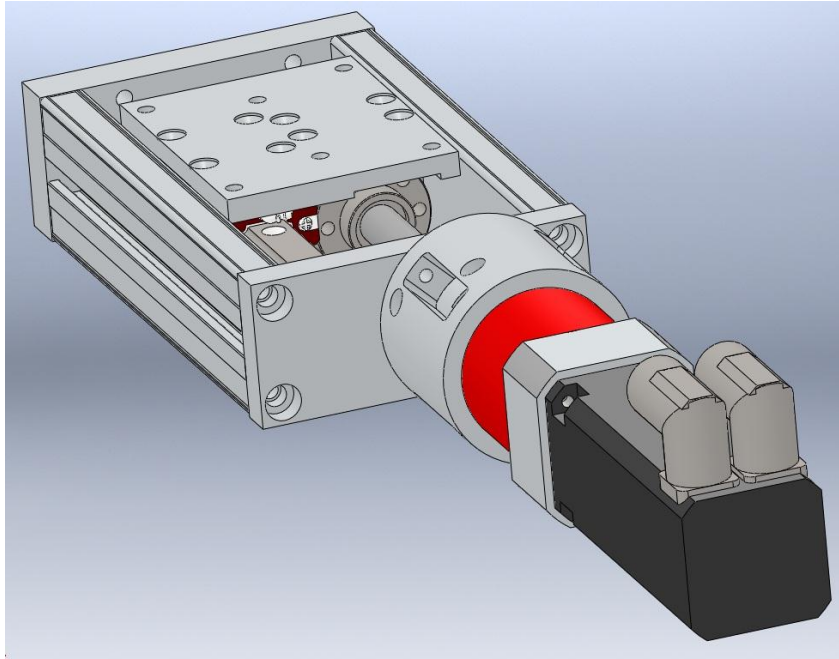
Lineaarinopeus 1 m/s muutetaan pyörimisnopeudeksi nousulla 50 mm:

$$n_{rot} = \frac{v}{p} = \frac{1 \frac{m}{s}}{0,05m} = 20 \frac{r}{s} = 1200 \frac{r}{min}$$

Jometilla yleisesti käytössä ja helposti saatavilla oleva Planetroll PD065 -vaihdelaajitusvälysuhteella $i = 4$ vaatisi moottorilta seuraavanlaisen vääntömomentin ja pyörimisnopeuden:

$$\begin{aligned}
 M_{moottori} &= \frac{M}{i} = \frac{1,74Nm}{4} = 0,44Nm \\
 n_{moottori} &= n_{rot} * i = 1200 \frac{r}{min} * 4 = 4800 \frac{r}{min}
 \end{aligned}$$

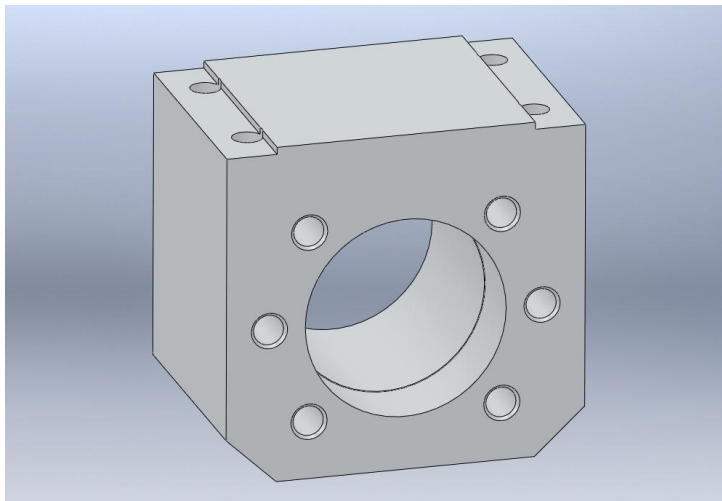
Käyttöön voisi hyödyntää esimerkiksi toista Jometin käyttämää komponenttia, Beckhoff AM3024-wCyz -servomoottoria (kuvio 14). Kyseisen DC-servon nimellävääntömomentti on 1,38 Nm ja nimellispyörimisnopeus 4500 r/min. (Hiisilä 2011; Beckhoff Automation GmbH 2011.)



KUVIO 14. Säättöjohde Beckhoffin servolla ja Planetrollin vaihteella varustettuna

4.5.3 Kuularuuvien mutterinkannatin

Kuularuuvien mutterin sitomiseksi varsinaisen kuorman kiinnityspöytään tarvitaan väliin vielä mutterinkannatin. Kannatin on yksinkertainen alumiinikuutio, johon porataan ruuvikierteet mutterin kiinnitystä varten. Itse kannatin kiinnitetään kuljettavaan pöytään niin ikään pulteilla, joten ruuvikierteet tarvitaan myös kuution päälle kuvion 15 mukaisesti.



KUVIO 15. Carry-kuularuuvien mutterinkannatin

4.6 Liikeruuvivälitys

Kuulattoman liikeruuvin ominaisuudet eivät perinteisesti ole olleet riittäviä nopeisiin ja tarkkoihin paikoituksiin. Eichenberger on kuitenkin vasta lähiaikoina tuonut markkinoille suurinonsuisen liikeruuvimallistonsa ja mainostaa sille hyvää hyötysuhdetta etenkin juuri suuremmilla nousuilla. Speedy-ruuvien (kuvio 16) nousut ovat 5 - 200 mm ja halkaisijat 5 - 36 mm. Eichenberger tarjoaa myös Speedy-mallistolle oman kaavaston yrityksen internetsivuilla saatavilla olevassa suunnittelumanuaalissaan. (Eichenberger Gewinde AG 2011b.)



KUVIO 16. Eichenbergerin Speedy 18/40 -liikeruuvi

4.6.1 Liikeruuvien kriittinen nopeus

Speedyn kriittinen nopeus lasketaan samalla kaavalla kuin tässä opinnäytetyössä aiemmin luvussa 4.4.1 laskettu Eichenbergerin Carry-ruuvien nopeus (Eichenberger Gewinde AG 2011b, 62). Oletetaan jälleen, että kiinnitys on toisesta päästä radiaalisesti tuettu ja toisesta sekä aksiaalisesti että radiaalisesti. Varmuuskertoimenä käytetään edelleen kerrointa 0,8.

TAULUKKO 3. Speedy-liikeruuvien kriittisiä lineaarinopeuksia [mm/s] (Eichenberger Gewinde AG 2011b)

Speedy, standardikierre						
Varmuuskerroin 0,8						
Pituus [mm]		Ø15 nousu 80	Ø16 nousu 90	Ø18 nousu 24	Ø18 nousu 40	Ø18 nousu 100
	Juuri-Ø [mm]	12,6	14,3	15,7	14,1	16,2
100		255360	326040	95456	142880	410400
200		63840	81510	23864	35720	102600
300		28373	36227	10606	15876	45600
400		15960	20378	5966	8930	25650
500		10214	13042	3818	5715	16416
600		7093	9057	2652	3969	11400
700		5211	6654	1948	2916	8376
800		3990	5094	1492	2233	6413
900		3153	4025	1178	1764	5067
1000		2554	3260	955	1429	4104

Kuten oletettavaa onkin, taulukon 3 perusteella suurilla nousuilla on kriittisen nopeuden puolesta mahdollista saavuttaa suuria lineaarinopeuksia pienen pyörimisnopeuden tarpeen vuoksi. Ratkaisevaksi tekijäksi jääkin ennemmin kuormankantokyvyn säilyminen näin suurilla nousuilla.

4.6.2 Liikeruuvien kuormakerroin

Taulukosta 5 käy ilmi, että suurilla kehänopeuksilla mutterin kuormanvälityskyky käy hyvin pieneksi, ns. kuormakerroin lähestyy nollaa. Sopiva liikeruuvi valitaankin tutkimalla eripaksuisten ja -nousuisten ruuvien kehänopeuksia (taulukko 4) ja vertaamalla niitä vastaavaan kuormakertoimeen.

Liikeruuvien kehänopeus saadaan laskettua kaavasta:

$$v_c = \frac{v_{\text{lineaari}} \pi d}{p}, \quad \text{kun } v_{\text{lineaari}} = \frac{1m}{s}$$

TAULUKKO 4. Speedy-liikeruuvien kehänopeuksia [m/min]

Ø15 nousu 80	Ø16 nousu 90	Ø18 nousu 24	Ø18 nousu 40	Ø18 nousu 100
35,34	33,51	141,37	84,82	33,93

TAULUKKO 5. Speedy-ruuvien kuormakertoimia (Eichenberger Gewinde AG 2011b, 63)

Kehänopeus v_c [m/min]	Kuormakerroin f
5	0,95
10	0,75
20	0,45
30	0,37
40	0,12
50	0,08

Sallittu maksimikuorma käytölle saadaan laskettua kuormakertoimen sekä jokaiselle ruuville ominaisen staattisen kuormakapasiteettiluvun avulla (Eichenberger Gewinde AG 2011b, 63):

$$F = f * C_0$$

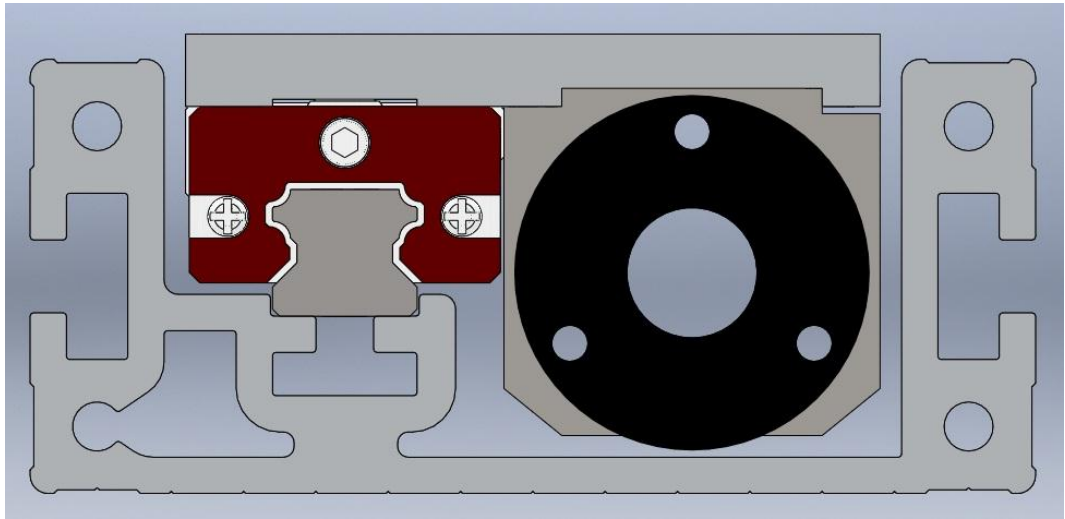
Vertailun ruuveille saadaan näin laadittua lopullinen kuormankestävyyntaulukko (taulukko 6).

TAULUKKO 6. Speedy-ruuvien kuormankestävyys (Eichenberger Gewinde AG 2011b)

	Ø15 nousu 80	Ø16 nousu 90	Ø18 nousu 24	Ø18 nousu 40	Ø18 nousu 100
Co [N]	2000	2250	2000	2250	2500
f (arvio)	0,24	0,29	0,00	0,00	0,28
F [N]	480	652,5	0	0	700

Vertailun ruuvit on valittu kuvastosta niin, että saatavilla on sekä oikea- että vasenkätinen ruuvikierre mahdollisia erikoissovelluksia ajatellen. Kuormakertoimien arvot pätevät, kun käytetään Speedyn POM-C-standardimuovimutteria. POM-C -muovi eli polyasetali kopolymeeri on hienomekaniikassa laajalti käytetty muovimateriaali, jolla on hyvä muotostabiliteetti, joustavuus ja lujuus (Vink Finland Oy 2011). Muitakin mutterimateriaaleja on saatavilla. Itse ruuvi on oletusarvoisesti kylmävalssattua ruostumatonta terästä. (Eichenberger Gewinde AG 2011b.)

Vertailun ruuvit kuuluvat samaan mutterikoryhmään, jossa ulkohalkaisija on vakio (runko 29,5 mm, laippa 49 mm). Vertailun perusteella nähdään, että lineaarinopeudella 1 m/s pienempien nousujen kuormankantokyky heikkenee ratkaisevasti suuren kehänopeuden myötä. Mitoitetaan esimerkkikäyttö vaikkapa 18/100 -ruuville (kuvio 17), sillä perusteella että ruuvin kriittinen lineaarinopeus on vertailun suurin.



KUVIO 17. Säättöjohteen poikkileikkaus Speedy 18/100 -liikeruuvilla

4.6.3 Liikeruuvin vääntömomentti

Speedy-liikeruuvimanuaalin (Eichenberger Gewinde AG 2011b, 62) mukaan 18/100-ruuvin hyötysuhde on taulukosta arvioiden 0,7. Tämän avulla pystytään laskemaan käytön vaatima vääntömomentti:

$$M = \frac{\Sigma F p}{2\pi\eta}$$

$$= \frac{186,05N * 0,1m}{2 * \pi * 0,7} = 4,2301 \dots Nm \approx 4,23Nm$$

Lineaarinopeus 1 m/s muutetaan pyörimisnopeudeksi nousulla 100 mm:

$$n_{rot} = \frac{v}{p} = \frac{1 \frac{m}{s}}{0,1m} = 10 \frac{r}{s} = 600 \frac{r}{min}$$

Vaihteen välityssuhteella $i = 5$ saadaan sopivat arvot moottorille:

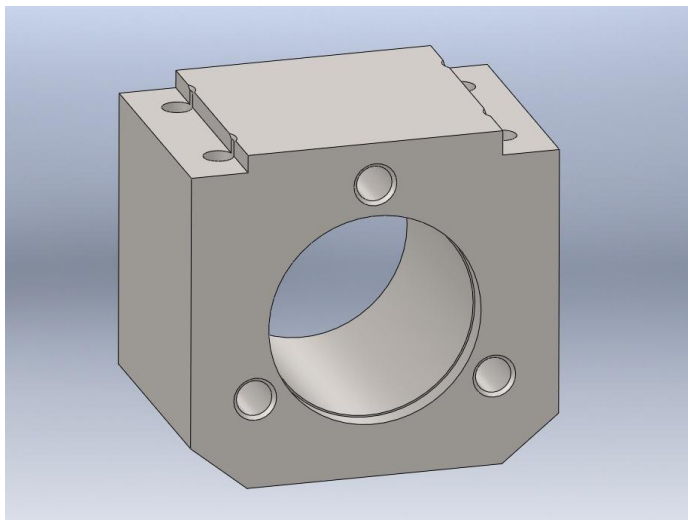
$$M_{moottori} = \frac{M}{i} = \frac{4,23Nm}{5} = 0,85Nm$$

$$n_{moottori} = n_{rot} * i = 600 \frac{r}{min} * 5 = 3000 \frac{r}{min}$$

Vaihteenä voidaan käyttää Planetroll PD065 -vaihdetta välityssuhteella $i = 5$ ja moottorina esimerkiksi Beckhoff AM3041-wEyz -servomoottoria, jonka nimellisyörimisnopeus on 3000 r/min ja nimellisvääntömomentti 2,02 Nm (Planetroll GmbH 2011; Beckhoff Automation GmbH 2011). Sopiva moottori tähänkin tilanteeseen löytyy todennäköisesti melkein jokaiselta servovalmistajalta.

4.6.4 Liikeruuvin mutterinkannatin

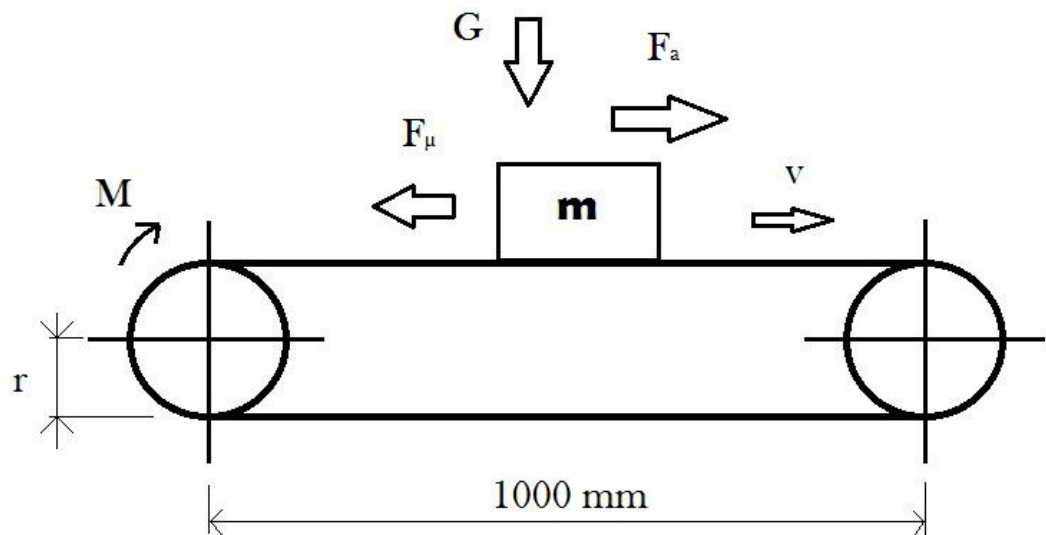
Liikeruuvin mutterinkannattimena toimii funktioltaan kuularuuvin mutterinkannattimen tyyppinen ratkaisu. Esimerkkiliikeruuvikäytön 18/100 -kokoiseen ruuvi-käyttöön mitoitettu kannatin (kuvio 18) on kooltaan hieman kuularuuviesimerkin kannatinta suurempi.



KUVIO 18. Speedy-liikeruuvin mutterinkannatin

4.7 Hammashihnavälitys

Suunniteltuun säätöjohdeaihiin on mahdollista muuttaa käyttö myös hammashihnavetoiseksi (kuvio 19). Jotta johteen moduuliluonne säilyy, täytyy taittopyörien halkaisijan olla tarpeeksi pieni, että hihna mahtuu kulkemaan edestakaisin profiilin sisällä. Myös päätyjen mekaniikka täytyy suunnitella hammashihnakäytölle erikseen. Tässä opinnäytetyössä perehdytään hihnakäytön mahdollisuuteen pelkästään laskennallisesti, mekaniikan piirtäminen jätetään tarvittaessa toteutettavaksi.



KUVIO 19. Hammashihnakäytön periaate

4.7.1 Hampaan kestävyys

Hammashihnan hampaan täytyy kestää vähintään käytön vaatima tangenttivoima $186,05\text{ N}$ (laskettu aiemmin kappaleessa 4.2). Jomet on käyttänyt eurooppalaisen Mulco-Europe EWIV -yhtymän toimittamia Breco-hihnoja pidempään ja todennut ne toimiviksi (Hiisilä 2011). Breco-hihnanvalintaoppaan mukaan hihnan hampaan sallittu tangenttivoima lasketaan seuraavalla kaavalla (Mulco-Europe EWIV 2011a, 21):

$$F_t = F_{tspez} * z_e * b$$

- $F_{tspez} =$ hampaan ominaiskesto, taulukkoarvo [N/cm]
- $z_{emax} =$ tarttuvien hampaiden lukumäärä; arvo maksimissaan 12
- $b =$ hihnan leveys [cm].

Sopiva hammaspyörä ja -hihna löytyvät sovittamalla kaavaan erilaisia arvoja Mulcon kuvastosta. Paikoituskäytössä, hiemankin raskaammilla kuormilla kannattaa keskittyä tutkimaan teräsvetolankavahvisteisia suuritehoisia Breco AT-E -hihnoja, joilla on myös hyvä paikoitustoistotarkkuus. Lisäksi kyseisessä tapauksessa taittopyörän pitää mahtua taittamaan hihna johderakenteen sisään.

Käyttöön sopii esimerkiksi Breco AL28 AT5/20-2 NL -taittopyörä ja hihnaksi Breco 16AT5-E/(x)M. Hihna on teräsvetolankavahvistettua polyuretaania ja pyörä alumiinia, hammasjako on 5 mm ja laipallisessa pyörässä on 20 hammasta. Laipat on kiinnitetty niittilukituksella. Käytön kokonaisleveys on 28 mm ja pyörän jakohalkaisija 31,83 mm, eli yhdistelmä mahtuu hyvin noin 50 mm korkeaan ja yhtä leveään profiilin uraan. (Mulco-Europe EWIV 2011a; Mulco-Europe EWIV 2011b.)

Valitun hihnan hammaskestävyys saadaan sijoittamalla Breco-tuotekuvastosta löytyvät tekniset tiedot kaavaan:

$$F_{tspez} = 28,30 \text{ N/cm}$$

$$z_e = 12 \text{ (koska } z_{emax} = 12, \text{ todellinen hammasluku 20)}$$

$$b = 1,6 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} F_t &= F_{tspez} * z_e * b \\ &= \frac{28,30N}{cm} * 12 * 1,6cm \\ &= 543,36N \end{aligned}$$

Kiristinpyöräksi valitaan vaikkapa Mulcon B/E0 40/60-0, jonka ulkohalkaisija (60 mm) on Mulcon suunnitteluoppaan mukaan tarpeeksi suuri, että hihnaa voidaan taivuttaa hihnalenkin sisään. Tällöin käyttö ei vaadi enempää tilaa kuin minkä taittopyörät vaativat.

4.7.2 Hammashihnakäytön vääntömomentti

Kun käytön komponentit tunnetaan, voidaan laskea käytön tarvitsema vääntömomentti:

$$d_0 = 0,03183 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M &= Fr \\ &= 186,05N * \frac{0,03183m}{2} \\ &= 2,9609 \dots Nm \\ &\approx 3,0Nm \end{aligned}$$

Hihnakäyttöön tarvittava vääntömomentti voidaan kokonaisuudessaan tarkistaa vielä laskemalla kuorman hitausmassan vaatima momentti:

$$\begin{aligned} M &= M_a + M_{staat} \\ &= J_{kuorma}\alpha + (\Sigma F_\mu)r \\ &= J_{kuorma} \frac{2\pi n}{t} + (F_{\mu, kelkka} + \mu m_\mu g)r \\ &= J_{kuorma} \frac{2\pi \frac{v}{2\pi r}}{t} + (F_{\mu, kelkka} + \mu m_\mu g)r \\ &= J_{kuorma} \frac{v}{rt} + (F_{\mu, kelkka} + \mu m_\mu g)r \end{aligned}$$

M_a = kiihdytykseen tarvittava momentti

M_{staat} = staattinen kuormamomentti

J_{kuorma} = kuorman hitausmassa

Kuularuuvien lineaarisesti kuljettaman massan liikuttamiseen tarvittava kineettinen energia voidaan merkitä yhtä suureksi ruuvien pyörimisliikkeeseen tarvittavan rotaatioenergian kanssa.

$$E_{\text{kineettinen}} = E_{\text{rotaatio}}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}J\omega^2$$

$$\frac{1}{2}m(\omega r)^2 = \frac{1}{2}J\omega^2$$

$$J_{\text{kuorma}} = mr^2 = 30\text{kg} * (0,0159\text{m})^2$$

$$J_{\text{kuorma}} = 7,5843 \dots * 10^{-3}\text{kgm}^2$$

$$\begin{aligned} M &= 7,5843 * 10^{-3}\text{kgm}^2 * \frac{\frac{1\text{m}}{\text{s}}}{0,0159\text{m} * 0,4\text{s}} \\ &\quad + \left(3,14\text{N} + 1,1 * 10\text{kg} * \frac{9,81\text{m}}{\text{s}^2} \right) * 0,0159\text{m} \\ &= 2,9581 \dots \text{Nm} \\ &\approx 3,0\text{Nm} \end{aligned}$$

Hammashihnakäytölle pitää lisäksi suunnitella vielä kiinnityskappale, jolla hihna saadaan sidottua kiinni kelkkaan yhteydessä olevaan varsinaiseen kiinnityspöytään. Tässä voidaan mahdollisesti käyttää hyödyksi kiinnityspöytään kuula- ja liikeruuvikäyttöjen mutterinkannattimia varten valmiiksi porattuja kiinnitysreikiä.

5 TESTIKÄYTTÖ

Alati kehittyvä teknologia automaatioprosesseissa ja maailmanlaajuinen kilpailu alalla vaativat jatkuvaa tietotaidon ylläpitoa ja kehittämistä. Uuteen tekniikkaan ja komponentteihin saattaa olla kannattavaa panostaa, mutta toisinaan päätökset vaativat tueksi käytännön kokeita. Tämän opinnäytetyön teoreettisen pohjan lisäksi on luontevaa suunnitella rinnalle käytännön testikäyttö.

Opinnäytetyön johdannossa perusteltiin standardikomponenttien käyttöä kustannustehokkuudella. Tämä perustuu ajatukseen, että kerran keksittyä ei tarvitse keksiä kokonaan uudelleen. Tämän ajatuksen mukaisesti testikäytönkin suunnitteluperiaatteet mukailevat paljolti tässä opinnäytetyössä aiemmin esiteltyä liikeruuvikäytön suunnitteluprosessia.

Kelkkana ja lineaarijohteena käytetään säätöjohteeseen valittua Hiwin HG20CA-kelkkaa ja tähän sopivaa lineaarijohdetta, samoin kytkin ja laakeripari säilytetään vastaavina. Testissä voidaan myös hyödyntää valmiiksi suunniteltua kiinnityspöytää ja liikeruuvin mutterinkannatinta, sekä kytkinkoteloja. Koska näiden rakenteiden toimintaperiaatteet ja suunnitteluperusteet on jo esitelty, näitä ei käydä enää uudelleen läpi.

5.1 Laitteisto

Testikäyttöön saatavaan laitteistoon kuuluu Feston CPX-CEC-M1 CoDeSys -logiikkayksiköllä varustettu Festo CPX-VTSA -terminaali, joka sisältää I/O-moduulin (8 tuloa, 8 lähtöä) ja liitännöiden lisäksi kaksi 5/2-tiepainelilmaventtiiliä. Logiikalla ja Feston kahden akselin CMMD-AS-C8-3A -servo-ohjaimella ohjataan kahta Festo EMMS-AS-70-S-RM -servomoottoria. Servomoottoriin on integroitu monikierrosabsoluuttianturi, jonka avulla paikoitus tapahtuu. Servo-ohjaimen, logiikan ja tietokoneen välillä on CANopen-väylä.

Toisella servoakselilla pyöritetään Feston EMGA-80-P-G5-SAS-70 -vaihteen välityksellä Eichenbergerin Speedy 18/40 -liikeruuvia. Toinenkin servo asenne-

taan ja konfiguroidaan, mutta sen annetaan pyöriä vapaana. Liikeruuvien pituus on 1 m.

5.2 Laskelmat

Testikäytön 18/40-liikeruuvien kriittinen nopeus laskettiin tämän opinnäytetyön luvussa 4.5.1. Suunnittelussa käytettäväksi 0,8-kertaiseksi maksimilineaarinopeusarvoksi saatiin 1429 mm/s, kun ruuvien pituus on 1 m. Seuraavassa kappaleessa kuitenkin todetaan ruuvien kuormakerroin olemattomaksi kyseisellä nopeudella. Selvitettäväksi jää siis nopeusarvo, jolla ruuvikäyttö saadaan kuljettamaan haluttu kuorma.

Luvussa 4.2 laskettiin tehtävänannon mukaiseksi moottorin voimantarpeeksi 186,05 N. Arvioidaan, että sopiva suunnitteluarvo voisi olla vaikkapa 250 N. Tällöin voidaan laskea testikäytölle kuormakerroin f :

$$C_0 = 2250 \text{ N}$$

$$F = f * C_0 \Rightarrow f = \frac{F}{C_0} = \frac{250 \text{ N}}{2250 \text{ N}} = 0,1111 \dots$$

Kuormakertoimen avulla luetaan kehänopeuden suuruus taulukosta 5. Arvioidaan kehänopeudeksi 42 m/min. Lasketaan kehänopeuden kaavasta maksimilineaarinopeus käytölle.

$$v_c = \frac{v_{\text{lineaari}} \pi d}{p} \Rightarrow v_{\text{lineaari}} = \frac{v_c p}{\pi d}$$

$$= \frac{\left(\frac{42 \text{ m/min}}{60}\right) m}{s} * 0,040 \text{ m} = 0,495 \dots \frac{m}{s}$$

Liikervikayttöä voidaan siis ajaa turvallisesti lineaarinopeutta 0,5 m/s. Seuraavaksi varmistetaan, että kyseistä kuormaa voidaan ajaa tällä nopeudella valitulla moottorilla ja vaihteella. Moottorin nimellisvääntömomentti on 1,43 Nm ja nimellisyörimisnopeus 5300 r/min. Vaihteen välityssuhde on 1:5 ja liikervuvin hyötysuhde Eichenbergerin ruuvien hyötysuhdetaulukosta (Speedy-liikervuvit, 62) lukien suunnilleen 0,7.

$$M = \frac{\Sigma Fp}{2\pi\eta}$$

$$= \frac{250N * 0,040m}{2 * \pi * 0,7} = 2,2736 \dots Nm \approx 2,27Nm$$

Lineaarinopeus 0,5 m/s muutetaan yörimisnopeudeksi nousulla 40 mm:

$$n_{rot} = \frac{v}{p} = \frac{0,5 \frac{m}{s}}{0,040m} = 12,5 \frac{r}{s} = 750 \frac{r}{min}$$

Kun tiedetään, että vaihteen välityssuhde $i = 5$, voidaan laskea käytön moottorilta vaadittava momentti ja yörimisnopeus:

$$M_{moottori} = \frac{M}{i} = \frac{2,27Nm}{5} = 0,45Nm$$

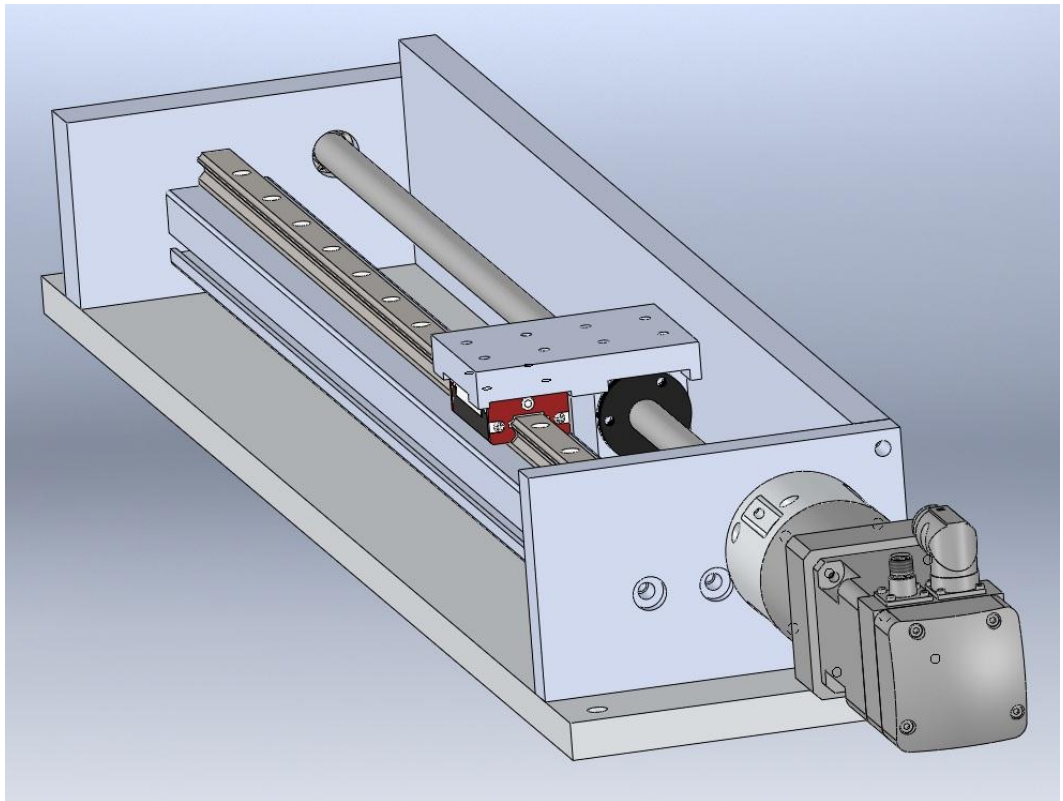
$$n_{moottori} = n_{rot} * i = 750 \frac{r}{min} * 5 = 3750 \frac{r}{min}$$

Valitun moottorin momentti 1,43 Nm ja yörimisnopeus 5300 r/min riittävät siis mainiosti. Servomoottoria voidaan ajaa nimellinopeutta pienemmällä nopeudella häviämättä vääntömomentissa.

5.3 Mekaaniset rakenteet

Runkolevyt valmistetaan standardikokoisista 15 ja 20 mm paksuista alumiinilattatangoista. Lineaarijohde asetetaan kulkemaan erään Jometin standardialumiiniprofiilin päälle ja kiinnitetään mutteripalojen avulla kuvion 20 mukaisesti. Kaikki osat liitetään toisiinsa pultiliitoksin.

Ruuvien ohella käyttöön saadaan ruuviin sopiva POM-C-muovimutteri. Mutteri ja mutterinkannatin ovat vastaavat kuin aiemmin on esitelty kuula- ja liikeruuvikäytön yhteydessä luvuissa 4.5 ja 4.6. Kytinkotelo esiteltiin luvussa 4.4, kiinnityspöytä luvussa 3.

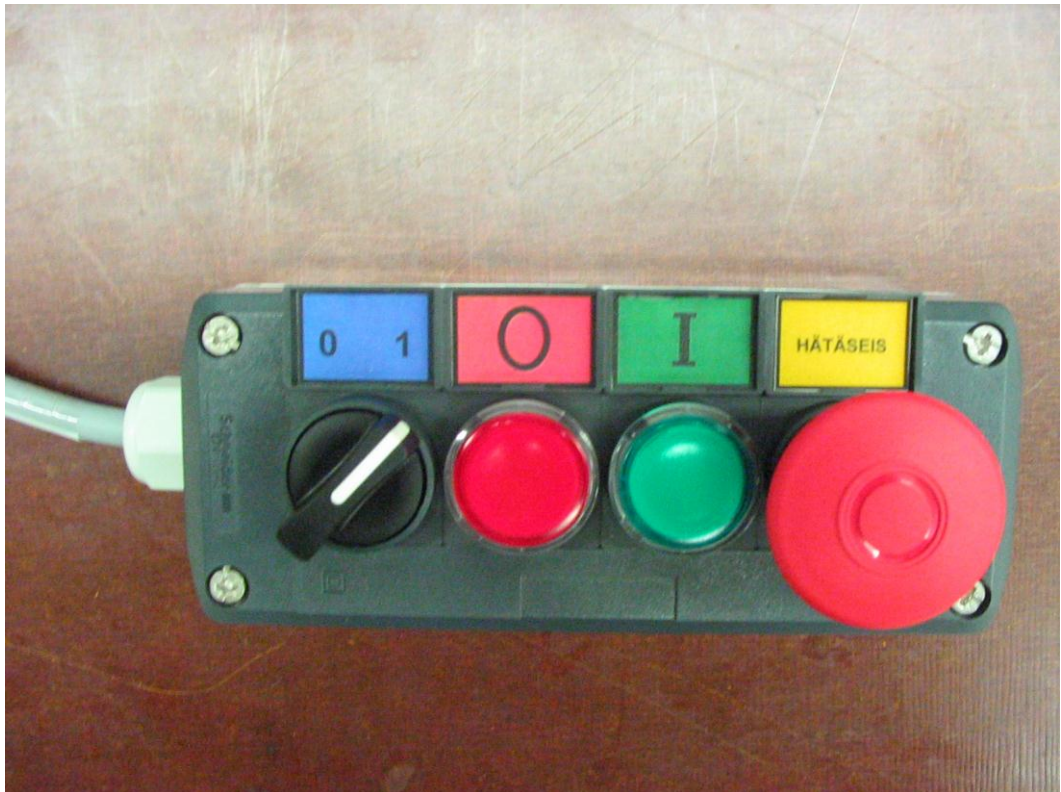


KUVIO 20. Testikäyttö Speedy 18/40 -ruuvilla ja Feston servomoottorilla

5.4 Sähkösuunnittelu

Sähköjen suunnittelu aloitetaan tutkimalla eri komponenttien jännitteen ja virran tarve. Kolmivaiheiselle systeemille ei tällä kertaa ole tarvetta, joten sähkönsyötöksi riittää yksivaiheinen syöttöjännite 230 V. Myöskään virrantarpeet eivät ole järin suuria, joten ohjauspiirin teholähteeksi riittää muuntaja nimellisvirralla 5 A. Servo-ohjain muuntaa virran sopivaan muotoon servomoottoreille (1~ 230 V).

Käyttöliittymäksi halutaan kuvion 21 mukainen yksinkertainen kontrollisäädin pitkän kaapelin päähän, josta löytyy kaksiasentoinen kytkin, hätäseis sekä kaksi painiketta. Olkoot painikkeet vihreä käynnistyspainike ja punainen stop-painike.



KUVIO 21. Testikäytön ”kauko-ohjain”

Valitaan etukojeiksi kolme johdonsuojakatkaisijaa suojattavien komponenttien ilmoitettujen nimellisvirtojen perusteella.

- Servo-ohjain ($I_n = 8 \text{ A}$) → johdonsuoja C10A
- Teholähde ($I_n = 5 \text{ A}$) → johdonsuoja C6A
- Ohjauspiiri (logiikan $I_n = 85 \text{ mA}$) → johdonsuoja C2A.

Sulakkeen etuliite ”C” viittaa laukaisukäyrään. C-sulake on hitaampi kuin A- ja B-sulakkeet, mutta nopeampi kuin D- ja K-sulakkeet. C-sulaketta käytetään usein induktiivisen kuorman kanssa sähköjärjestelmissä, joissa esiintyy käynnistysvirrasysäyksiä. (ABB 2011.)

Testikäytön servo-ohjain saattaa teoriassa laukaista nopeamman B-sulakkeen, joten perusteltua on käyttää C-sulaketta. Ohjauspiiriin ja teholähteelle voisi huoletta asentaa B-sulakkeetkin.

Tavallisesti hätäseis-painike kytketään turvareleen turvapiiriin niin, että sillä saadaan kaikki logiikan lähtösignaalit katkaistua. Itse logiikan virransyöttöä ei yleensä mielellään katkaista, sillä usein teollisuuden sovelluksissa silloin menetetään arvokasta tietoa tuotannosta. Tieto painikkeen painamisesta vedetään yleensä vielä logiikan tuloihin, jolloin logiikkaohjelmassa voidaan reagoida tilanteeseen sopivalla tavalla.

Testikäytön turvapiirin suunnittelussa kuitenkin päädytään Jometin sähkösuunnittelija Jyri Liskin kanssa kytkemään hätäseis-painike poikkeuksellisella tavalla, sillä yksinkertaiseen testiin on melko tarpeetonta asentaa varsinaista turvarelettä. Feston servo-ohjain sisältää Safe torque off (STO) -toiminnon, jolla servoakseli saadaan nopeasti ja varmasti pysäytettyä. Kytketään hätäseis siis servo-ohjaimen STO-kytkimeen. STO-piiristä saadaan myös tieto logiikalle hätäpysäytyksestä.

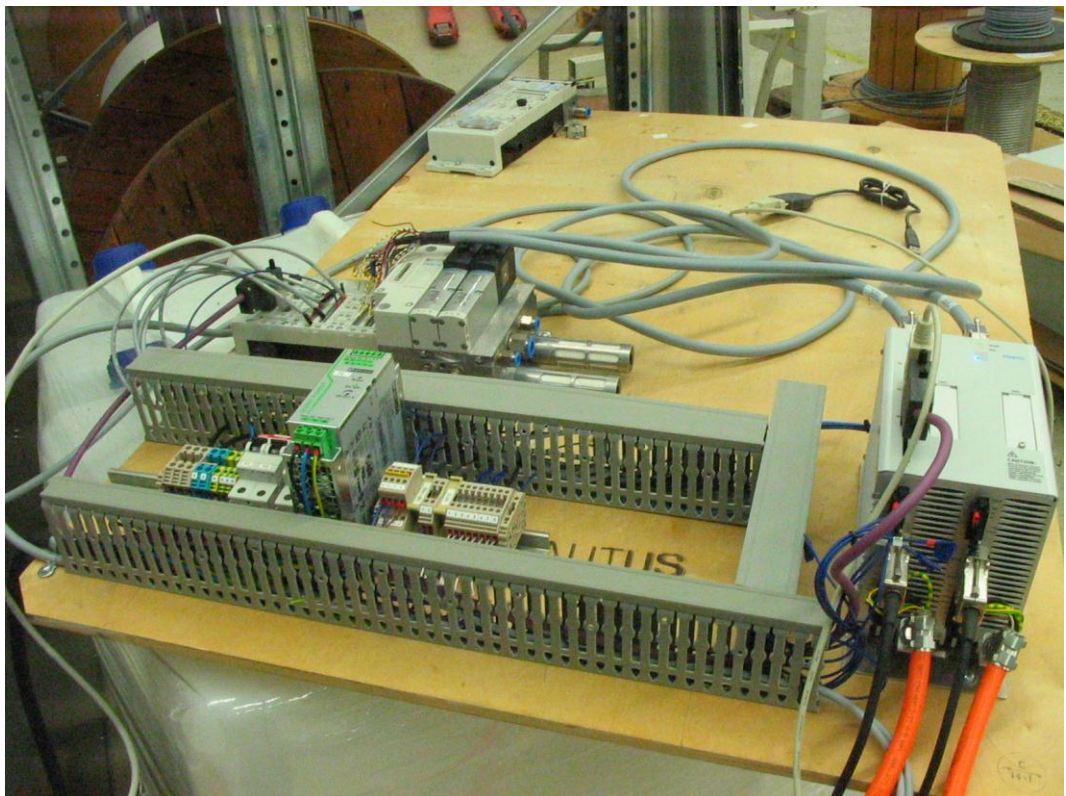
Logiikan tuloihin vedetään siis tieto hätäpysäytyksestä, kahden normaalin painikkeen ja kytkimen tulotiedot, sekä lisäksi tulotiedot kahdelta induktiiviselta anturilta, joita käytetään päätyrajoina lineaarikäytössä. Käytännössä servoakselille määritettävät ohjelmalliset toiminta-alueen rajat määritellään siten, että kelkka ei kos-

kaan saavuta induktiivisia antureita. Induktiiviset anturit toimivat siten turvarajoina, jotka viimeistään pysäyttävät kelkan liikkeen, jos jonkin virheen seurauksena kelkka kuitenkin karkaa alueelta.

Logiikan lähdöistä lähtee servo-ohjaukseen tarvittavat lähtötilatiedot servo-ohjaimelle. Lähdöt ovat seuraavat:

- DIN 5 (Pin 9) - Controller release EN
- DIN 4 (Pin 21) - Output stage enable
- DIN 13 (Pin 15) - Digital I/O control interface: Stop input.

Sähkökeskuksen layout on kuvion 22 mukainen. Piirustukset löytyvät opinnäytetyön lopusta (liite 1).



KUVIO 22. Testikäytön sähkökeskuksen layout

5.5 Servoakselien konfigurointi ja käyttöönotto

Servoakselien konfigurointia ja käyttöönottoa varten kutsuttiin paikalle Feston tekninen asiantuntija Jyri Pitkänen. Konfigurointi suoritetaan Festo Configuration Tool -ohjelmalla, joka mahdollistaa myös akselien ohjelmallisen PI-säädön ja testauksen. Samalla määritetään akselille koordinaatisto ja määritetään turvarajat, joita käyttö ei missään tilanteessa ylitä.

Servoakselien konfigurointi käydään liitteessä 2 läpi askel askeleelta kuvakaappauksen avulla mahdollista tulevaisuuden toistotarvetta varten.

5.6 CoDeSys-ohjelma

Tähän opinnäytetyöhön sisällytetään yksinkertainen Feston CoDeSys -logiikalla toteutettu ohjelma, jolla kelkkaa kuljetetaan edestakaisin kahden ohjelmaan sisäänrakennetun rajan välillä.

Käytön kahdesta induktiivisesta anturista toinen toimii servoakselin koordinaatiston referenssiorigona. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että konfiguroinnissa kelkka ajetaan käsiajolla nollapisteanturille ja määritellään tämä piste koordinaatiston nollapisteeksi. Kelkan todellinen toiminta-alue määritellään Project offset -toiminnolla päätyraja-antureiden väliin siten, että kelkka ei automaattiajossa koskaan saavuta päätyrajoja. Törmäyksen välttämiseksi CoDeSys-ohjelmassa päätyrajat vielä katkaisevat MC_Power-lohkon Enable-tulon, minkä seurauksena servoakseli pysähtyy välittömästi.

Ohjelman rakentaminen alkaa MC_Power-ohjauslohkolla, jolla aktivoidaan haluttu servoakseli. Lohkon tulot ovat akselin aktivoiva Enable, käynnistystulo bDriveStart sekä bRegulatorOn, jolla voidaan pysäyttää akseli sammuttamatta moottoria. Enable-tulon sammutus passivoi akselin ja moottori sammuu.

MC_MoveAbsolute-lohko on testikäytön ohjelman sydän, joka kontrolloi kelkan liikettä ja liikenopeutta. Liikematkan ohjelmointi perustuu SoftMotion-yksikön

määrittämiseen, ”skaalaukseen”, servoakselin konfiguroinnissa. Skaalaus tehdään CoDeSys-ohjelmassa. Määrittämisessä käännetään absoluuttianturin resoluutio halutuksi lineaariliikkeen yksiköksi. Testikäytössä yksikkönä on millimetri.

Kelkan haluttu sijainti siis ilmoitetaan MC_MoveAbsolute-lohkolle millimetreinä asetetusta kotiasemasta. Jos kelkka halutaan toiseen sijaintiin esimerkiksi onnistuneen paikoituksen liipaisemana, uusi sijaintiarvo vain päivitetään lohkolle. Tarkka reaaliaikainen sijainti saadaan MC_ReadActualPosition-lohkolta.

MC_MoveAbsolute-lohkoon määritetään myös haluttu siirtymisnopeus kyseiseen kohtaan. Reaaliaikainen nopeustieto saadaan MC_ReadActualVelocity-lohkolta vastaavasti.

Moottorin hallittu pysäytys tapahtuu MC_Stop-lohkolla. Hidastuvuus voidaan määrittää MC_Stop-pysäytykselle erikseen lohkon tuloon.

Logiikkaohjelma löytyy kokonaisuudessaan opinnäytetyön liitteestä 3.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteeksi asetettiin johdannossa kuvatun käsikäyttöisen trapetsiruuvijohteen päivittäminen suorituskykyisemmäksi ja moottorikäyttöiseksi. Vanhan rakenteen kompastuskiveksi muodostunut profiilin ja kelkan sovite vaati uudenlaisen ratkaisun, ja sovite korvattiin Hiwinin kuulajohteella ja kelkalla. Profiili uusittiin uusien vaatimusten mukaiseksi, ja profiiliin varmuudella sopivat mutteripalat kirjattiin muistiin.

Eri voimansiirtomenetelmille tehtiin vaadittavat laskelmat ja päätelmät ja jokaisesta menetelmästä nostettiin esiin yksi toimiva ratkaisu. Laskelmien perusteella näyttäisi, että esiin nostetuista vaihtoehdoista Eichenbergerin 16/50-kokoinen Carry-kuularuuvi vaatisi vähiten vääntömomenttia moottorilta, vain 1,74 Nm. Vertailun mukaan perinteisesti hyvin paljon käytössä ollut hammashihnavoimansiirto vaatisi valituilla Brecon komponenteilla 3,0 Nm.

Liikeruuveista Jometilla ei ollut aiempaa kokemusta, joten sellainen otettiin testiin. Testikäytön Speedy 18/40 -liikeruuvi tarvitsee moottorilta 2,27 Nm vääntömomenttia. Kuormankantokyky on muita vertailukohteita huonompi, joten luku ei ole täysin vertailukelpoinen. Säättöjohteeseen luvussa 4.6.2 puolestaan valittu Speedy 18/100 -liikeruuvi vaatisi moottorilta vertailussa kaikkein eniten, 4,23 Nm. Käytännössä tämäkin on usein täysin realiteettien sisällä.

Parasta vaihtoehtoa eri tekniikoiden välillä on kuitenkin vaikea sanoa, sillä asiaan vaikuttavat laskelmien lisäksi myös muut seikat. Hammashihnakäyttö on todettu perinteisesti erittäin luotettavaksi, hiljaiseksi ja tarkaksi, mutta on toisaalta suunnittelun kannalta ruuvikäyttöä aavistuksen monimutkaisempi kiristys- ja taittopyörineen. Kuularuuvi näyttäisi olevan hyötysuhteeltaan edullinen ratkaisu, mutta kuulakierto hidastaa asennusta ja kokonaisuudessaan tuottaa kolmesta vaihtoehdosta eniten melua. Olisiko liikeruuvissa sitten vertailun voittaja-ainesta?

Testin perusteella voidaan todeta Speedy-liikeruuvien asennustyö helpoksi, mutta käyntiääni pienemmilläkin nopeuksilla kohtalaisen kovaksi. Testissä ajettiin tois-
taiseksi pelkästään tyhjää kelkkaa edestakaisin. Testejä tullaan vielä jatkamaan ja

kuormaa tullaan lisäämään.

Tulevaisuudessa otetaan mahdollisesti toinenkin ohjaimen servoakseli käyttöön, jolloin toinen servo toimii isäntänä ja toinen orjana. Ohjattavien liikkeiden ja rakenteiden painon perusteella liikeruuviin kohdistuu erilaisia voimia, ja on mielenkiintoista nähdä miten ruuvi selviytyy pitkällä aikavälillä näistä haasteista.

Testikäytön Speedy 18/40 -liikeruuvi on kuitenkin tehtävänannon mukaiseen käyttöön riittämätön. Vertailun Speedy 18/100 -liikeruuvi puolestaan täyttää tehtävänannon kriteerit, ja onkin opinnäytetyössä esitettyjen laskelmien perusteella täysin toimiva ratkaisu vaikkapa hammashihnakäytön korvaajaksi.

LÄHTEET

KIRJALLISET LÄHTEET

Misumi Corporation. 2011-2012. Mechanical Components for Assembly Automation, Volume 1. Tuotekuvasto.

ELEKTRONISET LÄHTEET

ABB Oy. 2011. Pienjännitekojeet [viitattu 20.11.2011]. Saatavissa: [http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/7291ba043dcabd16c2256bdc0028d73e/\\$file/cmc2fi02_08.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/7291ba043dcabd16c2256bdc0028d73e/$file/cmc2fi02_08.pdf)

Beckhoff Automation GmbH. 2011. Servotahtimoottorit AM3000 ja AM5000 [viitattu 14.11.2011]. Saatavissa: http://download.beckhoff.com/download/Document/Drives/AM3000_AM3500_BA_en.pdf

Eichenberger Gewinde AG. 2011a. Carry-kuularuuvit [viitattu 14.11.2011]. Saatavissa: http://www.gewinde.ch/files/110703-eichenberger_carry_e.pdf

Eichenberger Gewinde AG. 2011b. Speedy-liikeruuvit [viitattu 14.11.2011]. Saatavissa: http://www.gewinde.ch/files/110703-eichenberger_speedy_e.pdf

Fath GmbH. 2011. Tuotteet [viitattu 8.12.2011]. Saatavissa: <http://www.fath.de/index.php?id=18531>

Hiwin Corporation. 2010a. Kuularuuvit [viitattu 14.11.2011]. Saatavissa: [http://www.hiwin.com.tw/download/tech_doc/bs/Ballscrew-\(E\).pdf](http://www.hiwin.com.tw/download/tech_doc/bs/Ballscrew-(E).pdf)

Hiwin Corporation. 2010b. Lineaarijohteet [viitattu 14.11.2011]. Saatavissa:

http://www.hiwin.com/pdf/lg/0809/Hiwin%20Linear%20Guideway%20Catalog_G99TE13-0809.pdf

MayTec GmbH. 2011. Profiilisysteemi [viitattu 8.12.2011]. Saatavissa:

http://www.maytec.org/_neue_daten/sites/download/kataloge/files/K1-2011-E_mit%20Hyperlinks.pdf

Mulco-Europe EWIV. 2011a. Breco-hammashihnakomponentit [viitattu 15.11.2011]. Saatavissa: <http://movetec.fi/images/pdf/komponentit1.pdf>

Mulco-Europe EWIV. 2011b. Breco-lineaaritekniikka [viitattu 15.11.2011]. Saatavissa:

<http://movetec.fi/images/pdf/lineaaritekniikka2.pdf>

Planetroll GmbH. 2011. Planeettavaihteet [viitattu 14.11.2011]. Saatavissa:

http://www.planetroll.de/en/downloads/pdf/antriebstechnik/planetroll_planetdrive_PD_english.pdf

Purso Oy. 2011. Pursotuslaitos [viitattu 8.12.2011]. Saatavissa:

<http://www.purso.fi/fi/yksikot/pursotuslaitos.html>

R+W GmbH. 2011. Servomax-elastomeerikytkimet [viitattu 14.11.2011]. Saatavissa:

http://www.rwcouplings.com/catalogs_downloads/catalogs_pdf/pdf/EK_elastomer-couplings.pdf

SKS Mekaniikka Oy. 2011. SKS-Kuularuuvit [viitattu 14.11.2011]. Saatavissa:

[http://www.sks.fi/download/sks_SKS_kuularuuvit/\\$file/SKS_kuularuuvit_1108854.pdf](http://www.sks.fi/download/sks_SKS_kuularuuvit/$file/SKS_kuularuuvit_1108854.pdf)

Vink Finland Oy. 2011. Teollisuusmateriaalit [viitattu 16.11.2011]. Saatavissa: <http://www.tuotteet.vink.fi/tuotteet/pom.html>

Würth Oy. 2011. Ruuvit [viitattu 14.11.2011]. Saatavissa: <http://www.wurth.fi/site/media/pdf/tuotekuvasto/tuotteet/kiinnitystarvikkeet/Ruuvikuvasto.pdf>

SUULLISET LÄHTEET

Hiisilä, H. 2011. Kehityspäällikkö. Jomet Oy. Useita keskusteluja 12.9. - 22.11.2011.

Liski, J. 2011. Koneautomaatiosuunnittelija. Jomet Oy. Useita keskusteluja 12.9. - 22.11.2011.

Kiiskinen, J. 2011. Automaatiopäällikkö. Jomet Oy. Useita keskusteluja 12.9. - 22.11.2011.

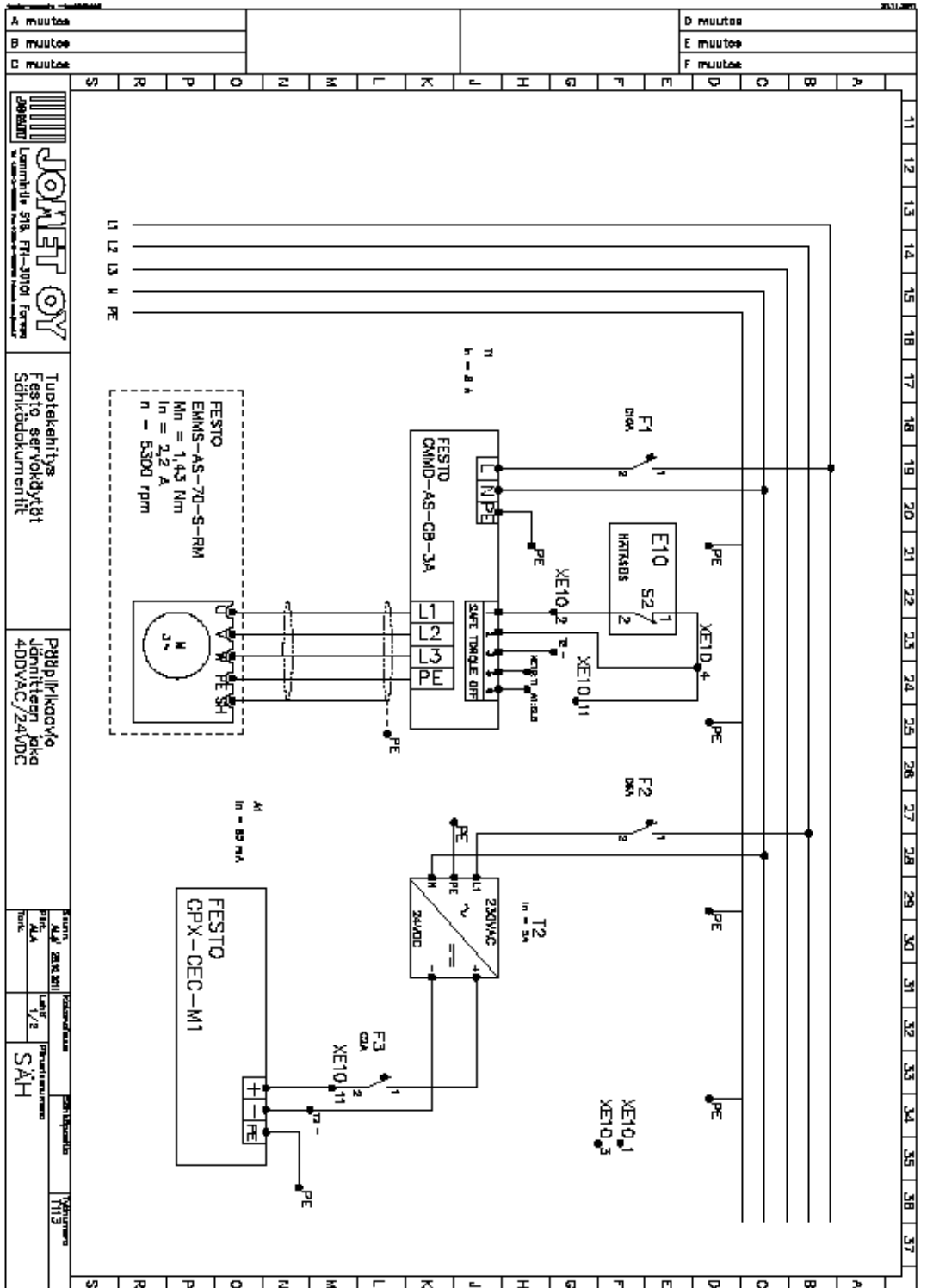
Kohtala, P. 2011. Tuotepäällikkö. Purso Oy. Puhelinkeskustelu 21.11.2011.

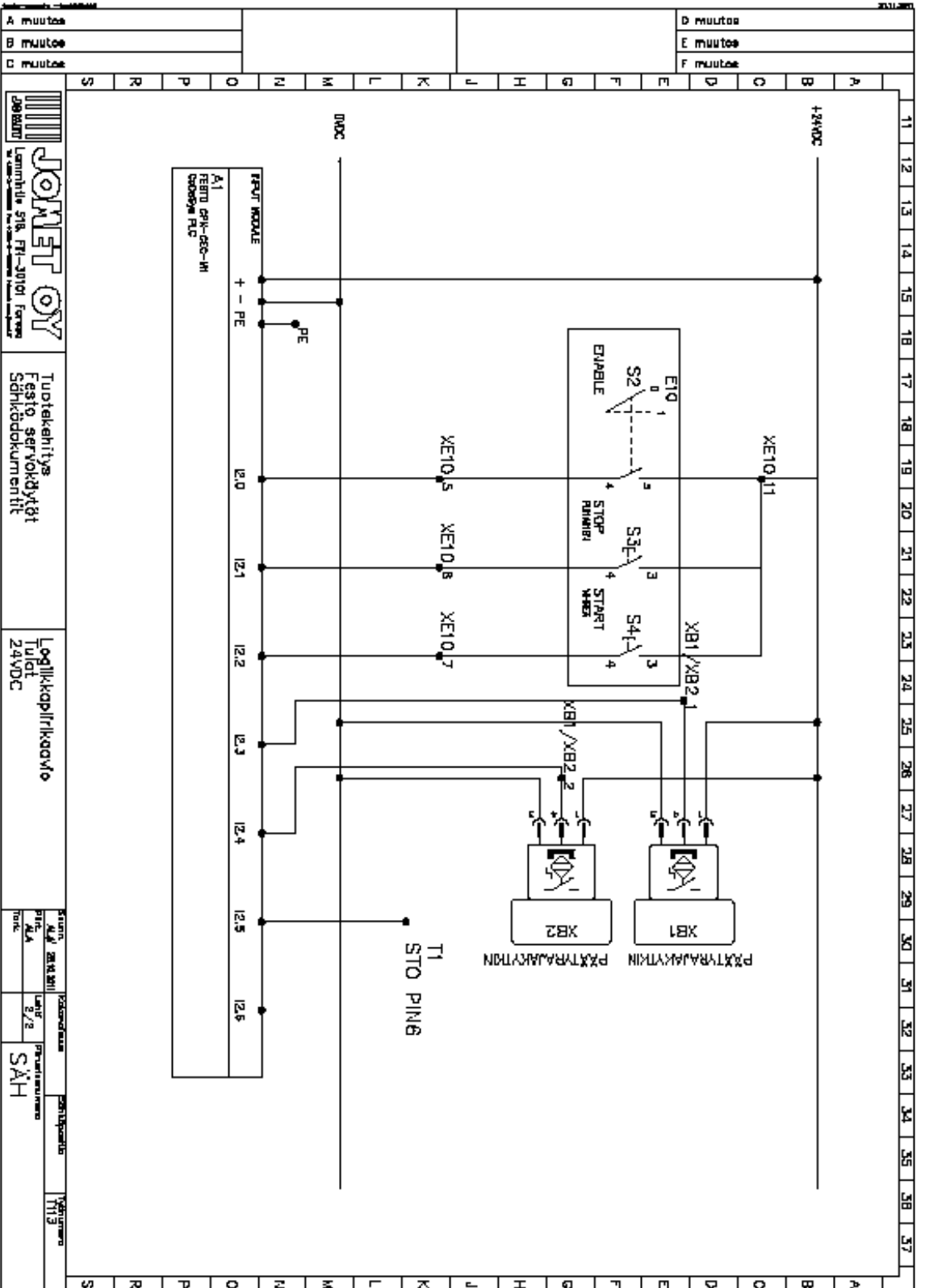
MUUT LÄHTEET

Paasi, P. 2011. Pääsuunnittelija. Nordic Aluminium Oy. Sähköpostikeskustelu 21.11.2011.

LIITTEET

LIITE 1





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



Tuotekohde:
Festo servodynät
Schikdokumentti

Logiikkopiirikaavo
Tulot
24VDC

Kuusi	ALU	28.4.2011	Paikannus	2013	Yhtymä
Pite	ALA		Praktinen		
toim			8/2	SÄH	

LIITE 2

Konfigurointi aloitetaan avaamalla Festo Configuration Tool, joka on ladattavissa ilmaiseksi Feston internetsivuilta.

New project - Project properties

Project

Name:

Title:

Created: Version: Author:

Modified	Author	Description

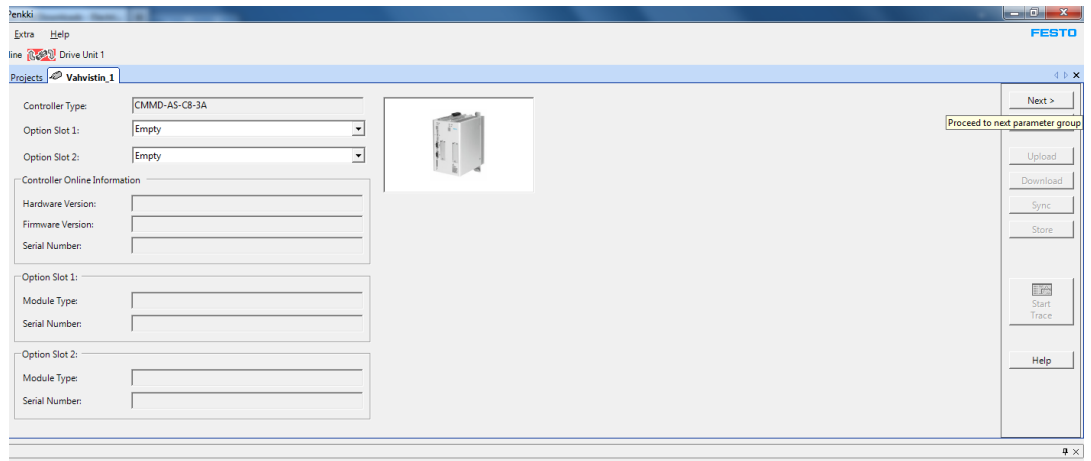
Description:

System of measurement:

Location of the project folder: >> <<

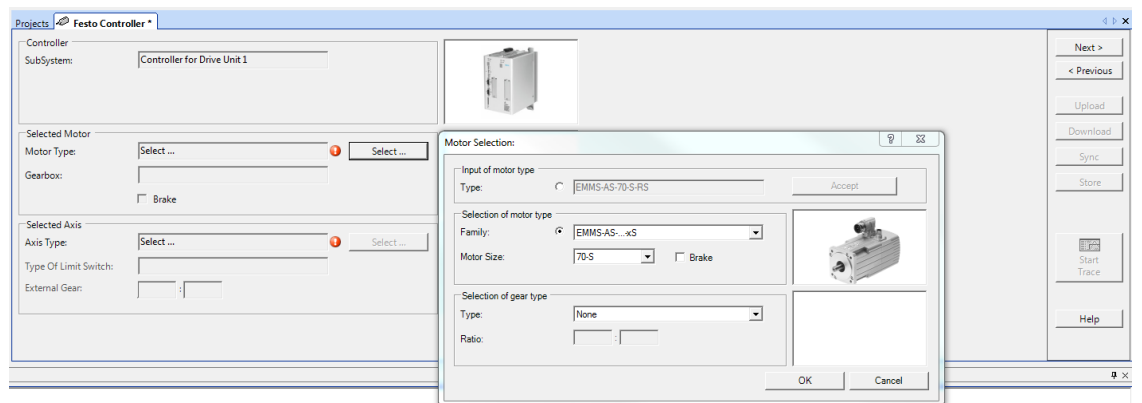
OK Cancel

KUVIO 1. Projektin nimeäminen

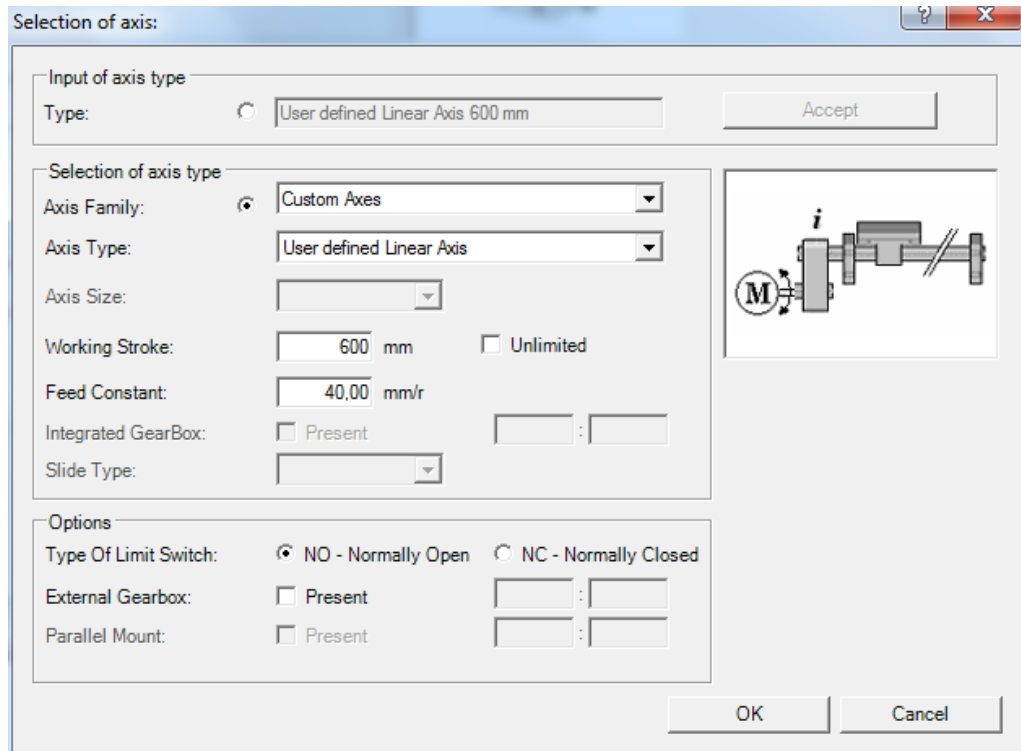


KUVIO 2. Eteneminen

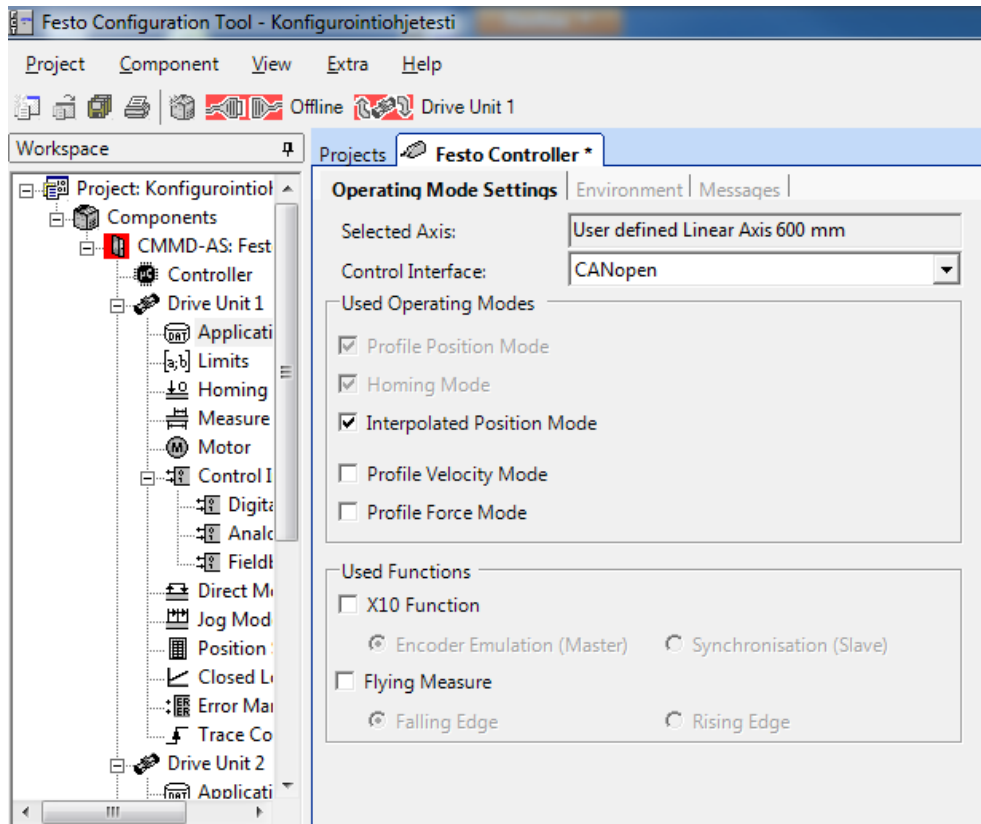
”Next”-painike ei toimi ensimmäisellä kerralla, vaatii tuplaklikkauksen.



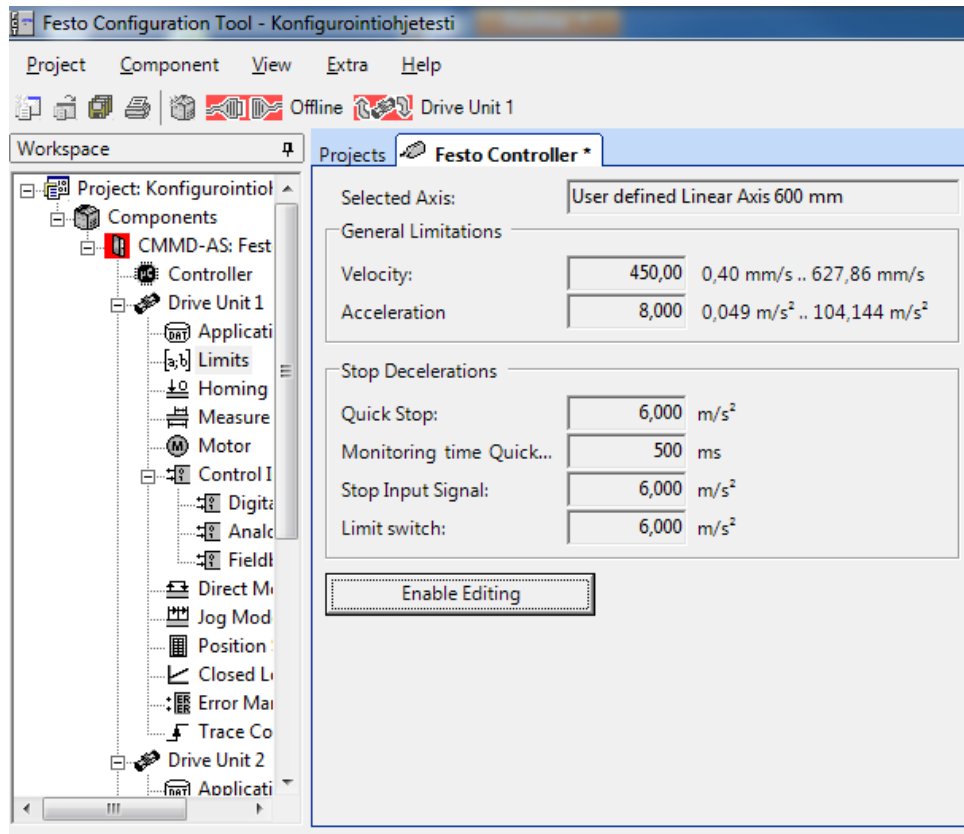
KUVIO 3. Valitaan oikea moottori ja vaihde (mikäli vaihde on). Akselin tiedot voi määrittää itse.



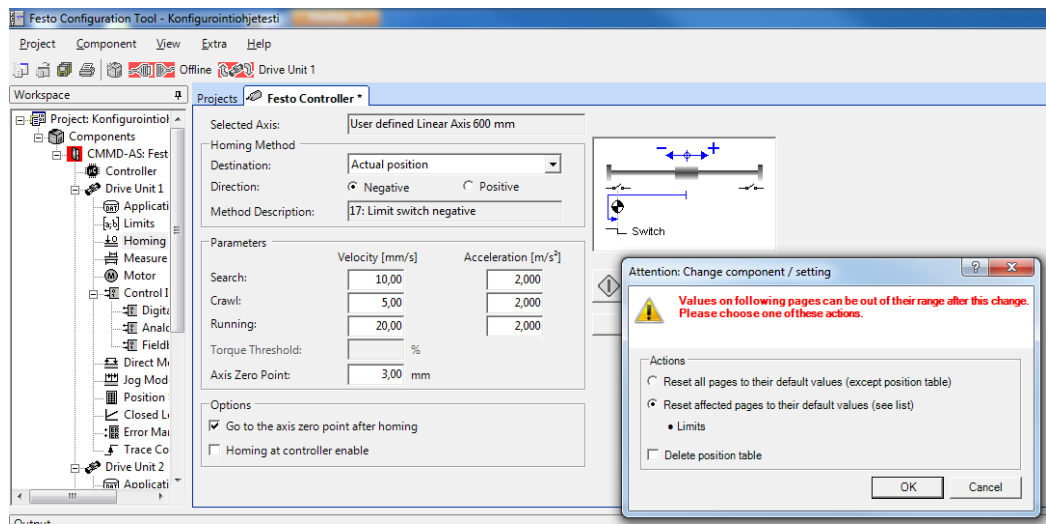
KUVIO 4. Asetetaan oikea toiminta-alue ja syöttövakio, esim. ruuvin nousu.



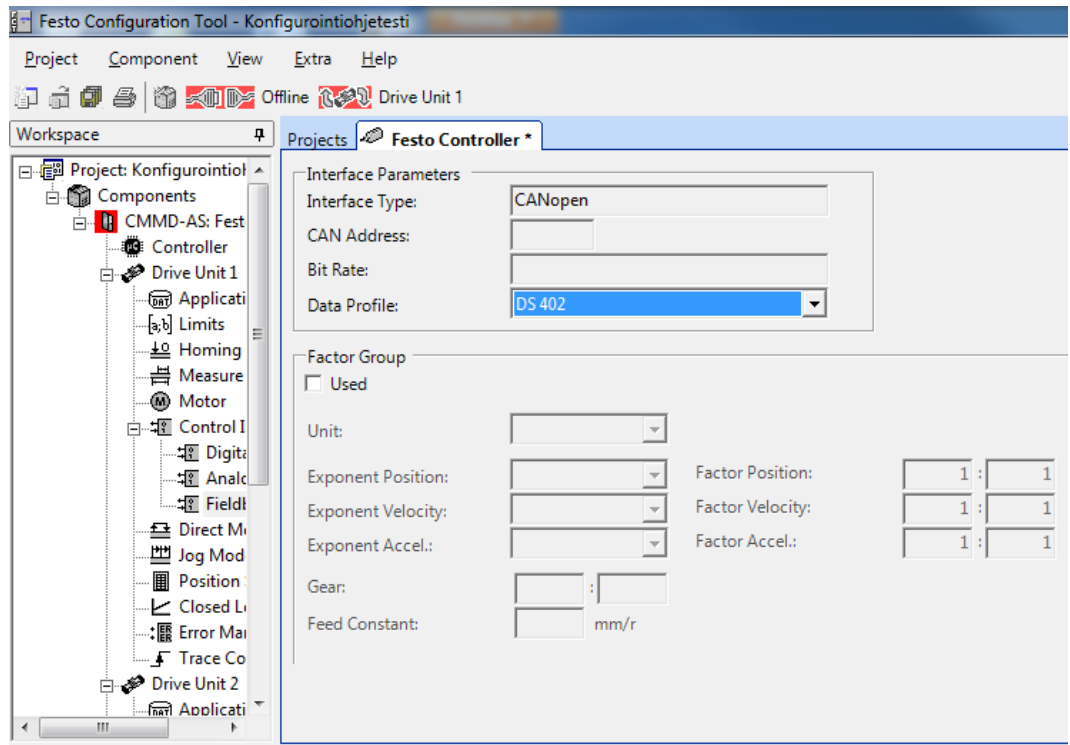
KUVIO 5. Valitaan hallintarajapinta



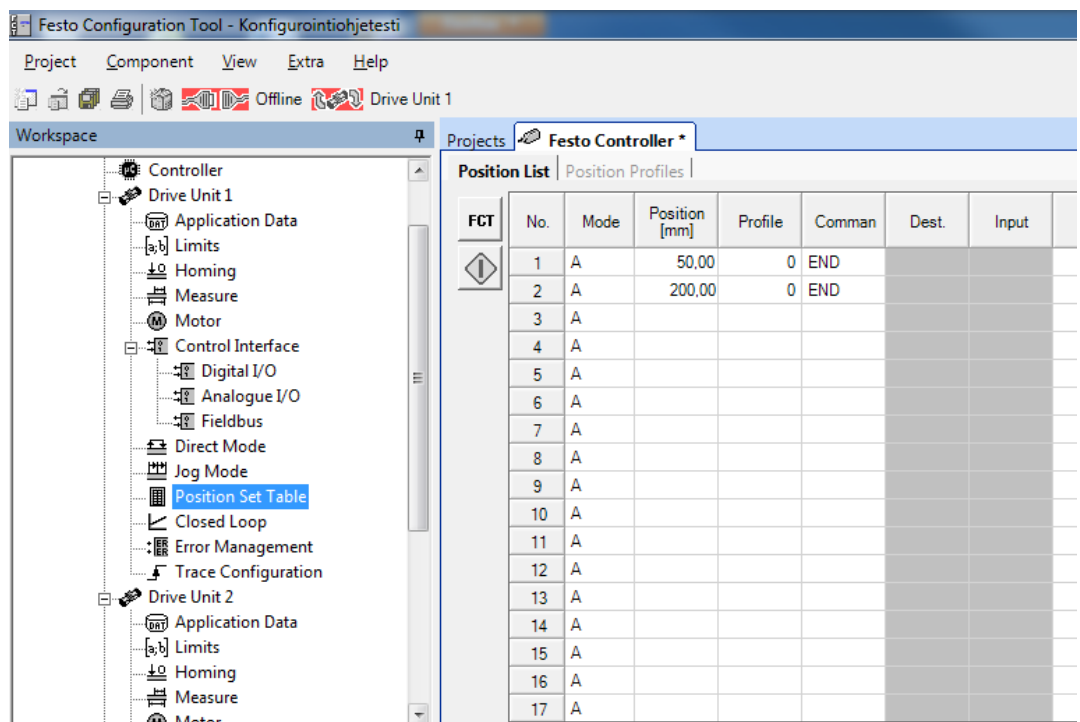
KUVIO 6. Nopeus- ja kiihtyvyyssrajojen määrittely



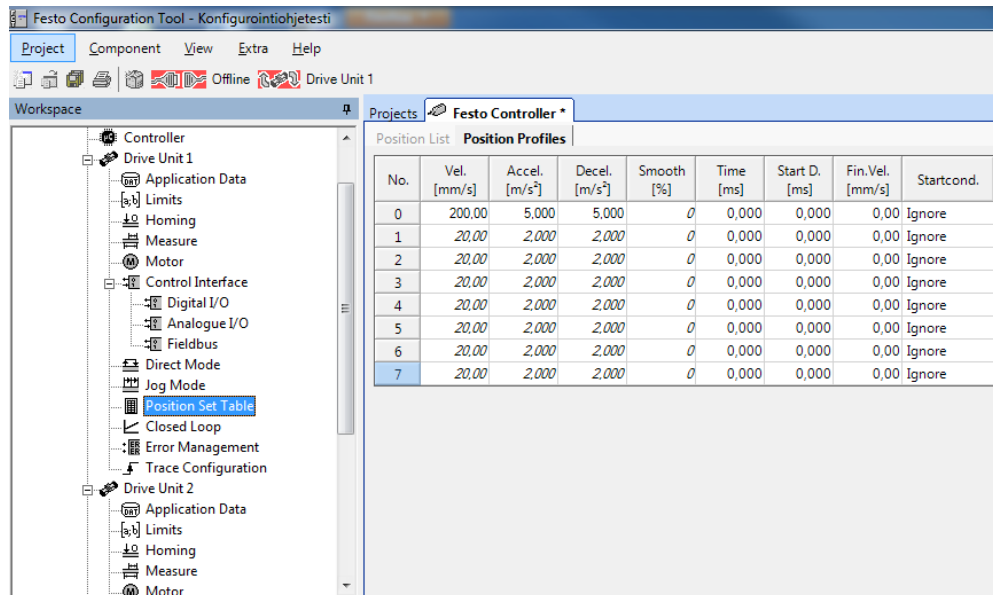
KUVIO 7. Muutetaan Destination-kohtaan ”Actual Position”, ohjelma pyytää resetoimaan, valitaan ”Affected pages”.



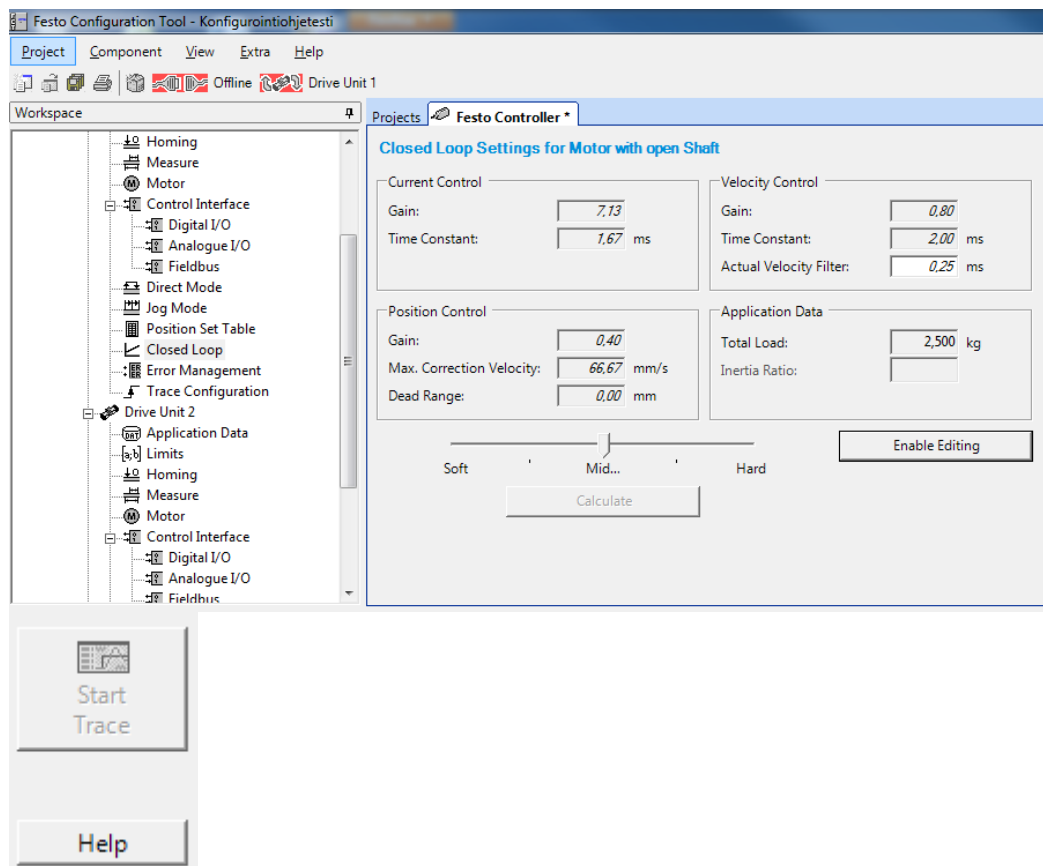
KUVIO 8. Vaihdetaan dataprofiiliksi DS 402



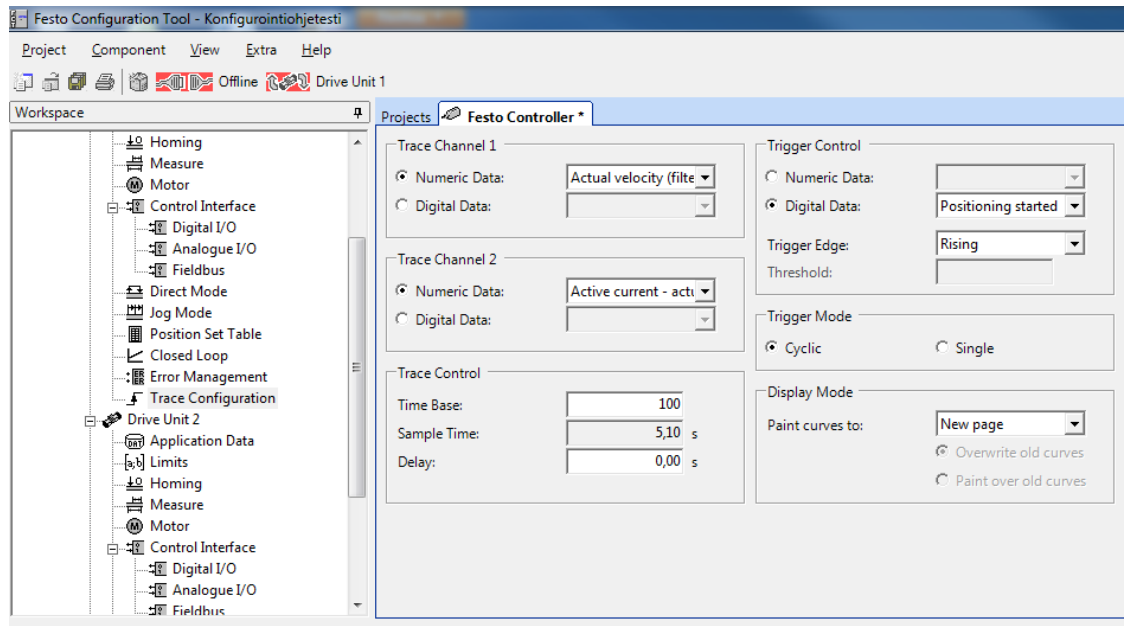
KUVIO 9. Taulukkoon voidaan määrittellä iskulle mm. päätepisteet. Määritämme profiilin 0 nopeudet ja kiihtyvyydet.



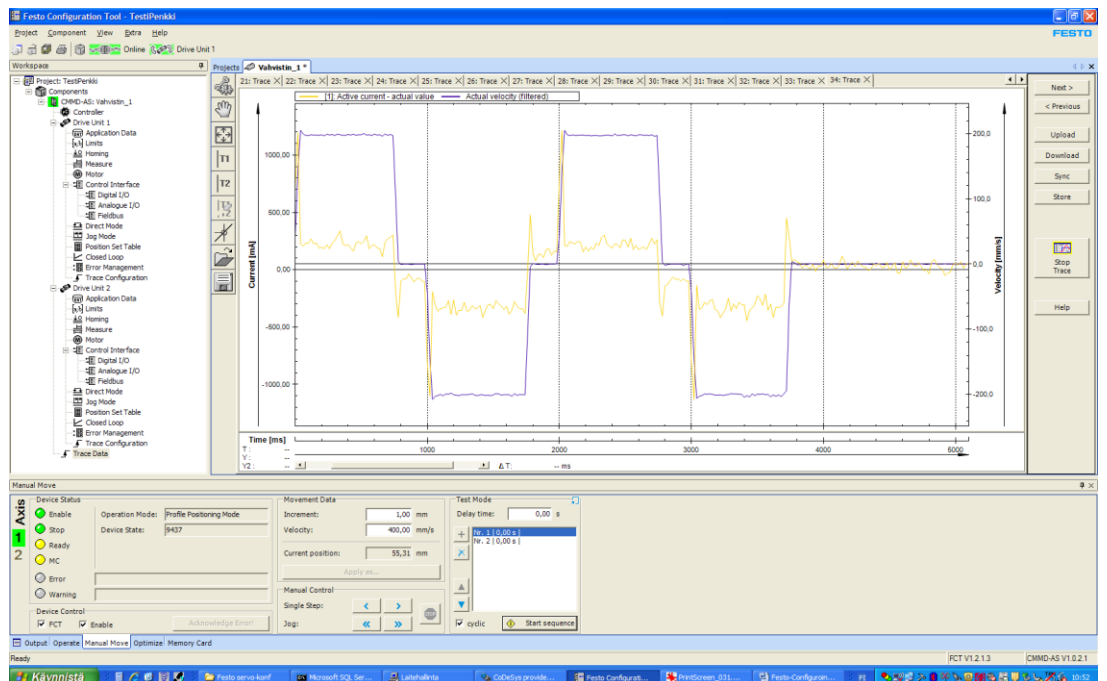
KUVIO 10. Määritimme molempien pisteiden profiiliksi 0, joten muita profiileja ei tarvitse määrittellä.



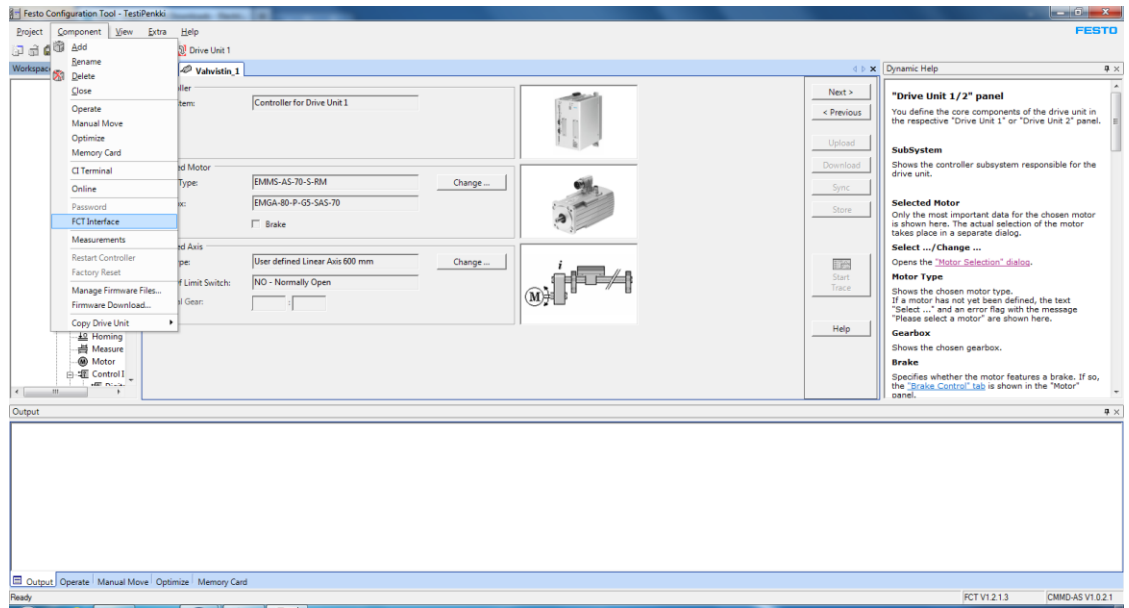
KUVIO 11. Säättövahvistus (Gain) ja aikavakio (Time Constant) muutetaan tarvittaessa PI-säädön yhteydessä. Itse PI-säätö suoritetaan Start Trace -painiketta painamalla.



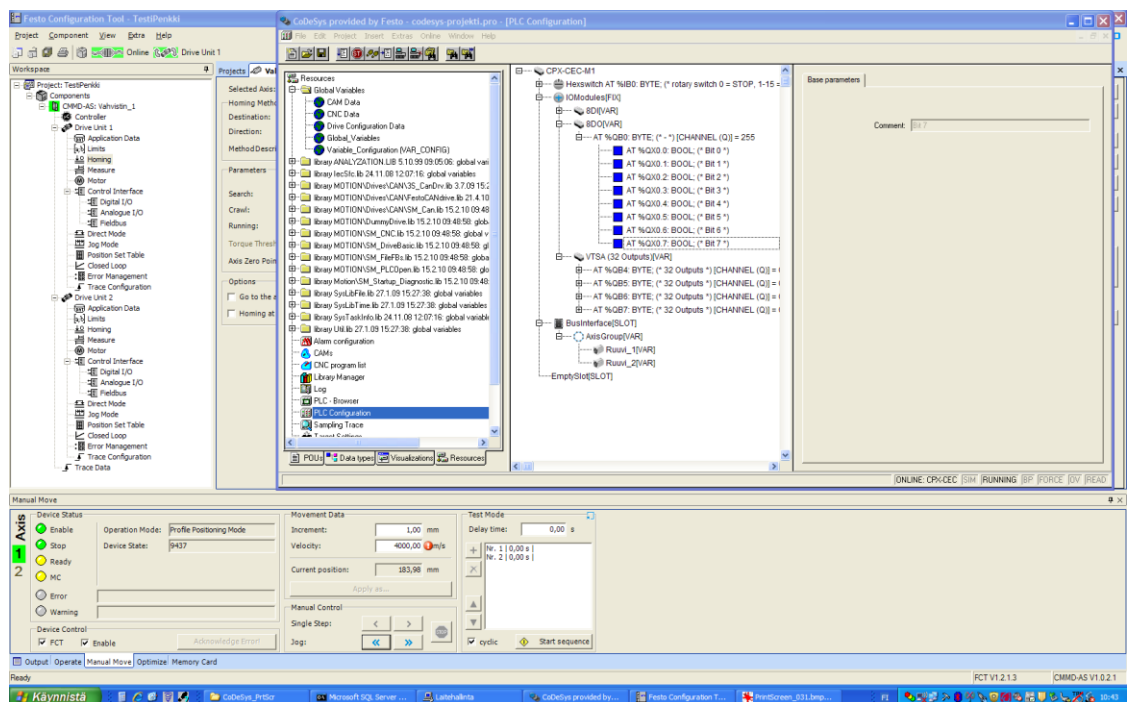
KUVIO 12. Määritellään kuvion mukaiset asetukset



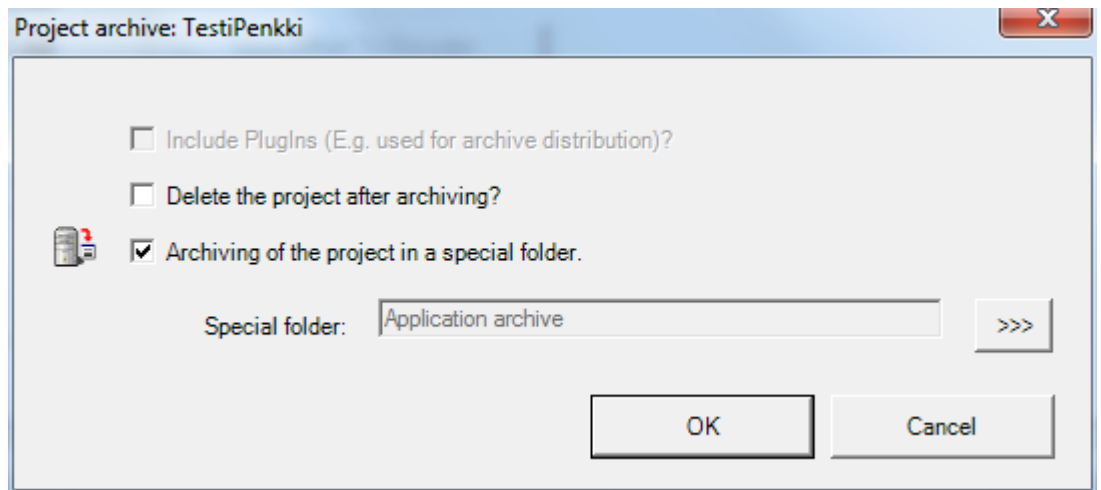
KUVIO 13. Oikeat säätöarvot löytyvät kokeilemalla. Kuvaaja esittää nopeuden sinisellä ja virran keltaisella värillä ajan funktiona.



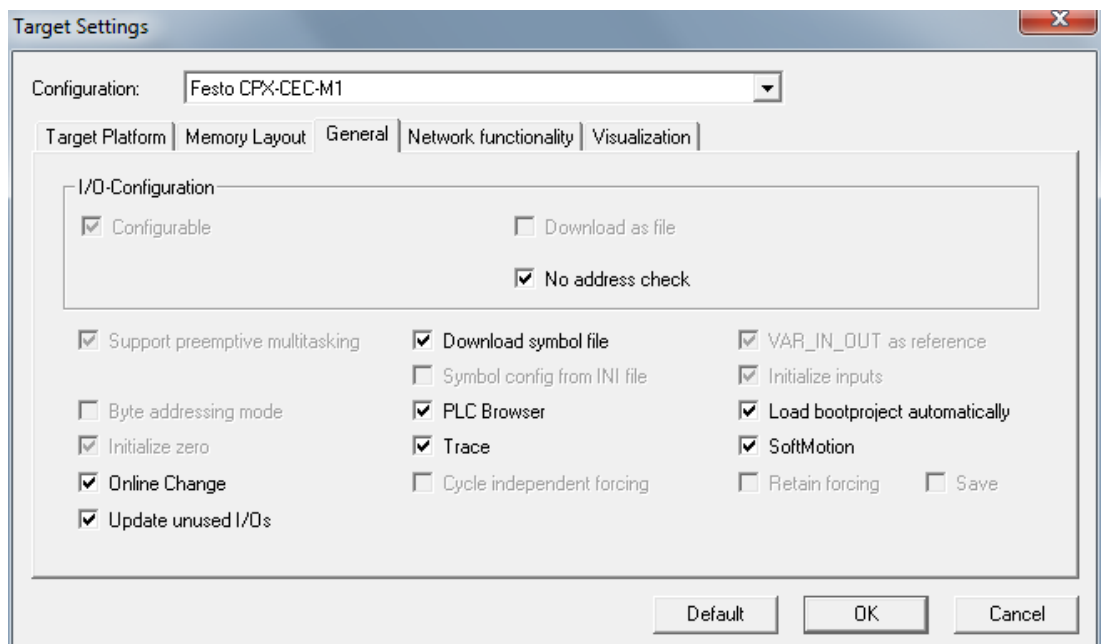
KUVIO 14. Ohjelma aloittaa määrittysten jälkeen automaattisesti uuden yksikön määrittämisen, mikäli käytössä on kahden akselin servo-ohjain. Lopuksi valitaan ylhäältä Component-valikosta FCT Interface ja määritetään portin asetukset.



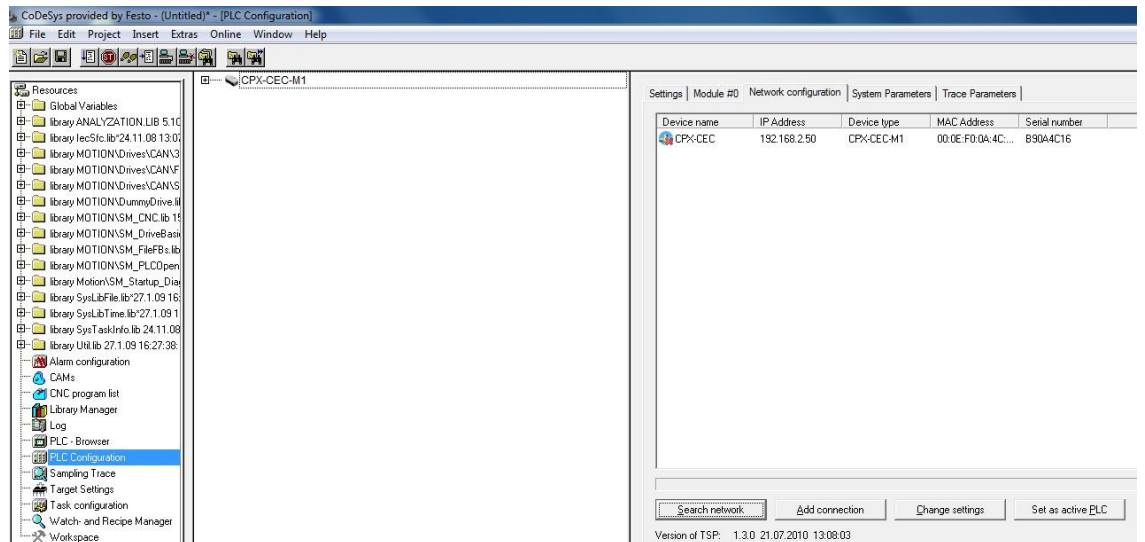
KUVIO 15. Logiikan lähdöt avataan manuaalisesti logiikkaohjelmasta, tai kirjoitetaan pieni lähdöt avaava ohjelma ja ajetaan se logiikkaan. Tämän jälkeen servo-akselia voidaan käyttää käsiajolla Festo Configuration Tool -ohjelmassa.



KUVIO 16. Tallennettaessa Archive-toiminnolla Festo Configuration Tool kasaa kaikki konfiguroinnissa luodut tiedostot yhteen pakettiin.

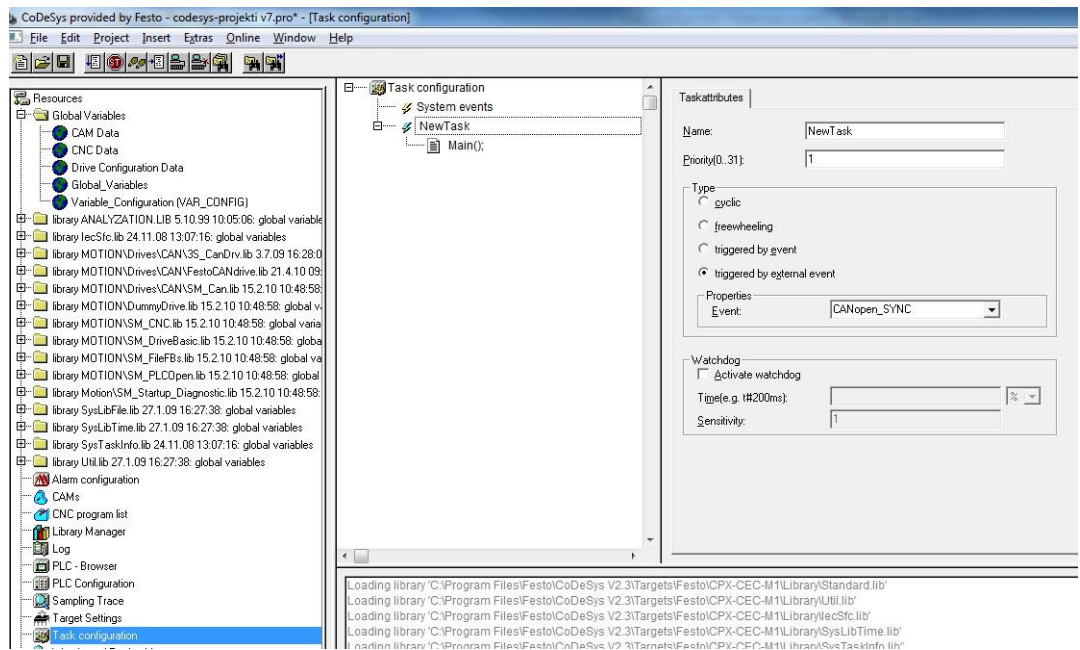


KUVIO 17. Luodaan uusi CoDeSys-projekti logiikkaohjelmaan ja määritetään projektin asetukset kuvion mukaisiksi.



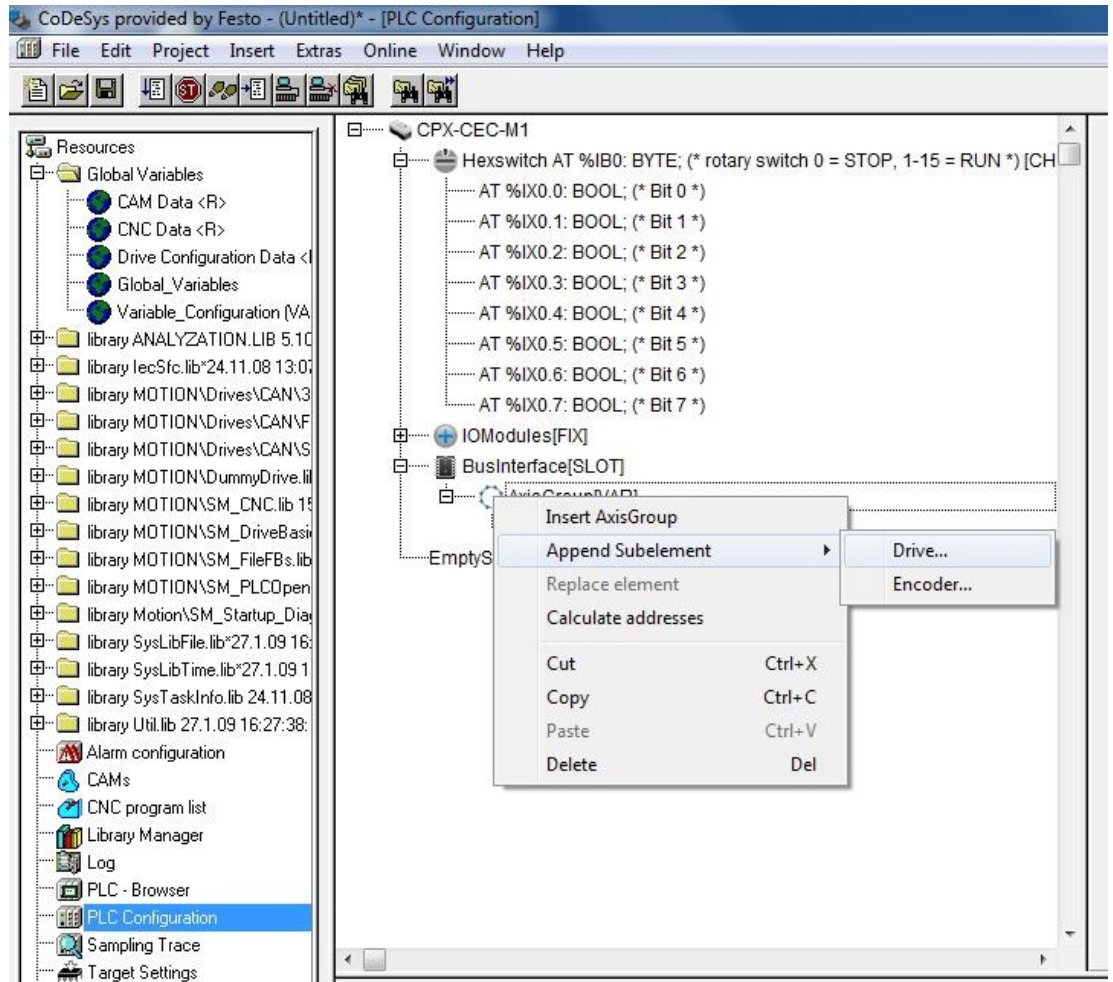
KUVIO 18. Valitaan ruudun vasemmasta alareunasta Resources-välilehti ja sieltä PLC Configuration. PLC:n IP-osoitteen voi tarkistaa Network Configuration -välilehdeltä.

Yhteyden logiikkaan voi tarkistaa Windowsin Command Prompt -ohjelman avulla (Windows-valikko – suorita – cmd.exe). Käsky on muotoa ”ping 192.168.X.XX”.



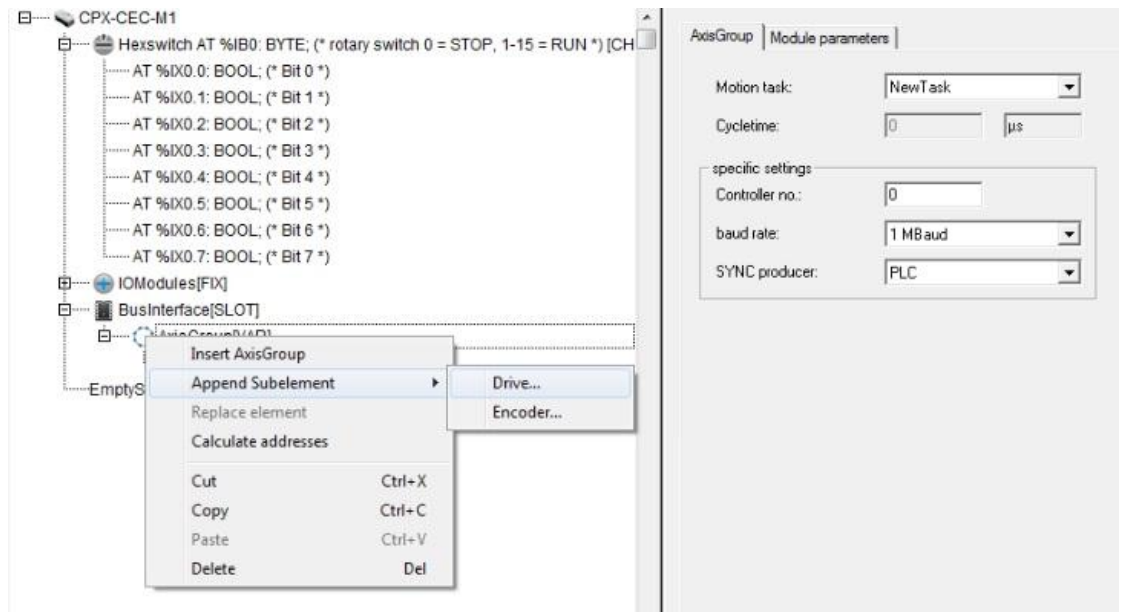
KUVIO 19. Lisätään Task Configuration -otsikon taakse uusi tehtävä, jolle esimerkissä on annettu nimi ”NewTask”. Tämän alle määritetään Append Program-Call -toiminnon avulla pääohjelman nimi, joka on nimetty dokumenttia luotaessa.

Tässä esimerkissä ohjelman nimi on Main();. Tehdään NewTask-tehtävällä kuvion 19 mukaiset määrittelyt.

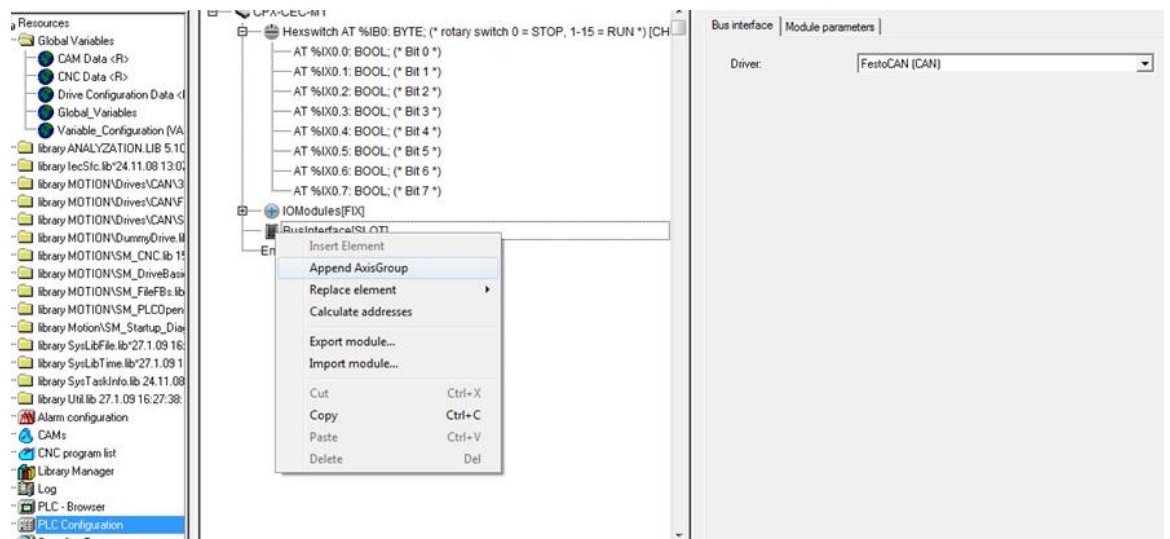


KUVIO 20. Painetaan hiiren oikealla painikkeella IO Modules -otsikkoa ja valitaan pudotusvalikosta ”Scan Module Configuration”. Ohjelma tutkii väylän välityksellä logiikkaan liitetyn tulo- ja lähtökokoonpanon ja lisää ne konfiguraatiokaavioon. BusInterface-otsikon pudotusvalikosta puolestaan lisätään kokoonpanoon akseliryhmä (AxisGroup). Akseliryhmään lisätään vielä Append Subelementin kautta käyttö ja nimetään se.

Jos halutaan tehdä virtuaalikäyttö ilman moottoria, vaihdetaan Businterface-otsikko VirtualBusInterface-otsikoksi tyhjän paikan (EmptySlot) kohdalta.



KUVIO 21. Määritetään AxisGroup-otsikon asetukset kuvion mukaisiksi. Motion task -pudotusvalikosta valitaan Task Configuration -välilehdellä määritellyn tehtävän nimi.



KUVIO 22. Muutetaan vielä BusInterface-otsikon takaa aukeavalle sivulle ajuriksi oikea väylä.

Nyt voidaan aloittaa pääohjelman suunnittelu.

LIITE 3

