

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Ville Lindh

## **Opetus- ja tutkimuskäytössä olevan manipulaattorin kehitystyö**

Opinnäytetyö 2017

## Tiivistelmä

Ville Lindh

Opetus- ja tutkimuskäytössä olevan manipulaattorin kehitystyö,

47 sivua, 2 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Kone- ja tuotesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2017

Ohjaajat: vanhempi lehtori Timo Eloranta, Saimaan ammattikorkeakoulu, tutkija-opettaja, Tuomo Lindh, Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Tämän opinnäytetyö toimeksiantaja oli Lappeenrannan teknillisen yliopiston sähkötekniikan osasto. Työn tavoitteena oli parantaa ja kehittää opetus- ja tutkimuskäytössä olevaa neljällä lineaarisella akselilla liikkuvaa manipulaattoria. Kehittämisen lähtökohtana pidettiin sähköisen servojärjestelmän automaation uusimista laitteiston ja ohjelmiston osalta sekä ongelmalliseksi havaitun manipulaattorin mekaanisen akselin kehittämistä laitteiston kannalta paremmaksi.

Automaation uusiminen käsitti uuden Beckhoffin teollisuustietokoneen asentamisen laitteiston osaksi ja paikkasäädön valmistamisen käyttäen TwinCat3-ohjelmaa. Manipulaattorin mekaanisen rakenteen ongelmana oli tietyissä virhetilanteissa laitteiston jumiutuminen, joka aiheutti laitteistolle mekaanisen rikkoutumisen mahdollisuuden. Ongelma ratkaistiin suunnittelemalla ongelmia aiheuttaneelle akselille uudenlainen kiinnitys, nivelöintien avulla.

Manipulaattoriin valmistetun paikkasäädön ohjelmaa ja sen toimintaa on esitelty tässä opinnäytetyössä. Opinnäytetyössä on myös tutkittu paikkasäädön käyttäytymistä käyttäen apuna TwinCat3-ohjelman mittaustoimintoja. Suunnitellun mekaanisen nivelöinnin mittapiirrokset on esitetty työn toimeksiantajalle.

Avainsanat: teollisuustietokone, manipulaattori, nivelöinti, TwinCat3

## **Abstract**

Ville Lindh

Developing work of manipulator system which is used in research and teaching,  
47 Pages, 2 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Mechanical Engineering

Mechanical and Industrial Design

Bachelor's Thesis 2017

Instructors: Senior lecture, Timo Eloranta, Saimaa University of Applied Sciences, Associate professor, Tuomo Lindh, Lappeenranta University of Technology

Lappeenranta University of Technology, department of Energy Systems, commissioned this thesis. The aim of the thesis was to improve and develop four axis linear manipulator system which works with servo motors. System is used in teaching and research use. The starting point for the development was renewal hardware and software parts in electronic servo automation system, as well as the development of a problematic mechanical axis.

Renewal of automation included the installation of the new Beckhoff industrial computer as part of the hardware upgrade and the creation of position control by using the TwinCat3 program. The problem in the mechanical structure in one of the manipulators axis, posed a risk of mechanical breakdown. The problem was, solved by designing a new type of attachment points by making joints to the axis that caused the problem.

Manufacturing the position control and results of the position control operation are presented in the thesis work. Position control operations were measured by using TwinCat3 scope tool. Dimensional drawings of the designed mechanical jointing are presented to the commissioner of this thesis.

Keywords: industrial computer, manipulator, mechanical joint, TwinCat3

## Sisältö

1 Johdanto .....	6
2 Manipulaattori .....	7
2.1 Robottien määritelmä .....	7
2.2 Teollisuusrobottien käyttökohteet .....	8
3 Numeerisesti ohjattu manipulaattori.....	9
3.1 Manipulaattorin kuvaus.....	9
3.2 Manipulaattori servojärjestelmänä .....	11
3.2.1 Servomootorit ja takaisinkytkentäanturit .....	14
3.2.2 Servovahvistin ja takaisinkytketty säätö.....	17
3.2.3 Kenttäväylä .....	19
3.3 Ohjelmointiympäristö ja ohjelmointikielet.....	19
3.3.1 IEC61131-3 Standardin mukaiset ohjelmoinnin käsitteet.....	21
3.3.2 Liikkeenohjaus (OpenPLC Motion Control).....	23
4 Laitteiston suojauksen suunnittelu .....	25
4.1 Automaatioon perustuva suojaus .....	25
4.2 Mekaaninen suojaus .....	26
5 Taajuusmuuttajien parametrit ja logiikan ohjelmointi.....	27
5.1 Taajuusmuuttajan parametrit.....	27
5.2 TwinCat3 .....	29
5.2 Ohjelman suunnittelu.....	33
5.3 Ohjelmointi .....	34
6 Manipulaattorin suojauksen mekaaninen suunnittelu.....	36
6.1 Nivelöinti.....	36
6.2 Puristin .....	37
6.3 Valmistus.....	39
7 Laitteiston testaus .....	39
7.1 Mekaanisen toimivuuden tarkastelu .....	39
7.2 Ohjelman toimivuus .....	41

8 Yhteenveto ja pohdinta .....	43
Lähdeluettelo .....	46

Liitteet

- Liite 1. Nivelöinnin mittapiirrokset.
- Liite 2. Ohjelma.

# 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä on tavoitteena, suunnitella Lappeenrannan teknillisen yliopiston opetus- ja tutkimuskäytössä olevalle manipulaattorille uusi mekaaninen kiinnitystapa y-akselille ja ohjelmoida laite toimintakuntoon käyttämällä Beckhoffin PC-pohjaista ohjelmoitavaa logiikkaa. Ongelmia aiheuttava akseli on kahden omilla servomootoreilla ohjattujen yhdensuuntaisten lineaaristen akselin välissä oleva akseli, joka virheellisessä käyttötilanteessa saattaa rikkoa laitteiston osia. Automaatiojärjestelmän osalta keskeisin tavoite tässä opinnäytetyössä on saada laitteisto toimintakuntoon uusituilla Beckhoffin laitteistoilla ja uudemmalla ohjelmaversiolla.

Tämä opinnäytetyö jakautuu kahteen eri vaiheeseen, jotka ovat laitteiston mekaaninen suunnittelu ja laitteiston automatisoinnin valmistaminen. Mekaanisessa suunnittelussa tulee ottaa huomioon laitteiston turvallinen ja jäykkä rakenne. Laitteistoon ei saa syntyä ylimääräisiä välyksiä, ja toleranssit on pidettävä mahdollisimman pieninä, koska laitteistoa käytetään tieteellisissä, paikkavirhettä analysoivassa tutkimuksessa.

Manipulaattorin automaatiojärjestelmään vaihdetaan uusi PC-pohjainen logiikka ja vanhentuneesta ohjelmasta siirrytään uudempaan ohjelmaan. Tässä opinnäytetyössä on tarkoituksena laitteiston toimivuuden testaus ja automatisoidun suojaus valmistaminen. Laitteisto vaihdetaan uudempaan kahdesta eri syystä, jotka ovat opetuksen nykyaikaistaminen ja tieteellisessä tutkimuksessa tarvittava laitteiston suorituskyvyn parantaminen.

Laitteistoa käytetään opetuksessa, ja laitteistolla on useita eri käyttäjiä, minkä takia pelkkä automaatioon perustuva suojaus ei ole riittävä. Suojaus ensimmäisessä vaiheessa on tarkoitus pysäyttää liike automaatiojärjestelmällä. Tämä tapahtuu vertaamalla akseleilla liikkuvien kelkkojen asemaa toisiinsa ja reagoimalla havaittuun paikkaeroon. Jos automaattinen suojaus ei toimi välittömästi, mekaanisella ratkaisulla saadaan automaatiolle lisää aikaa toimia ja laitteen normaaliin tilaan asettamisen helpottamiseksi.

Työssä selvitetään laitteiston rakenne ja sen pääkomponentit. Mekaanisen rakenteen lisäksi kuvataan sähköinen toiminta ja automaatiolaitteisto, kommunikointi ja sen automaation ohjelmallinen rakenne. Tämän jälkeen esitetään suunniteltu mekaaninen rakenne, sekä ohjelmalliseen suojaukseen liittyvien paikkasäädinten prototyypit ja säädinten testitulokset.

## **2 Manipulaattori**

Tässä lyhyessä luvussa selvitetään yleisesti teollisuusrobotin ja sen erikoistapauksen, manipulaattorin määritelmät. Teollisuusrobotti ymmärretään usein nivelrobotiksi, joka esimerkiksi hitsaa teollisuustuotetta. Standardien mukaisten määritelmien mukaan kuitenkin esimerkiksi manipulaattori voidaan luokitella teollisuusrobotiksi. Toisaalta robotit saatetaan luokitella manipulaattorin määritelmän avulla.

Manipulaattori on laitteisto, joka siirtää tai käsittelee objektia yksinkertaisen automatisoidun ohjauksen avulla tai käyttämällä kauko-ohjausta. Laitteistojen suurimpia käyttäjiä ovat teollisuus, ja kasvavissa määrin manipulaattoreita käytetään myös lääketieteellisissä toimenpiteissä. Manipulaattori on teollisuusrobotti, joka on luokiteltu ohjauksen tyyppin perusteella. (1.)

### **2.1 Robottien määritelmä**

Japanilainen robottiyhdistys JARA (Japan Robot Association) on määritellyt robotit eri luokkiin. Luokat on jaettu robotin ohjauksen tyyppien mukaan kuuteen eri kategoriaan, kuten taulukossa 1 on esitetty.

LUOKKA	Robotin ohjauksen tyyppi
Manuaaliset manipulaattorit	Manipulaattori, jota ihminen ohjaa
Kiinteästi ohjelmoidut robotit	Manipulaattori, joka suorittaa operaation peräkkäin, ja jolla liikkeen rajat ja ehdot on ennalta asetettu. Ohjelmamuutoksen teko vaivalloista.
Joustavasti ohjelmoidut robotit	Sama kuin edellä paitsi, että muutoksen teko on joustavaa.
Numeerisesti ohjatut robotit	Manipulaattori, joka toistaa numeeriseen muotoon koodattua liikeohjelmaa.
Opettavat robotit	Manipulaattori, joka toistaa samaa liikeohjelmaa, jonka se on tallentanut käsiohjauksen aikana.
Älykkäät robotit	Robotti, joka pystyy päättämään toiminnastaan monipuolisen aistitiedon ja päättelyn avulla

Taulukko 1. Japanilainen robottien jako ohjauksen tyyppin mukaisesti luokkiin (1.) Robottien luokittelussa on eri maiden välisiä eroavaisuuksia. Esimerkiksi Amerikan robotti-instituution RIA:n (Robotics Institution of American) mukaan manuaaliset manipulaattorit eikä kiinteästi ohjelmoidut manipulaattorit kuulu teollisuusroboteiksi luettaviin laitteisiin. Suomessa määritelmänä käytetään SFS-EN ISO 10218-standardia, joka on määritellyt teollisuusrobottien luokituksen samoin kuin amerikkalaisten luokitus. (1.)

## 2.2 Teollisuusrobottien käyttökohteet

Teollisuusrobotit ovat vakiinnuttaneet asemansa logistiikkalaitoksissa ja teollisuuden useissa eri käyttökohteissa. Logistiikkalaitoksissa robotit ovat nopeuttaneet pakettien käsittelyä ja pakkausta. Teollisuusrobotit ovat yksinkertaistaneet monimutkaisten kuljetushihnalaitteistojen toimintaa. Useissa kohteissa, joissa ennen tarvittiin henkilötyövoimaa yksinkertaisen liikkeen, tehtävän tai valvonnan suorittamisessa, voidaan nykyisin korvata ihminen teollisuusrobotilla. (2.)

Teollisuudessa robottien käyttökohteita ovat muun muassa kuljetus, paketointi, maalaus ja hitsaus. Käyttökohteita on yhtä paljon kuin työtehtäviä. Kuitenkaan kaikkien töiden tekeminen ei ole teollisuusrobottien avulla kustannustehokasta tai edes vielä mahdollista teknologian kehittymättömyyden takia. Tällä hetkellä teollisuusrobotit suorittavat enimmäkseen vain yksinkertaisia tai melko yksinkertaisia



töitä. Esimerkiksi teollisuusrobotti voi olla varustettu tarttujalla, joka tarrautuu valmiiseen tuotteeseen ja pinoaa valmiit tuotteet jatkokäsittelyä varten. (2.)

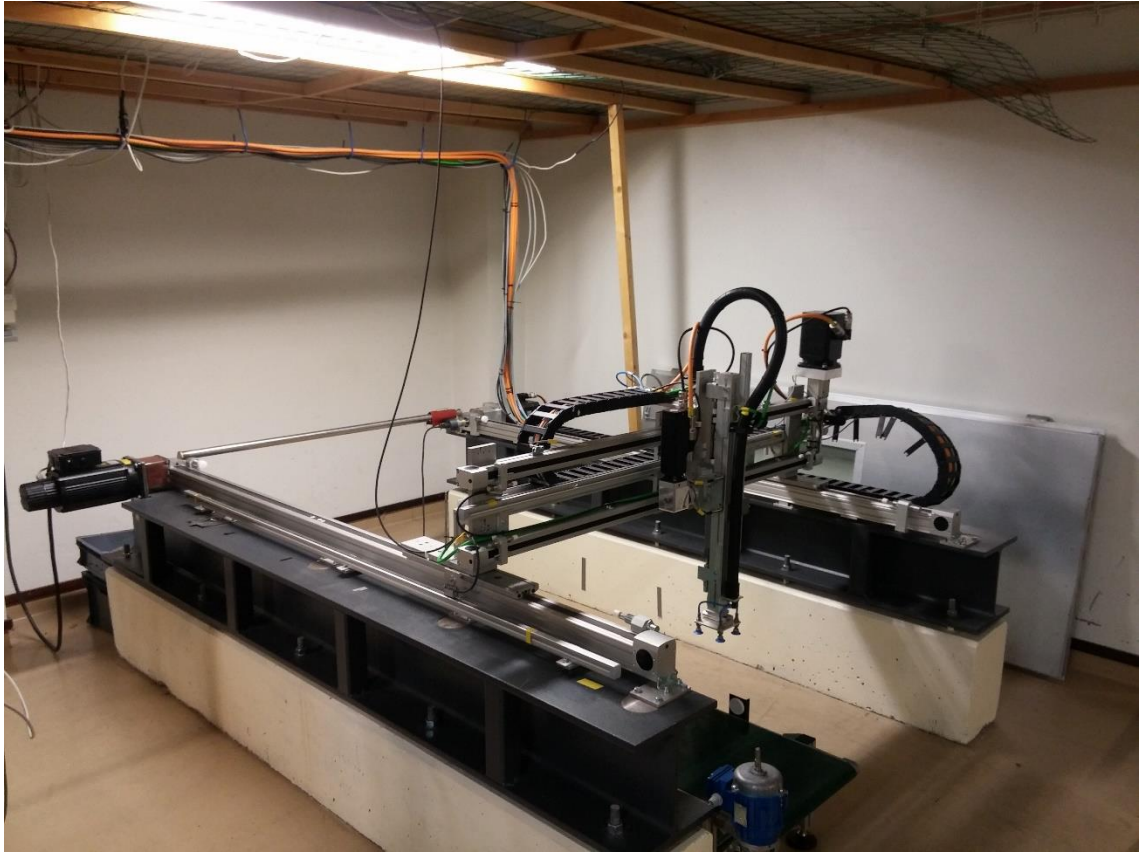
Lääketieteessä robotteja käytetään kirurgisissa toimenpiteissä. Laitteistot ovat käsiohjattuja, ja kirurgi ohjaa mekaanista kättä, joka suorittaa operaation. Operaatioita voivat olla esimerkiksi virtsatiesairauksien, sydänsairauksien ja keuhkosairauksien leikkaukset. Etuna robottivälineissä tähytysleikkauksessa tavalliseen avoleikkaukseen nähden on nopeampi toipuminen tähytysleikkauksen ansiosta. (3; 4.)

### **3 Numeerisesti ohjattu manipulaattori**

Tässä luvussa kuvataan tässä opinnäytetyössä käytettävä laitteisto ja kuvataan numeerisesti ohjattu manipulaattori servojärjestelmänä. Sähköisen servojärjestelmän yleiset ominaisuudet ja varsinkin tässä opinnäytetyössä käytettyjä komponentteja kuvataan myöhemmin luvuissa 3.2.1–3.2.3. Työssä käytetty ohjelmointiympäristö kuvataan luvussa 3.3.

#### **3.1 Manipulaattorin kuvaus**

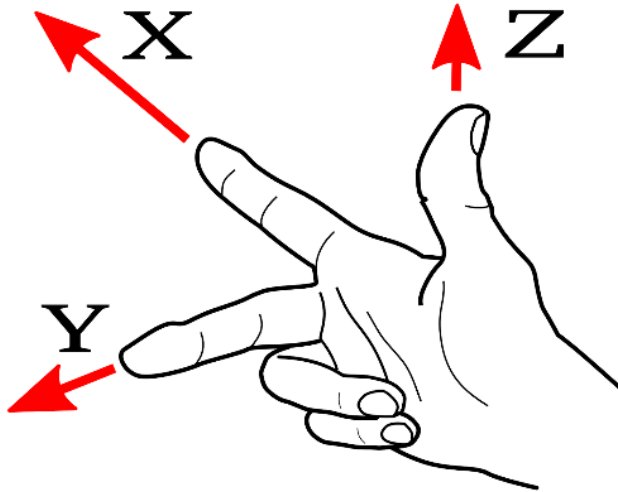
Työssä käytettävän laitteiston runkona on modifioitu Feston YXCR -manipulaattori. Laitteiston liikkeiden mitat ovat x-suuntaan 3000 mm, y-suuntaan 1500 mm ja z-suuntaan 800 mm. (Kuva 1)



Kuva 1. Lappeenrannan teknillisen yliopiston säätö- ja digitaalitekniikan laboratorion opetus- ja tutkimuskäyttöön tarkoitettu 4-akselinen manipulaattori (kuva: Ville Lindh)

Kuvassa 1 esitetyn manipulaattorin x-suuntaiset johteet on kiinnitetty paksujen I-profiilipalkkien päälle, jotka on kiinnitetty betonivaluun. I-palkkien laippojen väliin on lisätty tukia, joiden tehtävä on jäykistää rakennetta. Rakenne on hyvin jäykkä, koska laitteistolla tutkitaan esimerkiksi kommunikaatio- ja ohjausviiveiden vaikutusta paikoitustarkkuuteen.

Tässä opinnäytetyössä käytettävän manipulaattorin toimintaperiaate perustuu numeeriseen ohjaukseen. Manipulaattorilla on neljä lineaarista liikeakselia, joista kaksi x-suuntaan sekä yhden y- ja z-suuntiin. Vapausasteiden merkintäsuunnat ovat vakiintuneet ns. oikean käden säännön mukaan, joka kuvaa akseleiden liikesuuntia esitetty kuvassa 2. (5.)



Kuva 2. Oikean käden sääntö (6.)

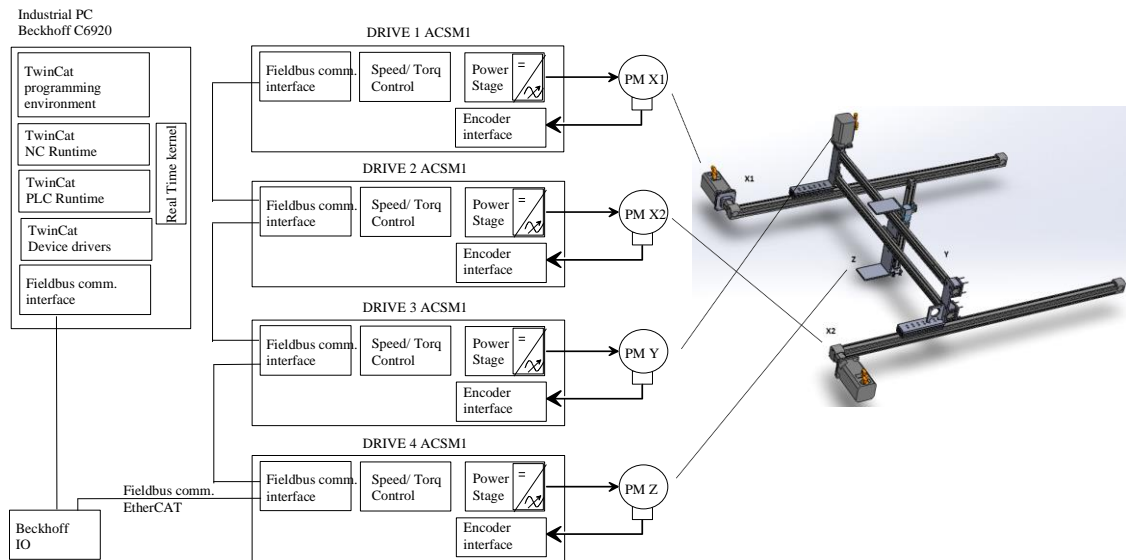
Tässä opinnäytetyössä kuvattaessa liikkeiden suuntia käytetään aina kuvan 2 periaatetta. Lineaariliikkeet kaikkiin suuntiin tapahtuvat servomootoreiden avulla. Servomootori pyörittää johteen sisällä olevaa hammashihnaa, johon liikuteltavat kelkat on kiinnitetty. Jokaisella johteella on oma ohjattu servomootorikäyttö. Käyttöä säädetään ohjelmoitavan logiikan avulla. Johteen tarkoitus on rajoittaa liike vain lineaariseksi.

### 3.2 Manipulaattori servojärjestelmänä

Sähköinen servojärjestelmä koostuu servo-ohjaimista, servomootoreista, pyörimisnopeus- ja paikka-antureista, liikkeenohjauksen ohjauksesta, säädöstä ja tiedonvälityksestä komponenttien välillä. Järjestelmään kuuluu ohjauslaite, joka antaa asetusarvon säätimelle. Säädin laskee asetusarvon ja servomootorilta tulevan mittauseron välistä eroarvoa. Tämän jälkeen vahvistin vahvistaa saadun arvon servomootorille sopivaksi ohjausarvoksi.

Kuvassa 3 on esitetty työn kohteena olevan manipulaattorin servojärjestelmä, jonka komponentteja ja toimintaa kuvataan tarkemmin luvuissa 3.2.1–3.2.3. Kaikkia neljää akselia käyttävät kestopagneettiservomootorit ACSM1-servovahvistimien ohjaamana. Servojärjestelmää ohjaa Beckhoffin teollisuus-PC C6920 Twin-Cat3 PLC -ohjelmalla. Tämä teollisuus-PC ohjaa ACSM1-servovahvistimia nopean ethernet-pohjaisen EtherCAT-kenttäväylän välityksellä. Pyörimisnopeutta ja paikkaa mitataan optisilla enkoodereilla, joiden toimintaa on kuvattu luvussa

3.2.1. TwinCat3-ohjelmointiympäristöä kuvataan luvussa 3.3. Liikkeenohjauksen säätöperiaate kuvataan kappaleessa 3.2.2. Kuvassa 3 esitetyssä servojärjestelmän kaaviossa esitellään servojärjestelmän pääkomponenttien liitännät kenttäväylän (fieldbus) ja rajapintojen (interface) välillä. Katkoviivat osoittavat käytettävään servomoottoriin.



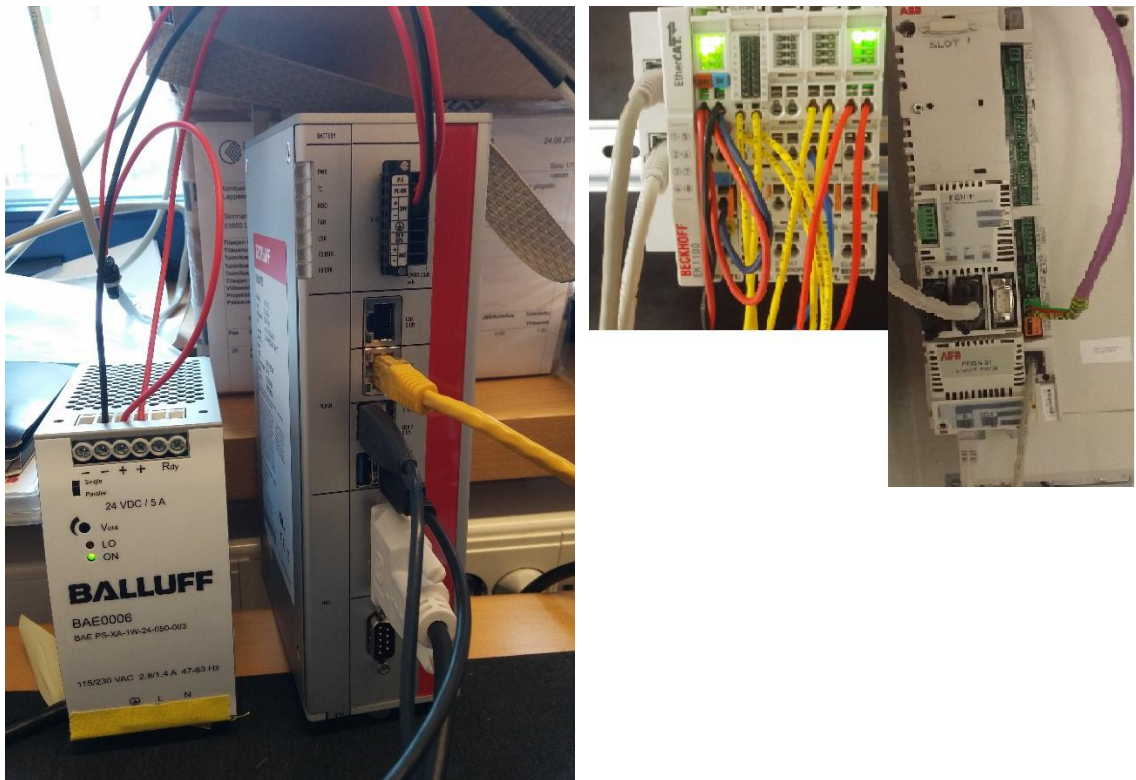
Kuva 3. Manipulaattorin servojärjestelmän kuvaus (kuva: Ville Lindh)

Taulukossa 2. on esitetty tässä opinnäytetyössä käytettävät laitteet, niiden valmistajat, tyyppimerkinnät ja laitteiden lukumäärät.

Laitteen nimi	Valmistaja	Tyyppi	Määrä/kpl
Manipulaattori	Festo	YXCR	1
Servomoottori 1 X1	SEW-eurodrive	CFM90M/TF/RH1M/K	1
Servomoottori 2 X2	ESR pollmeier	MR7454.4800-U5-N030-G14	1
Servomoottori 3 Y	ESR pollmeier	MR7442.4799-U5-N030-G14	1
Servomoottori 4 Z	ESR pollmeier	MR7412.4798-U5-N060-G14	1
Lineaari enkooderi	Kübler	8.LI20.1111.2020	2
Servomoottorin 1 enkooderi		(Hiperface)	
Servomoottorien 2,3,4 enkooderi		(EnDat)	
Taajuusmuuttaja	ABB	ACSM1	4
Ohjelmoitava logiikka (PLC)	BECKHOFF	C6920-0050	1
Kenttäväyläkortti EtherCat	BECKHOFF	EK1110	1
I/O	BECKHOFF	EL5101/EL1008	2+1
Virtalähde (PLC)	BALLUFF	BAE0006	1

Taulukko 2. Laiteluettelo (taulukko: Ville Lindh)

Taulukossa 2 esitettyjen servomoottorien suurin sallittu jatkuva vääntömomentti on  $14,5 \text{ Nm}$  ja lineaarijohteen suurin sallittu liikutettava kuorma  $20 \text{ kg}$ . Laitteistolla saavutettava suurin liikenopeus x-akselille on noin  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , kuorman suuruudesta riippuen. Suurin rajoittava tekijä nopeudelle on x-akselin johteiden sisällä olevien hihnan ja rattaiston luistaminen pysäytettäessä. Kuvassa 4 on esitetty virtalähde kytkettynä Beckhoffin teollisuustietokoneeseen ja siihen EtherCAT-kenttäväylällä liitettyjä Beckhoffin IO-yksiköitä ja yksi ACSM1-taajuusmuuttaja.



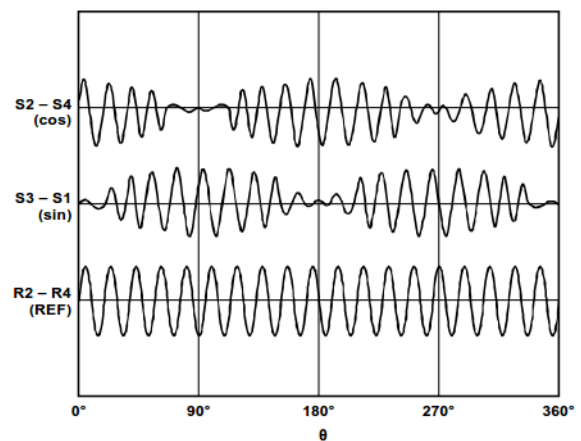
Kuva 4. Beckhoff C6920 teollisuustietokone ja siihen EtherCAT-kenttäväylällä liitettyjä Beckhoffin IO-yksiköitä ja yksi ACSM1-taajuusmuuttaja (kuva: Ville Lindh)

Kuvassa 4 vasemmalla on esitetty BALLUFF 24 VDC/5 A virtalähde ja BECKHOFF C6920-0050 teollisuustietokone. Keskellä kuvassa esitetty I/O-piiri ja oikealla kuvassa on ACSM1 taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttaja ja logiikka kytketty kuvan 3 kaavion mukaisesti, EtherCAT-kenttäväylän välityksellä.

### 3.2.1 Servomoottorit ja takaisinkytkentäanturit

Servomoottori on moottori, jonka hitausmomentti on pienempi kuin tavallisten sähkömoottorien. Pienemmän hitausmomentin ansiosta moottorin kiihdytys, jarrutus ja suunnanvaihto ovat nopeammin toteutettavissa. Servomoottorit voivat olla joko AC- (vaihtosähkö) tai DC- (tasasähkö) moottoreita. Servomoottoreissa on lähes aina anturointi, joka mittaa akselin kulmaa ja nopeutta. (7.)

Resolveri on servomoottorin analoginen paikka- ja liikeanturi, joka on perinteisesti rakenteeltaan pyörivä muuntaja. Roottorijännitteen ollessa vakio indusoituu vaihtojännite staattoriin, ja tämä jännite on amplitudiltaan verrannollinen käämien välisen kulman siniin. Staattorin käämit ovat keskinäisessä  $90^{\circ}$ :n vaihesiirrossa. (7.) Nykyisin pyörivän muuntajan korvaa usein roottori, jonka kulma saadaan selville reluktanssierosta staattoriin nähden, kun roottoriin indusoidaan sinimuotoinen jännite staattorin magnetointikäämeillä. Roottorin kulma luetaan  $90^{\circ}$ :n vaihesiirron muodostavilla mittakäämeillä niiden tuottamien amplitudimoduloitujen signaalien amplitudieron perusteella. Resolveri on rakenteeltaan yksinkertainen ja kestää hyvin ympäristörasituksia, kuten pakkasta ja tärinää. Jos ympäristö ei ole vaativa, resolverin korvaa usein enkooderi. Nykyaikainen resolveri on esitetty kuvassa 5.



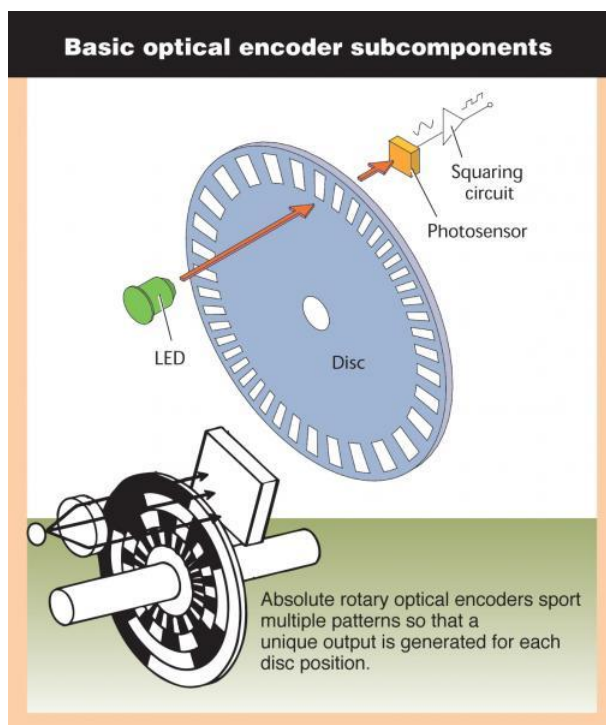
Kuva 5. Resolveri ja mittakäämien jännitteet (kuva: Ville Lindh)

Kuvassa 5 vasemmalla resolveri ja oikealla kuvassa on esitetty magnetoivan jännitteen käyrämuoto R ja mittakäämien jännitteet S eri roottorikuormilla.



Staattorin keskellä näkyy pyörivä osa eli roottori. Roottori on muotoiltu siten, että ilmarako pienentyy sen liikkua seuraavaa magnetointikäämistä kohti ja näin ollen reluktanssi käämissä muuttuu.

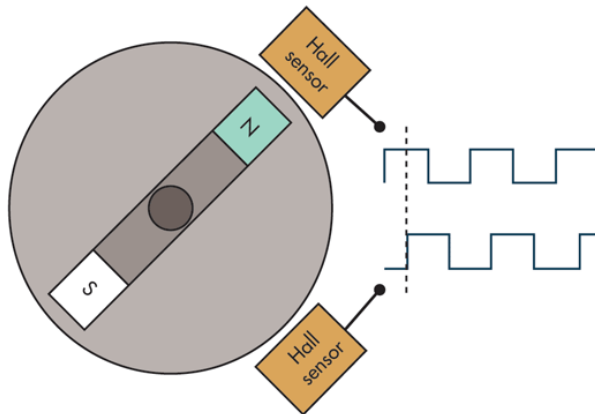
Enkooderi on liikkeenpaikoituksessa käytettävä pulssi- tai absoluuttianturi, jolla saadaan pyörivästä moottorista tai lineaariliikkeestä tarkka kulman asema tai paikkatieto. Antureita on optisia sekä magnetismiin perustuvia. Pyörivät optiset enkooderit toimivat pyörivään kiekkoon kohdistetun valon avulla. Kiekossa on reikiä, joista valo pääsee kulkemaan optiseen anturiin, ja anturi muuttaa tiedon sähköpulsseiksi (Kuva 6). Optisen enkooderin levy voidaan myös toteuttaa absoluuttiperiaatteella, jolla saadaan jatkuva paikkatieto. (9.)



Kuva 6. Pyörivä optinen enkooderi (9.)

Kuvan 6 yläosassa näkyy yksinkertaisen optisen pulssianturin eli pulssienkooderin kiekko ja toimintaperiaate. Kuvan alaosassa on esitetty absoluuttisen anturin kiekko, joka tuottaa digitaalisen koodin kullakin eri kulman asennolla. Manipulaattorissa akselia X1 mittaa HiperFace-tyyppinen absoluuttinen kulma-anturi, joka toteuttaa sekä enkooderin että resolverin. Akselia X2 mittaa Endat-tyyppinen kulma-anturi, joka toteuttaa sekä absoluuttisen että inkrementaalisen enkooderin.

Magnetismin perustuvissa pyörivissä enkoodereissa pyörii roottori, johon on kiinnitetty magneetteja. Magneettien liikkua hall-sensorin ohi anturi muodostaa sähköisen pulssin, kuten optisessa tapauksessa (Kuva 7).



Kuva 7. Pyörivä yksinapainen magneettinen enkooderi (10.)

Pyörivän magneettisen enkooderin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 7. Hall-sensori aistii vahvistuvan magneettikentän ja antaa sähköisen pulssin. Hall-sensorin hall-ilmio perustuu siihen, että magneetin kohdatessa virtajohtimen johtimessa kulkevien elektronien kulkusuunta muuttuu. (10.)

Lineaariset enkooderit toimivat perustuen liikkuvaan anturiin, joka seuraa magneettista nauhaa, reikänauhaa tai heijastavaa pintaa. Kuvassa 8 magneettista nauhakuviota seuraava enkooderi. (11.)



Kuva 8. Magneettinen lineaarinen enkooderi (11.)



Kuvassa 8 oleva lineaarinen enkooderi liikkuu magneettinauhan päällä, jossa negatiivinen ja positiivinen magneetti ovat peräjälkeen. Opinnäytetyössä tällaisia lineaarisia enkoodereita käytetään x-akselien paikan mittaukseen vertailutarkoituksessa. Servomoottoriin liitetty enkooderi antaa paikkatiedon hihnan vetorullan aseman perusteella. Lineaarinen enkooderi mittaa suoraan kelkan paikan, joten hihnan venymä voidaan laskea näiden paikkatietojen erotuksena.

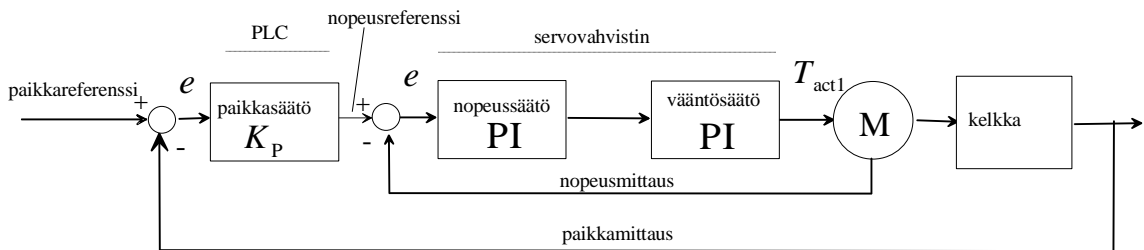
### 3.2.2 Servovahvistin ja takaisinkytketty säätö

Takaisinkytketyllä säädöllä tarkoitetaan järjestelmää, jossa asetusarvoa verrataan takaisinkytkentätietoon, joka on tavallisesti mittaus. Tällä takaisinkytkennällä vaikutetaan sitten jonkin toimielimen avulla säädettävään prosessiin. Tämän työn servojärjestelmässä toimielimenä on servovahvistimen, jonka tehtävä on huolehtia, että servomoottori saa tarvitseman virran. Servovahvistin saa nopeuden tai aseman mittausarvon ja vertaa sitä logiikan asetusarvoon. Jos arvojen välillä on poikkeama, vahvistin vahvistaa toimilaitteelle asetettavan arvon säätimen avulla. Säädintä käyttämällä pyritään mahdollisimman vakaaseen ja nopeaan asetusarvon palauttamiseen. Eniten käytetyt säätimet ovat P-, PI- ja PID-säätimet. PID-säädin on esitetty yhtälössä 1. Eroarvo  $e$  on siis asetusarvon ja mittausarvon erotus. Säätimen lähtö  $u$  on toimilaitteelle annettava laskennallinen asetusarvo. P-säädin vahvistaa eroarvoa, integrointitermi  $I$  integroi erotusarvoa ja derivointitermi vahvistaa eron muutosta. Paikoituksessa käytetään useimmiten nopeussäätäjänä PI-säädintä ja paikkasäätönä P-säätöä. Useimmiten servovahvistimen vääntösäätimenä käytetään myös PI-säädintä. (12; 13.)

$$u(t) = \left( K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$

Kuvassa 9 on esitetty manipulaattorin paikkasäädön periaate. Kelkan paikan ja paikan asetusarvon eli referenssin muodostama ero suure vahvistetaan P-säätimen vahvistuksella  $K_p$ . Tämä säädin on toteutettu PLC-ohjelmalla ja säätimen lähtö muodostaa nopeusohjeen servovahvistimessa toteutetulle nopeussäätimelle. Tämä säädin on toteutettu PI-säätimenä, joilla viitataan yhtälön 1 kahteen

ensimmäiseen termiin. Integrointitermi tarvitaan, jotta järjestelmälle voidaan muodostaa haluttu dynaaminen toiminta ja sillä poistetaan ns. pysyvä paikkavirhe. (12; 13.)



Kuva 9. Paikkasäättö (12; 13.)

Ohjelmoitava logiikka PLC (Programmable Logic Controller) on mikroprosessorilla varustettu laite, jota voidaan ohjelmoida suorittamaan haluttu toimenpide. Ohjelmoitavana logiikkana työssä on tehokas teollisuustietokone. Tässä opinnäytetyössä logiikka ohjelmoidaan käyttämällä TwinCat3-ohjelmistoa, josta ohjelma siirretään logiikan omaan muistiin. Logiikka tarvitsee myös tulo- ja lähtöpiirit, jotka voivat käsitellä digitaalista tai analogista signaalia, usein anturitietoa. Digitaalinen binäärinen tulosignaali on aina tosi tai epätosi eli logiikan prosessorille tulevat signaalit ovat aina 1 tai 0. Analoginen signaali muutetaan digitaalseksi I/O-moduulissa. Analogista tuloa tarvitaan esimerkiksi, jos painejärjestelmä paineanturilta tarvitaan jatkuvaa tietoa paineen säätämiseksi. Analogisia tai digitaalisia tulo- ja lähtöpiirejä käytetään tässä manipulaattoritoteutuksessa kuitenkin lähinnä rajakytkin tilojen luentaan. Tiedonsiirto taajuusmuuttajilla toteutettujen servovahvistimien ja PLC:n välillä hoidetaan nopealla EtherCat-kenttäväylällä.

Taajuusmuuttaja on perinteisesti määritelty laitteeksi, joka muuttaa verkkosähkön taajuuden halutuksi moottorin käyttötaajuudeksi. Tätä kutsutaan skalaarisääntöiseksi taajuusmuuttajaksi. Käytännössä servovahvistimena käytetyt muuttajat muuttavat moottorin pyörimisnopeutta säätämällä vääntömomenttia portaattomasti käyttäen vektorisääntöä. Taajuusmuuttaja toimii servovahvistimena käytetäessä nykyaikaisen servojärjestelmän osana. (14.)

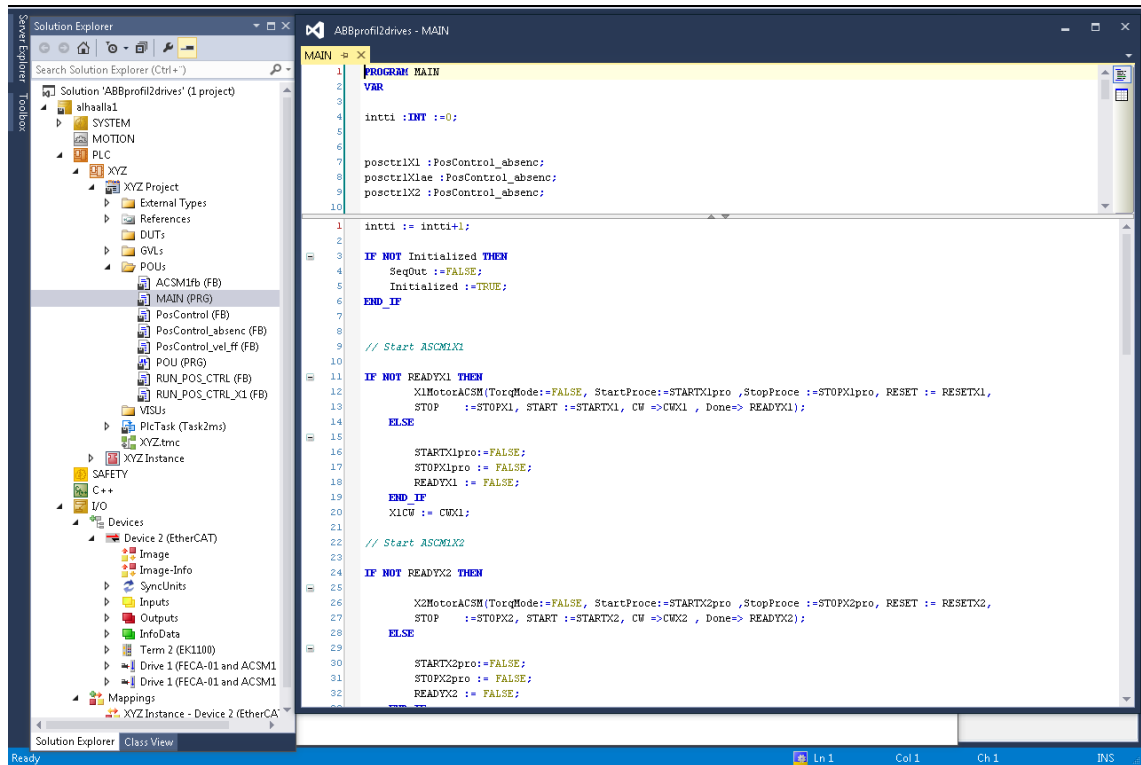
### **3.2.3 Kenttäväylä**

Kenttäväyläteknikka on luotu helpottamaan ja nopeuttamaan tiedonsiirtoa toimilaitteiden, kuten antureiden ja taajuusmuuttajien tiedon välitystä logiikalle. Kenttäväyläteknikan ansiosta suurista määristä kaapeleita on päästy eroon korvaamalla se yhdellä kaapelilla. Ennen väyläteknikan kehittymistä tiedonsiirto toteutettiin analogisesti, nykyisin taas suurin osa analogisesta tiedosta muutetaan digitaaliseksi tiedoksi ja toimilaitteille annetaan omat osoitteet. Toimilaitteiden osoitetiedon perusteella logiikka tietää mistä kyseinen digitaalinen signaali tulee ja pystyy näin ollen suorittamaan tarvittut toimenpiteet. Tässä opinnäytetyössä käytettävä taajuusmuuttaja tarvitsee EtherCAT-kenttäväylää varten erillisen adapterin. Kenttäväylät ovat myös helpottaneet vianetsintää toimilaitteista, koska toimilaitteet voivat lähettää digitaalista tietoa omasta tilastaan. Vikadiagnostiikka on helpottanut esimerkiksi autojen vikojen etsintää, kenttäväylän lukulaite kiinnitetään autoon ja ilmoitus vikaantuneesta moottorin lämpötilan mittausanturista ilmestyy lukulaitteelle.

### **3.3 Ohjelmointiympäristö ja ohjelmointikielet**

Ohjelmointiympäristö on ympäristö, jossa ohjelma suunnitellaan ja rakennetaan. Tässä opinnäytetyössä käytetään TwinCat3 (The Windows Control and Automation Technology) ohjelmointialustaa, joka on integroitu Microsoftin Visual Studio-ohjelmointiympäristöön. TwinCat3-ohjelmointiympäristöön kuuluu myös reaaliai-

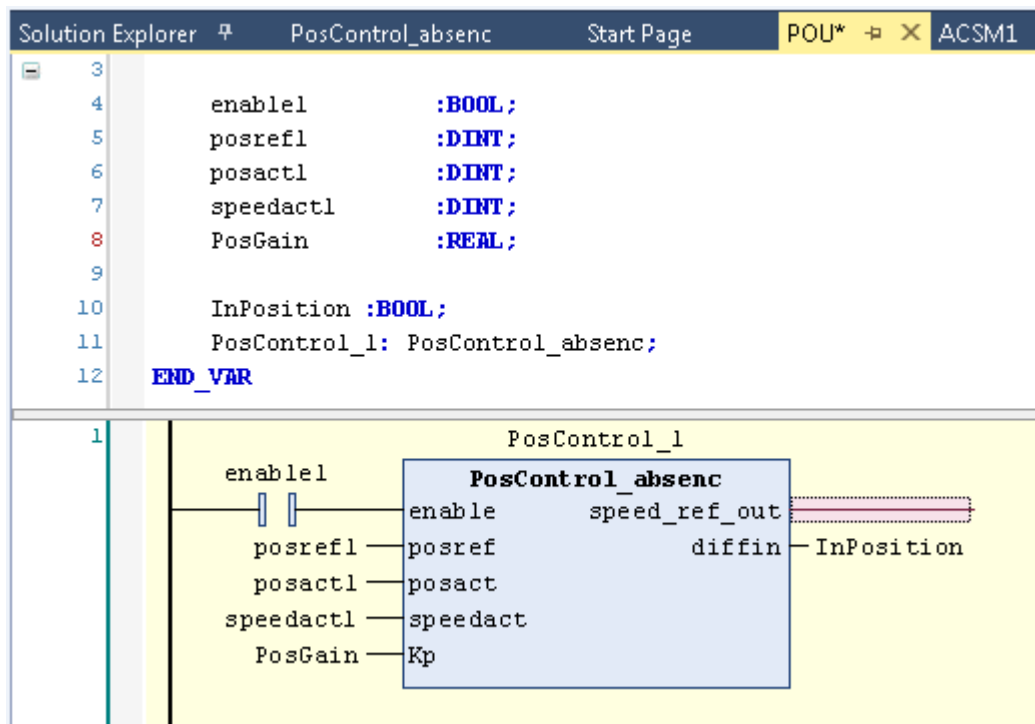
kajärjestelmä, jossa suoritetaan esimerkiksi numeeriset ohjaukset tai PLC-ohjelmat. (15.) Manipulaattorin ohjaus ja suojauspysäytys toteutetaan Beckhoffin PC-pohjaisella logiikkajärjestelmällä. Kuvassa 10 TwinCat3-projekti avattuna.



Kuva 10. Projekti avattuna TwinCat3-ohjelmassa (kuva: Ville Lindh)

Kuvassa 10 vasemmalla näkyy "Solution explorer" liikkumisikkuna, jossa näkyy kaikki projektin sisältämät tiedostot. Esimerkiksi muuttujat ja ohjelmat.

Ohjelmointikielinä voidaan käyttää kaikkia standardin IEC 61131-3 ohjelmointikieliä, jotka sisältyvät samaan TwinCat3-ohjelman standardi kirjastoon. IEC 61131-3 standardiin kuuluvia kieliä ovat esimerkiksi ST (Structured Text) ohjelmointikieli. Beckhoffin valmistamassa TwinCat3-ohjelmassa on mahdollista tehdä funktiolohkoja tai aliohjelmaa käyttäen eri ohjelmointikieliä ja liittää ne pääohjelmaan. Esimerkiksi funktiolohkon voi ohjelmoida LD (Ladder Diagram) tika-  
puukaaviolla tai FBD (Function Block Diagram) funktiolohkoilla, joissa ohjelmointi tapahtuu graafisilla symboleilla. Kuvassa 11 esimerkki LD-kielisestä ohjelmasta.



Kuva 11. Funktiolohko käyttäen tikapuukaaviota (kuva: Ville Lindh)

Kuvassa 9 esitetty alhaalla funktiolohko käyttäen LD-ohjelmointikieltä ja ylhäällä muuttujat. IEC 61131-3 määrittelee standardifunktioita ja funktiolohkoja, jotka on muodostava ns. standardikirjaston. Edellä mainittujen standardikirjastojen lisäksi TwinCat3-ohjelmassa voi käyttää muitakin PLC-ohjelmointikirjastoja, kuten MC-kirjastoa. MC-kirjasto on tarkoitettu liikkeen ohjaukseen, joten se sisältää valmiita funktiolohkoja ohjelmointia varten. TwinCat3-ohjelmistolla on myös mahdollista käyttää useaa kirjastoa samaan aikaan. Kirjastojen tarkoitus on helpottaa ohjelmointia, mutta useat eri kirjastot vaativat maksullisen lisenssin. (16.)

### 3.3.1 IEC61131-3 Standardin mukaiset ohjelmoinnin käsitteet

Ohjelmointikielten lisäksi IEC61131-3 kuuluu resurssit, tehtävät, ohjelmakomponentit (POU). Resurssit ovat yksiköitä, jotka pystyvät ajoittamaan tehtäviä ja ajamaan ohjelmia. Tehtävät voivat olla syklisesti suoritettavia, ulkoisen keskeytyksen laukaisemia tai suorittaa ohjelmaansa niin nopealla syklillä kuin voivat (free-running). Pääasiallisia ohjelmakomponentteja on kolmea eri tyyppiä: ohjelmia, funktioita ja funktiolohkoja. Tehtävät voivat ajaa ohjelmia ja ohjelmat voivat kutsua funktioita ja funktiolohkoja. Myös funktiot ja funktiolohkot voivat kutsua toisia funktioita tai funktiolohkoja. Funktiot suorittavat tehtävänsä, yleensä laskevat

lähtöarvonsa tuloparametrien avulla. Funktiolohkolla on omat sisäiset muuttujansa, jotka säilyttävät arvonsa kutsujen eli suorituskertojen välillä. Funktiolohkoilla on implementaatio eli koodi, joka määrää toiminnallisuuden ja instanssi, eli kukin yksittäinen oman tilansa ja datansa säilyttävä yksilö. Esimerkiksi paikakasäätimen implementaatio voi olla yhteinen kullekin akselille, mutta kunkin akselin säädin on oma yksittäinen säädin, joilla esimerkiksi paikan säätimen tilat yms. arvot ovat kaikilla erilaiset. (17.)

Ohjelmointikielet tarvitsevat ohjelman kirjoitukseen muuttuja- ja datatyyppejä. IEC 61131-3 määrittää globaalit ja lokaalit muuttujat. Lokaalit muuttujat voivat olla tulomuuttujia, lähtömuuttujia, tulolähtömuuttujia ja sisäisiä lokaaleja muuttujia. Muuttujat voidaan kiinnittää muistipaikkaan tai määrittäminen voidaan jättää avoimeksi. Muuttujat voidaan määrittää myös tulo- tai lähtömuuttujiksi, jotka liitetään I/O-yksikön fyysisiin I/O-pisteisiin tai kenttäväylädataan. Funktiolohkojen funktioiden määrittelystä on esimerkki liitteessä 2. Tietotyypit on määritetty standardissa IEC 61131-3 hyvin tarkasti. Taulukossa 3 on esitetty arvot, joiden perusteella muuttujille saadaan valittua arvoalue. Datatyyppien UINT ja WORD arvoalue on sama, mutta WORD datatyypillä alue voi alkaa muualtakin, kuin nolasta. Boolean on datatyypeistä yksinkertaisin arvo, koska se saa arvoksi aina 0 tai 1. (17.)

Datatyyppi	Kuvaus	Arvo
Bool	Boolean	Tosi tai epätosi
INT	16-bit	-32768...32767
UINT	16-bit	0...65535
DINT	32-bit	-2147483647...2147483647
REAL	32-bit	-3.402823 x 1038... 3.402823 x 1038
WORD	16-bit	0...65535
<pre> VAR_GLOBAL  STOPX1pro :BOOL;          (* boolean TRUE/FALSE *) STOPX2pro :BOOL:=TRUE;   (* boolean oletus/alkuarvo = TRUE *)  X1Vel AT %I* :INT;        // kelkan X1 nopeus ethercat muuttuja, input 16-bit -32768...32767  X1Ref1 AT %Q* :INT;       // kelkan nopeusreferenssi, ethercat muuttuja, output X1Pos AT %I* :DINT;       // kelkan X1 asema 32-bit lukualue: -2147483647...2147483647 COUNTERX1 AT %I* :UINT;    // laskurin arvo 16-bit lukualue: 0...65535 refreal : REAL;           // 32-bittinen lukualue: -3.402823 x 1038... 3.402823 x 1038 actreal : REAL;  debug :ARRAY [1..10] OF INT; // kymmenen kokonaisluvun vektori eli 1-ulotteinen taulukko  END_VAR </pre>		

Taulukko 3. IEC-61131-3-datatyypit ja muuttujien määrittelyesimerkki (taulukko: Ville Lindh)

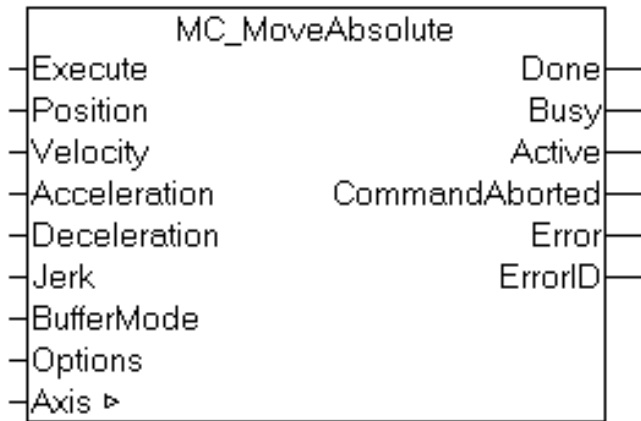
Taulukossa 3 on esitetty vain tämän opinnäytetyön kannalta oleelliset datatyypit, sekä esimerkin avulla havainnollistettu globaalien muuttujien määrittelyä (VAR\_GLOBAL).

### 3.3.2 Liikkeenohjaus (OpenPLC Motion Control)

Tässä opinnäytetyössä liikkeen ohjaus tullaan valmistamaan tässä kappaleessa esitettyjen menetelmien perusteella. Liikkeenohjaus on yksi automaation alatoiminnoista ja olennainen osa servomoottorilla toimivia laitteistoja.

Servomoottorien liikkeen ohjauksessa voidaan käyttää valmiita MC (Motion Control) funktiolohkoja. MC-lohkojen tehtävä on suorittaa liike annettujen ja kerättyjen tietojen, kuten enkooderin tai resolverin antaman paikkatiedon perusteella. Yksinkertaisimmillaan automaattinen liikkeen ohjaus tarvitsee anturitietona paikkatiedon ja käytettävältä laitteelta, esimerkiksi tässä tapauksessa johdetta pitkin liikkuvulta keltalta ja paikalle annetun referenssiarvon. Paikan referenssiarvolla

määritetään paikka, johon moottorin liikuttama kelkka halutaan siirtää. Paikan referenssiarvon saavuttamiseksi paikan referensseihin määritetään myös halutut nopeuden, kiihdytyksen ja hidastuksen arvot. Twincat3 NC-ohjelman MC-funktio-  
lohko esitetty Kuvassa 12. (18.)



Kuva 12. Liikkeen ohjauksen funktiolohko (18.)

Kuvassa 12 näkyvän (MC\_MoveAbsolute) funktiolohkon tehtävä on suorittaa liike haluttuun paikkaan ja seurata liikettä, koko liikkeen ajan. Kyseinen lohko on suunniteltu lineaariliikkeitä varten. MC-funktio-  
lohkosta riippuen voidaan servomoottorien liikuttamiselle asettaa tiettyjä ominaisuuksia, kuten kiihtyvyyden tai momentin rampeja. Ohjelmoinnissa rampeilla tarkoitetaan profiilia, jonka ohjelma luo esimerkiksi momentin ja ajan suhteen. (16; 18)

Liikkeenohjaus voidaan toteuttaa myös ilman valmiita MC-lohkoja. Ilman valmiita MC-lohkoja suoritettavassa liikkeenohjauksessa, ohjelmasta tulee paljon pidempi. Ohjelman pituus kasvaa, koska liikkeille täytyy määritellä itse nopeuksien, kiihtyvyyksien rampeja. Etuna ilman MC-lohkoja tehty liikkeen ohjaus on helpommin muokattavissa ja siihen on helpompi tehdä lisää uusia sovellutuksia. Lisäksi Beckhoffin toteutuksessa liikkeenohjaus toteutetaan erillisessä PLC-ohjelmointiympäristön ulkopuolisessa NC-ohjelmassa (Numerical Control). NC-ohjelman käytöstä johtuen, esimerkiksi ajoitusten hallinta ja mittaaminen ovat vaikeaa. Näistä syistä johtuen työssä aloitettiin rakentamaan omia liikkeenohjausfunktio-  
lohkoja.



## **4 Laitteiston suojauksen suunnittelu**

Laitteiston mekaanisen rikkoutumisen suojaksi on suunniteltava järjestelmä, joka estää laitteistoa rikkoutumasta. Suojauksen toteutuksessa käytetään mekaanista ja automaatioon perustuvaa suojausta. Kumpaakin x-akselin suuntaan kulkevaa kelkkaa ohjataan omilla servomootoreilla, joten virheellisessä manipulaattorin käyttötilanteessa on mahdollista kelkkojen jumiutuminen. Mekaaninen suojaus tarvitaan, koska pelkkä servomootorien pysäytys ei välttämättä pysäytä kelkkojen liikettä välittömästi. Kelkkojen välisen etäisyyden kasvu virhetilanteessa aiheuttaa jumiutumisen, joka saattaa aiheuttaa mekaanisia vaurioita laitteistolle.

### **4.1 Automaatioon perustuva suojaus**

Tässä opinnäytetyössä automaatioon perustuvalla suojauksella tarkoitetaan suojausta, joka estää manipulaattorin liikkumisen virhetilanteessa pysäyttämällä laitteiston. Ohjelmoitu logiikka saa anturitiedon, jonka avulla logiikka päättää manipulaattorin pysäytyksestä. Anturitieto saadaan käytössä olevilta taajuusmuuttajiin kytketyiltä pyöriviltä enkoodereilta. Kelkkojen ollessa virheellisessä asemassa ennen käynnistystä, käynnistyminen tulee estää. Esimerkiksi pysäytys voidaan toteuttaa x-akselin kelkkojen paikkatiedon perusteella. Kummankin x-suuntaisen akselin paikkatietojen ollessa selvillä niitä voidaan verrata keskenään pysäytyksen toteuttamiseksi ja luoda ohjelma tähän tarkoitukseen.

Pysäytyksessä suunnittelussa tulee ottaa huomioon, että x-suuntaan liikkuvat kelkat eivät pysähdy kokonaan vain servomootorit sammuttamalla. Pysäytys täytyy toteuttaa käyttämällä servomootoria pysäytysliikkeen apuna. Huomioon täytyy ottaa myös suuresta kelkan vauhdista johtuva kelkan aseman ylitys. Ylitys johtuu yleensä liian suuresta paikkasäädön vahvistuksesta, joten kelkkojen ollessa liikkeessä pysäytys täytyy säätää tapahtuvaksi sopivaksi asetetuilla arvoilla. Kelkkojen ollessa eri asemassa ennen laitteiston liikkeen päällekytkentää voidaan pysäytys toteuttaa heti. Jos kelkat ovat vain vähän eri asemassa, voidaan korjausliike toteuttaa liikuttamalla vain toista kelkkaa saman kelkkojen välisen aseman saavuttamiseksi.

## 4.2 Mekaaninen suojaus

Mekaanisen suojauksen lähtökohtana on mahdollistaa x-suuntaan liikkuvien kelkkojen välisen etäisyyden kasvu. Mahdollisuuksia mekaanisen suojauksen toteutukseen on monia, ja todellisuudessa suojauksen toimivuus saadaan selville vasta testivaiheessa. Lähtökohtana on pidettävä manipulaattorin mahdollinen käyttö tutkimuskäytössä ja mahdollisimman yksinkertainen rakenne. Tutkimuskäyttö säätötekniikassa vaatii tarkkoja toleransseja, ja laitteistosta on pyrittävä tekemään mahdollisimman jäykkä. Akselien ylimääräinen liikkuminen aiheuttaa välittömästi ylimääräisen muuttujan laitteistolle, jolloin tarkkojen säätötekniisten tutkimusten tekemisestä tulee mahdotonta.

Mekaaninen suojaus voidaan toteuttaa esimerkiksi nivelöinnin avulla. Molempiin x-akselin kelkkaan suunnitellaan nivelointi, joka mahdollistaa välimatkan kasvun virhetilanteessa. Nivelöintinä voi toimia laakerointi, sarana, liukutappi tai pallonivel. Nivelöinnissä voi käyttää myös edellä mainittujen yhdistelmiä.

Suojaus on myös mahdollista tehdä käyttämällä mekaanista ratkaisua, jossa nivelointi on y-akselissa. Y-akselin kiinnitys x-akseliin voidaan tehdä riittävän joustavaksi. Ratkaisu ei saa kuitenkaan olla niin joustava, että manipulaattorin normaalissa käytössä siitä koituisi haittaa.

Kaikkia variaatioita mekaanisesta suojauksesta ei pystytä valmistamaan, joten suunnittelun apuna on hyvä käyttää vaatimusprofiileita. Vaatimusprofiilit ottavat huomioon suunnittelun lähtökohtana olevia seikkoja, ja pisteytyksen perusteella sopivin ratkaisu selviää. (Taulukko 4)

Vaatimukset	Rakenteen jäykkyys	Valmistus	Suunnittelu	Yht.
Painoarvo (1-5)	4	3	2	
Toteutustapa				
Laakeri + Liukutappi (X,X)	3	4	4	32
Laakeri + Sarana (X,Y)	4	3	2	29
Laakeri + Liukutappi (Y,X)	3	2	3	24
Liukutappi + Liukutappi(X,X)	2	4	5	30

Taulukko 4. Vaatimusprofiili nivelöinnistä (taulukko: Ville Lindh)

Taulukosta 4 nivelöinnin valitsemiseksi saadut tulokset osoittavat parhaaksi sovellukseksi laakerin ja liukutapin yhdistelmän, jotka on suunniteltu x-akseliin. Nivelöinnin vaatimusprofiilissa otettiin huomioon rakenteen jäykkyys, valmistus ja suunnittelu. Tärkein vaatimus eli rakenteen jäykkyys sai painoarvoksi asteikolla 1–5 painoarvon 4. Vaikka laakerin ja liukutapin yhdistelmä x-akseleihin toteutettuina ei ollut paras vaihtoehto rakenteen jäykkyyttä mietittäessä, sai se vaatimusprofiilin kokonaisarviossa parhaat yhteenlasketut pisteet.

## **5 Taajuusmuuttajien parametrit ja logiikan ohjelmointi**

Tässä luvussa esitellään, miten taajuusmuuttajien parametrit asetetaan ja selitetään parametrien asetukseen liittyvien asioiden merkityksiä. Luku käsittelee myös TwinCat3-ohjelmiston käyttöä sekä ohjelmien tekoa ja lopullista ohjelmaa.

### **5.1 Taajuusmuuttajan parametrit**

Ennen ohjelmoinnin aloitusta on syytä asettaa tarvittavat parametrit taajuusmuuttajalle. Tässä opinnäytetyössä käytettävien ABB:n ACSM1-taajuusmuuttajien parametrit voidaan asettaa ABB:n omalla DriveStudio-ohjelmalla. Tärkeimmät parametrit ovat kommunikaatioprofiilin valinta, enkooderin parametrit ja moottorin parametrit. Parametrit täytyy asettaa taajuusmuuttajalle, koska ilman parametrien asettamista esimerkiksi kommunikaatio toimisi virheellisesti tai ei ollenkaan. Moottorin parametrien oikeat arvot ovat myös erittäin tärkeitä, ilman moottorin parametrien asetuksia olisi suuri vaara moottorin ylikuormittamiselle. ACSM1 taajuusmuuttaja tekee näiden perusarvojen asettamisen jälkeen niin kutsutun Identifiointiajon eli ajo-ohjelman, jolla selvitetään esimerkiksi moottorin säädössä tarvittavat induktanssit ja resistanssit. ABB ACSM1 taajuusmuuttajan käyttöönoton kahdeksan pääkohtaa on esitetty taulukossa 5.

Vaihe	Selostus
1	Moottoridatan asettaminen ja moottorin identifiointiajo taajuusmuuttajan avulla.
2	Enkooderin tai resolverin parametrien asetus.
3	Hätäpysäytys ja vääntömomentin katkaisupiirien testaus, jos käytössä.
4	Jännitesäädön parametrien asetus.
5	Moottorin ajo-parametrien asetus.
6	Moottorin yllämpösuojan parametrien asetus.
7	Moottorin pyörimisnopeuden säädön virittäminen.
8	Kenttäväyläprofiilin valitseminen (CIA-402, ABB Drives ja Transparent) ja näihin liittyvien parametrien asetus.

Taulukko 5. ABB:n ACSM1-taajuusmuuttajan parametrien asetusjärjestys (18.) (taulukko: Ville Lindh)

Taulukossa 5 on esitetty ABB:n ACSM1-taajuusmuuttajan parametrien asetusjärjestys kahdeksassa eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa asetetaan moottorin parametrit, kuten käyttöjännite, taajuus ja moottorin vääntömomentti. Moottorin identifiointiajo suoritetaan myös vaiheessa yksi ja sen tarkoitus on tunnistaa moottorin parametreja, kuten staattorin resistanssia. Toisessa vaiheessa taajuusmuuttajalle asetetaan parametrit, jotka kertovat, minkä tyyppinen enkooderi tai resolveri on käytössä. Hätäpysäytys ja vääntömomentin katkaisupiirien testaus suoritetaan vaiheessa kolme. Neljännen vaiheen jännitesäädöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa taajuusmuuttajalle tuleva jännite laskee ja taajuusmuuttaja yrittää pitää moottorille menevää jännitettä mahdollisimman suurena, tiputtamalla moottorin vääntömomenttia. Vaiheessa viisi moottorille asetetaan suojusparametrit, jotka määrittävät erilaisia turvalliselle toiminnalle välttämättömiä rajoja. Nämä rajat ovat pääasiassa arvoja, joita ei normaalissa käyttötilanteessa saavuteta. Esimerkiksi jos moottorilta häviää kuormitus moottorin ollessa vääntömomenttiohjauksessa, moottori ryntää. Pyörimisnopeuden saavuttaessa suojarajaksi asetetun maksimipyörimisnopeuden muuttaja rajoittaa väännön siten, että moottori jää pyörimään tälle nopeudelle. Kuudennessa vaiheessa moottorille asetetaan suurin lämpötila-arvo, jonka ylittyessä toiminta pysäytetään. Seitsemännessä vaiheessa viritetään pyörimisnopeussäädön ja usein myös vääntösäädön parametrit. Tätä viritystä jatketaan usein myöhemmin, jotta paikkasäädön suorituskyky saadaan toivotuksi. Viimeisessä eli kahdeksannessa vaiheessa valitaan käytettävä kenttäprofiili. (19.)

## 5.2 TwinCat3

Twincat3-ohjelman käytön aloitus, ensimmäiseksi luodaan haluttu tehtävä (task) ja määrittää tehtävälle suoritusväli. Tehtävä voi olla esimerkiksi moottorin pyörittäminen. Käytettäessä Beckhoff C6920-0050 neliydinprosessorilla varustettu logiikka, voidaan tehtävä suorittaa minimissään 50 mikrosekunnin välein kolmella eri prosessorin ytimellä. Ohjelmaa tehdessä vähintään yksi ytimistä pitää jättää Windows-käyttöjärjestelmälle. Logiikalla voidaan suorittaa myös useita eri tehtäviä samanaikaisesti eri ytimien avulla. Jos useita tehtäviä ajetaan samalla ytimellä, keskeyttää korkeamman prioriteetin tehtävä matalamman suorituksen, tullessaan suoritusvuoroon.

Ohjelman täytyy myös tietää mitä laitteita on logiikan käytössä, kuten I/O piirit ja tiedonsiirron laitteet. Laitteet voidaan hakea, joko manuaalisesta luettelosta tai skannaamalla. Skannaamalla logiikka etsii kytketyt laitteet itse kenttäväylästä.

Ohjelman kirjoituksen ensimmäisessä vaiheessa on hyvä luoda globaalit muuttujat. Globaalit muuttujat ovat muuttujia, joita voi käyttää koko ohjelmassa. Muuttujia voi määrittää myös lokaaleiksi, jolloin ne ovat vain tietyn ohjelmaosion käytävissä. Muuttujien kirjoituksen jälkeen aloitetaan itse ohjelman kirjoitus, halutulla ohjelmointikielellä.

Logiikka ja laitteet tarvitsevat yhteiset ajurit, laitteiden välisen kommunikaation onnistumiseksi. Esimerkiksi tässä työssä käytetyt taajuusmuuttajat tarvitsevat EtherCAT-adapterit, jotka siirtävät tietoa muuttajan sisäisten parametrien ja kenttäväylän välillä. Tämän jälkeen tulee määrittää mitä arvoja halutaan lähettää laitteelle ja saada laitteelta, eli määritetään käytettävät käsiteltävät ohjelmoitavat dataobjektit (PDO). Käsiteltäviä dataobjekteja käytettäessä tulee muistaa datan kulkusuunta, joita merkitään Rx- ja Tx-merkinnöillä. Rx-merkintä tarkoittaa datan siirtämistä isäntälaitteelta hallinnoitavaan laitteeseen ja Tx-merkintä tarkoittaa hallinnoitavalta laitteelta isäntälaitteelle. Taajuusmuuttajaan lisättävän FECA-01-adapterin muisti sisältää valmiita PDO karttoja (map) kuusi kappaletta kumpaankin suuntaan. Yhteen karttaan mahtuu useita eri objekteja. Taulukossa 6 esitetty laitteen taajuusmuuttajan muistissa olevat Rx-suuntaiset dataobjektit ja taulukossa 7 Tx-suuntaiset dataobjektit. (20.)

Rx PDO	Mapping object	Object index	Object name
1	1600	6040 -	Controlword
2	1601	6040 607A	Controlword Target position
3	1602	6040 60FF	Controlword Target velocity
4	1603	6040 6071	Controlword Target torque
6	1605	6040 6042	Controlword vI target velocity
21 <sup>1)</sup>	1614	2001 2002 2003	Transparent CW Transparent REF1 Transparent REF2

Taulukko 6. RX PDO "Master to Slave" (20.)

Tx PDO	Mapping object	Object index	Object name
1	1A00	6041 -	Statusword
2	1A01	6041 6064	Statusword Position actual value
3	1A02	6041 6064	Statusword Position actual value
4	1A03	6041 6064 6077	Statusword Position actual value Torque actual value
6	1A05	6041 6044	Statusword vI velocity actual value
21 <sup>1)</sup>	1A14	2004 2005 2006	Transparent SW Transparent ACT1 Transparent ACT2

Taulukko 7. Tx PDO "Slave to Master" (20.)

Taulukoissa 6 ja 7 näkyvän "Object name" objektin nimi kohdan alapuolella näkyvät objektit ovat valmiina adapterin muistissa, mutta niitä voidaan myös vaihtaa

toisiin objekteihin. Objektien vaihtamista rajoittaa vain kartalle varattu muistin määrä. Esimerkiksi voidaan valita taulukosta 7 "Tx PDO map 4", joka sisältää tilasanan (statusword), paikan todellisen arvon ja väännön todellisen arvon. Väännön todellisen arvon tilalle voidaan valita esimerkiksi nopeuden todellinen arvo. (20.)

Taajuusmuuttajaa ohjataan ohjaus-sanalla (controlword). Se tulee siis lähettää aina, kun muuttajan toimintatilaa halutaan muuttaa. Controlword-objekti siirtää esimerkiksi tiedot laitteen käynnistämiseksi "laite on valmis käynnistettäväksi" ja "käynnistys käskyn". Ohjaus-sana voi olla 16 tai 32-bittinen, taulukossa 8 esitettyyn CiA-402 kommunikaatioprofiiliin perustuvan 16-bittisen ohjaus-sanalla määritelmät.

Bit	Description
0	Switch on
1	Enable voltage
2	Quick stop
3	Enable operation
4...6	Operation mode specific
7	Fault reset
8	Halt
9	Operation mode specific
10	Reserved
11...15	Drive specific

Taulukko 8. CiA-402-kommunikaatioprofiilin ohjaus-sanalla bittien määritelmät (20.)

Esimerkkinä taulukosta 8 logiikka lähettää taajuusmuuttajalle 16-bittisen käskyn. Ensimmäinen on nolla bitti ja jos se saa arvon yksi laite kytkeytyy päälle "Switch on". Toinen bitti on bitti yksi ja sen saadessa arvon yksi laitteelle sallitaan jännite "Enable voltage". (20.)

Taajuusmuuttajalta tulevia arvoja, kuten tilasana, todellinen sijainti sekä liikkeen nopeus. Tilasana toimii kuten taajuusmuuttajalle lähetettävä ohjaus-sana. Taulukossa 9 esitetty CiA-402-kommunikaatioprofiilin tilasana "statusword" bittien määritelmä.

Bit	Name	Value	Description
0	Ready to switch on	0	Not ready to switch on
		1	Ready to switch on
1	Switched on	0	Not switched on
		1	Switched on
2	Operation enabled	0	Operation not enabled
		1	Operation enabled
3	Fault	0	No fault
		1	Fault
4	Voltage enabled	0	No high voltage applied to the drive
		1	High voltage applied to the drive
5	Quick stop	0	Quick stop is active
		1	Normal operation
6	Switch on disabled	0	Switch on enabled
		1	Switch on disabled
7	Warning	0	No warning/alarms
		1	Warning/Alarm is active
8	Drive-specific		
9	Remote	0	Controlword is not processed
		1	Controlword is processed
10	Operation mode specific	See the table describing operation mode specific bits on page 76.	
11	Internal limit active	0	Internal limit not active
		1	Internal limit active
12...13	Operation mode specific	See the table describing operation mode specific bits on page 76.	
14...15	Drive specific		

Taulukko 9. CiA-402-kommunikaatioprofiilin tilasanan bittien määritelmät (20.)

Taulukossa 9 esitetty tilasananbittien määritelmä, joka eroaa taulukon 8 ohjaus-sana bittien määritelmästä, tilasanan antaen aina tiedon, oli tulevan bitin arvo nolla tai yksi. Esimerkiksi bitti numero viisi, hätäpysäytys "Quick stop" kertoo arvon ollessa yksi laitteen olevan normaalissa tilassa ja arvolla nolla laitteen olevan hätäpysäytystilassa. (20.)

CiA-402 kenttäväyläprofiilin sijaan voidaan valita ABB Drives kenttäväyläprofiili, jonka havaittiin soveltuvan paremmin tässä opinnäytetyöhön käytettävien ABB ACSM1 taajuusmuuttajien kanssa. Periaate CiA-402 profiilin ja ABB Drives profiilin välillä on sama, mutta ohjaus-sana ja tilasana komennoissa biteillä on eri merkitykset. Kenttäväyläprofiili määritetään taajuusmuuttajan omista parametreista kappaleen 5.1 esittämällä tavalla. ABB Drives ja CiA-402 profiilien lisäksi



ABB:n ACSM1-taajuusmuuttajalla on mahdollista käyttää transparent kommunikatioprofiilia suomennettuna läpinäkyvää, jolloin taajuusmuuttaja ei muuta lähetettäviä arvoja vaan siirtää ne raakadatana. (20.)

Kaikki edellä mainituista objekteista ohjaus-sana, tilasana yms. täytyy linkittää TwinCat3-ohjelmaan tehtyihin muuttujiin toimiakseen. Näin muuttuja ilmoittaa laitteelta tulevat arvot tai laitteelle voidaan lähettää käskyjä. Ohjelmassa käytetään tehtyjä muuttujia ja muuttujien avulla voidaan ohjelmaan luoda halutut toimenpiteet. Kaikki I/O-piirissä olevat tulot ja lähdöt täytyy myös linkittää muuttujiin, näin funktiolohkoissa voidaan käyttää suoraan kirjoitettua muuttujaa useissa eri lohkoissa.

Ohjelman tiedonkulkua logiikalta taajuusmuuttajalle voidaan testata, kirjoittamalla muuttujille arvoja ja katsoa havaitseeko käytettävä laite signaalit. Tätä on syytä käyttää ennen järjestelmän liikkuvien osien kytkemistä päälle.

Tässä opinnäytetyössä käytettävään Beckhoffin logiikkaan ei tarvitse ladata valmistettua ohjelmaa erikseen, koska se kirjoitetaan suoraan logiikan muistiin. Ohjelmoitua ohjelmaa ajetaan kuitenkin TwinCat3-runtime ohjelmalla, kun taas ohjelman valmistuksessa käytetään TwinCat3-engineering ohjelmaa.

## **5.2 Ohjelman suunnittelu**

Ohjelman suunnittelussa tulee ottaa huomioon, laitteiston käyttö opetuksessa ja tutkimuksessa. Opetuksen kannalta on tärkeää perusohjelman selkeys ja mahdollisimman oikeaoppinen ja yksinkertainen rakenne. Tutkimuksellisessa mielessä ohjelman suunnittelussa tulee ottaa huomioon ohjelman läpinäkyvyys. Läpinäkyvyydellä tarkoitetaan tässä yhteydessä, tietoa siitä mitä ohjelman sisällä tapahtuu. Valmiita funktiolohkoja käytettäessä niiden toimintaperiaate saattaa olla mahdoton selvittää. Tutkimuksessa tällaisissa tilanteissa saattaa aiheutua virheellisiä oletuksia ja vääriä lopputuloksia.

Ohjelman suunnittelussa on hyvä myös muistaa ohjelman tarkoitus. Ohjelman tarkoituksena on liikuttaa lineaarisia akseleita pitkin kulkevia kelkkoja. Yhden-

suuntaisesti kulkevien kelkkojen tulee liikkua samassa asemassa toisiinsa nähden. Ohjelman on tarkoitus myös estää liikkuminen eri asemassa, jos kelkat eivät ole samassa asemassa akselilla.

### 5.3 Ohjelmointi

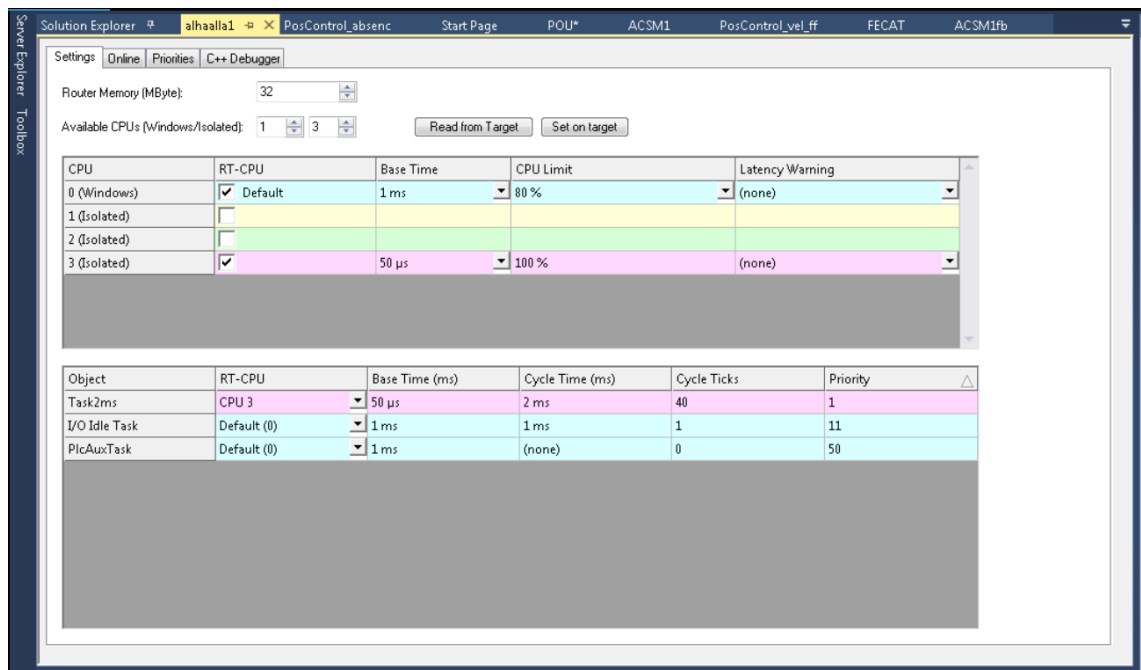
Esimerkkinä yksinkertainen liikkeen ohjelmointi NC/PTP (Numerical control/Point to point) menetelmällä. Point to point-menetelmä tarkoittaa, että liike tapahtuu pisteestä pisteeseen. Liikkeen toteuttamiseksi käytetään valmiita MC-funktiolohkoja, joilla liike suoritetaan.

Liikkeen ohjauksen ohjelmointi aloitetaan valitsemalla TwinCat3-ohjelmasta NC/PTP-konfiguraatio, joka luo NC-tehtävän ohjelmaan. Tehtävälle tulee määrittää aika-arvo, jolla tehtävää suoritetaan eli esim. 50 mikrosekunnin välein. Tätä tehtävää tulee suorittaa nopeammin kuin PLC-tehtävää, koska NC-tehtävä hoitaa kaiken kommunikation servokäyttöille.

PLC-tehtävä on valmiina, mutta se täytyy linkittää muuttujaan. Muuttujana käytetään TwinCat: Tc2\_MC2-kirjastosta löytyvää datatyyppiä (Axis1 : AXIS\_REF). "AXIS\_REF" toimii numeerisen ohjauksen ja PLC:n yhteytenä ja toimii MC-funktiolohkoissa akselin referenssinä. (21.)

MC-funktiolohkoja varten täytyy määrittellä asetusarvoille oma datatyyppi "POS\_REF", jonka rakenne sisältää, paikan, nopeuden, kiihtyvyyden, hidastuvuuden ja väännön suureet. Rakenteen sisältämiin suureisiin asetetaan halutut arvot. (22.)

Tässä opinnäytetyössä huomattiin paremmaksi vaihtoehdoksi käyttää valmiiden MC-funktiolohkojen sijasta, ST-ohjelmointikielellä kirjoitettua ohjelmaa. TwinCat3-ohjelmiston ensimmäisessä vaiheessa aloitetaan projekti ja määritetään tehtävä. Tehtävälle annetaan aika, kuinka usein se suoritetaan (Kuva 13).



Kuva 13. Tehtävän suoritus-syklin määrittäminen (kuva: Ville Lindh)

Tehtävän luomisen ja suoritus-syklin määrittämisen jälkeen skannataan logiikkaan yhteydessä olevat laitteet ja liitetään ne logiikkaan automaattisen skannaustyökalun avulla.

Skannauksen jälkeen tehdään globaalit muuttujat, jotka löytyvät liitteestä 2. Liitteessä 2 esitetty valmistettu yksinkertainen liikeohjelma. Globaalien muuttujien jälkeen halutut logiikan objektit etsitään TwinCat3-ohjelman listasta, joka määrittyy käytettävän kenttäväyläprofiilin mukaan. Tässä opinnäytetyössä käytettyjä dataobjekteja esimerkiksi ABB ref1 objektiin voidaan nyt linkittää globaalien muuttujien listasta haluttu muuttuja. Muuttuja on tässä tapauksessa nopeuden arvo, jolla liike halutaan suorittaa.

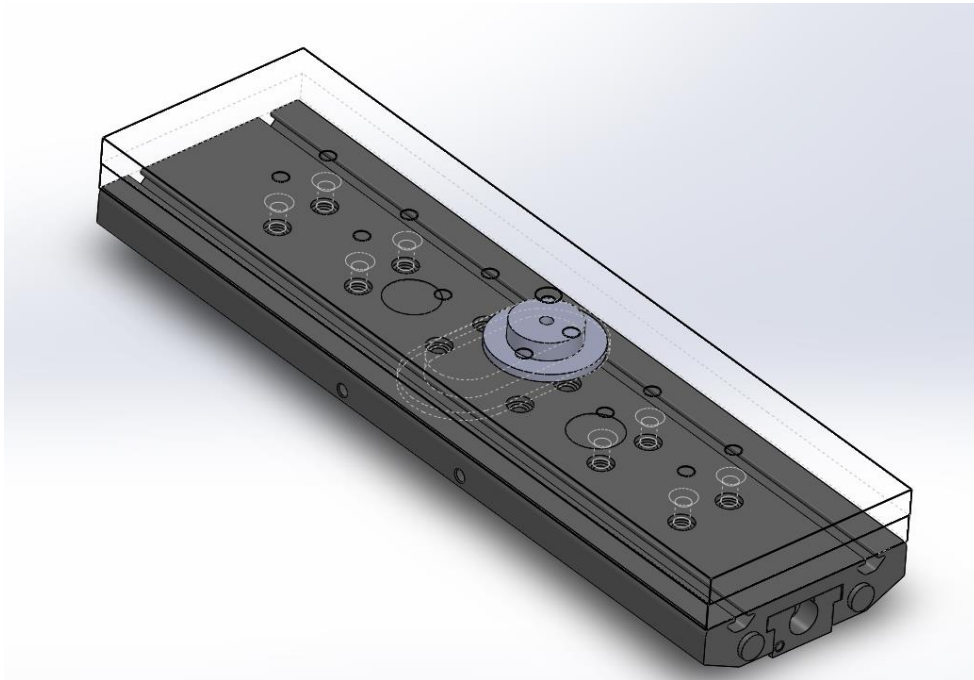
Ohjelman yksinkertaisen säätimen toteutus liitteessä 2. Säätimen tehtävä on laskea paikan tuloarvon ja referenssiarvon välistä erotusta ja suorittaa liike referenssiarvon määrittämään asemaan.

## 6 Manipulaattorin suojauksen mekaaninen suunnittelu

Mekaanisen suunnittelun lähtökohtana, pidetään luvussa 4.2 esitettyä vaatimusprofiilin antamaa laakerin ja liukutapin yhdistelmää. Liikkuvien pintojen väliin asetetaan teknisestä muovista rakenteellisia osia, joilla pyritään vähentämään tarpeetonta kitkaa pintojen välillä ja vältetään turhilta kulumisilta.

### 6.1 Nivelöinti

X-akselin suuntaan liikkuvaan taajuusmuuttajan X1 ajamaan kelkkaan kiinnitetään liukutappi, johon y-akselin kiinnityslevy kiinnitetään urakuulalaakerin avulla. Kelkkaan ja y-akseliin kiinnitetään tekniset muovilevyt kitkan vähentämiseksi. Havainnollistava kuva liukutapista luistin sisällä (Kuva 14).



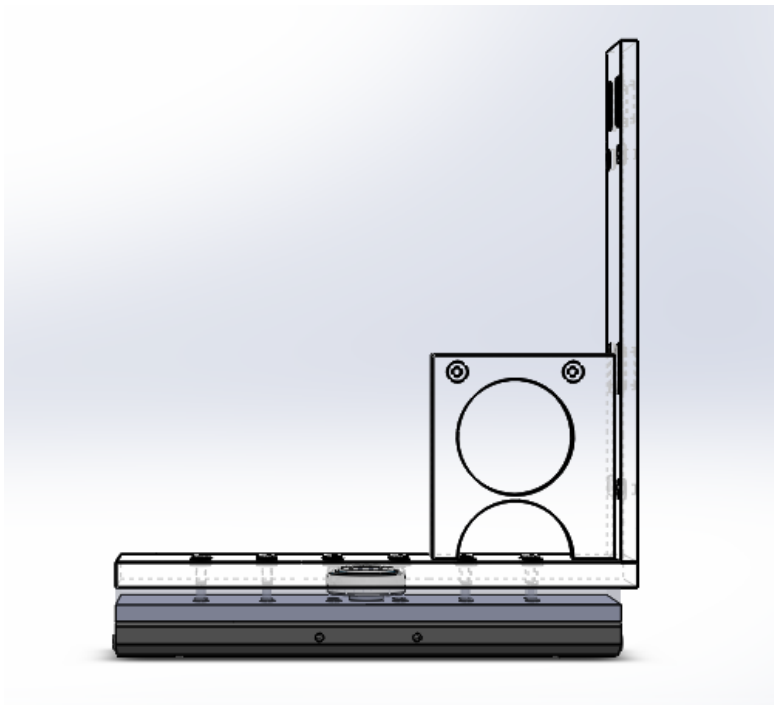
Kuva 14. Liukutappi ja luisti (kuva: Ville Lindh)

Kuvassa 14 esitettynä liukutappi ja sen luisti. Liukutappi kiinnitetään y-akselin kiinnityslevyyn, jonka päälle y-akselin kannatin ruuvataan. Kelkan päällä oleva levy on valmistettu PVC-muovista.

Toisen x-akselin nivelöinti toteutetaan laakerin avulla. Laakeria valittaessa tulee huomioida se, että laitteen toimiessa oikein laakerin tulisi pysyä mahdollisimman

liikkumattomana ja välyksen tulisi olla mahdollisimman pieni. Laitteistolla ei liikutella suuria kuormia, joten laakerin ei tarvitse kestää suuria voimia. Laakerin tulisi olla huoltovapaa. Laakerin ei ole tarkoitus pyöriä muulloin kuin virhetilanteessa.

Laakeriksi valikoitui urakuulalaakeri SKF 6204-2RSH, koska laakeriin kohdistuu vain vähäisiä voimia ja pääsääntöisesti vain x-akselin suuntaan. Laakeri ei tarvitse myöskään huoltoa tai rasvausta. Kuvassa 15 on havainnollistettu laakerin ja kelkan kokoonpano.

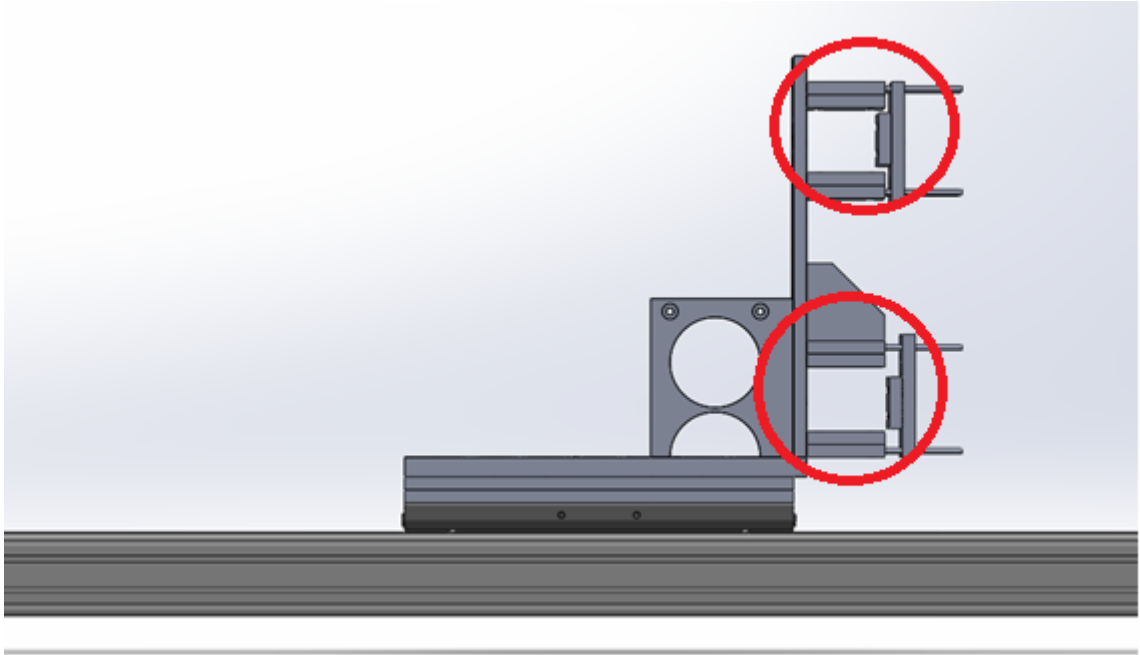


Kuva 15. Laakerointi (kuva: Ville Lindh)

Laakeri suljetaan kahden levyn väliin ja näin saadaan muodostettua laakeripesä. Laakeripesän alemman puoleinen levy valmistetaan PVC-muovista.

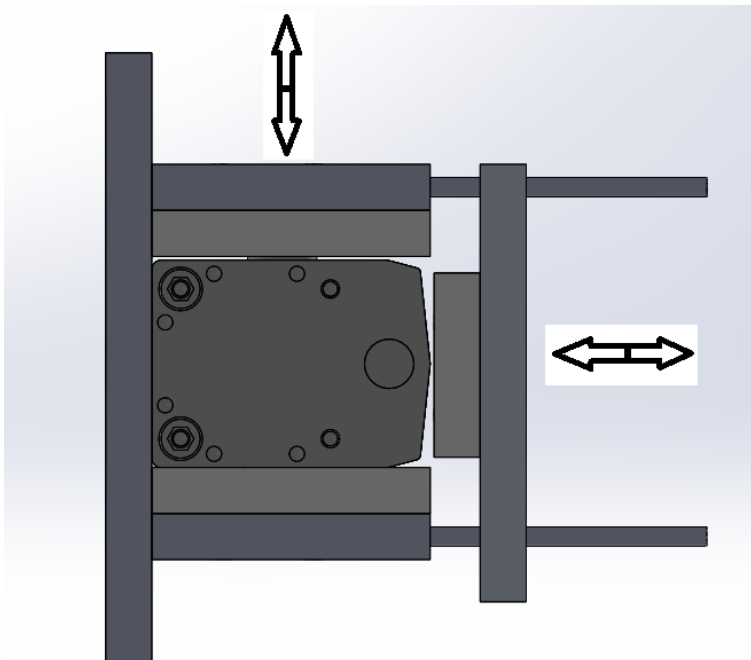
## 6.2 Puristin

Kelkkoihin lisättyjen nivelöntien lisäksi y-akselin ja y-akselin kiinnityslevyn väliin tehdään puristin, joka puristaa y-akselin profiiliputket kiinni kiinnityslevyyn (Kuva10). Puristin tulee samalle puolelle, jolla laakerointi on. Tämä ratkaisu mahdollistaa virhetilanteessa kelkkojen välimatkan kasvamisen pidemmäksi ilman jumittumista ja toimii viimeisenä mekaanisena turvana laitteistolle. Profiilin ja puristinosan välille kiinnitetään PVC-muovista valmistetut liukupalat.



Kuva 16. Puristin (kuva: Ville Lindh)

Kuvassa 16 on esitetty punaisilla ympyröillä puristimien kohdat, joihin y-akselin profiilit kiinnitetään. Y-akselin profiilit puristetaan y-akselin kiinnityslevyä vasten. Puristimen puristavien osien liikkumasuunnat on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Puristimen toiminta (kuva: Ville Lindh)

Kuvassa 17 esitettyjen puristuskohtien lisäksi pystysuunnassa olevaa muovipalaa voidaan siirtää sopivaan kohtaan puristinosassa. Puristimen säätäminen on

tehtävä kokeellisesti puristimen oikean tiukkuuden saavuttamiseksi. Y-akselien profiilien tippuminen estetään profiilien takana kulkevien urien ja y-akselin kiinnityslevyn reikien kautta. Reikiin asetetaan ruuvit, jotka estävät tippumisen. Nämä reiät ovat entisen kokoonpanon kiinnitysreiät, joita käytetään hyväksi uudessa kokoonpanossa.

### **6.3 Valmistus**

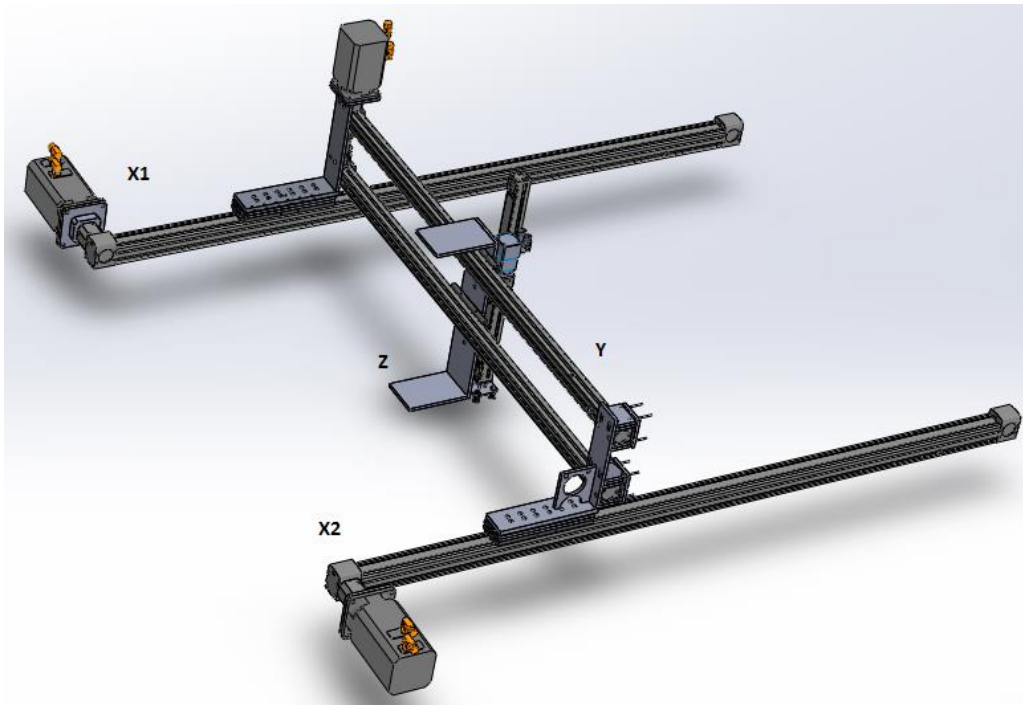
Nivelöinnin osien valmistuksessa tulee ottaa huomioon laitteelta vaadittava tarkkuus tutkimuskäytössä. Osat leikataan ja koneistetaan liitteenä olevien mittapiirrosten mukaan (Liite 1). Nivelöintien valmistuksessa käytetään osittain jo laitteistossa olevia osia. Muokattavia osia ovat, esimerkiksi kelkkojen ja y-akselin kannattimet.

## **7 Laitteiston testaus**

Tässä kappaleessa esitellään saavutettuja parannuksia ja laitteiston toimivuutta. Manipulaattoriin suunniteltiin nivelöinnin mekaaniset osat ja tarkastelu toimivuuden kannalta tehtiin 3D-mallinnuksen perusteella.

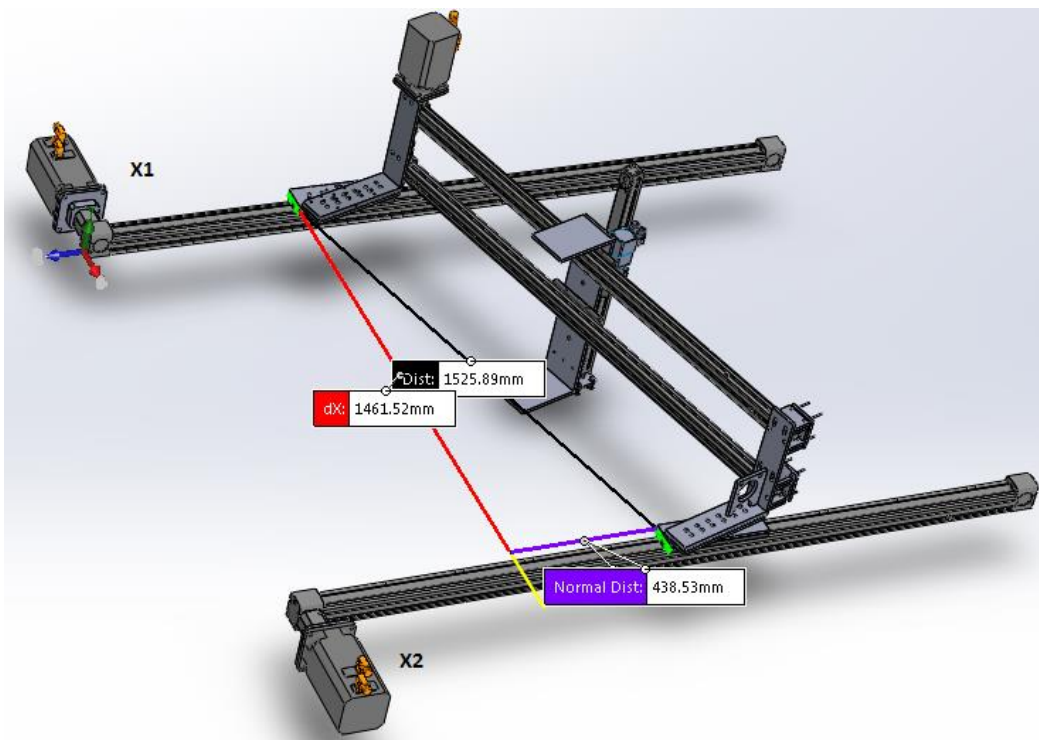
### **7.1 Mekaanisen toimivuuden tarkastelu**

Kuvassa 18 on esitetty manipulaattori normaalissa tilanteessa, kun servomootorit liikuttavat kumpaakin x-suuntaista kelkkaa samanaikaisesti samassa asemassa.



Kuva 18. Manipulaattorin Y-akseli normaalissa asennossa (kuva: Ville Lindh)

Kuvissa 18 ja 19 on merkittynä X1-kelkassa liikutappi kokoonpano ja X2-kelkassa laakerin ja puristimen kokoonpano. Kuvassa 19 esitellään mahdollisen virhetilanteen skenaariota.



Kuva 19. Virhetilanne (kuva: Ville Lindh)

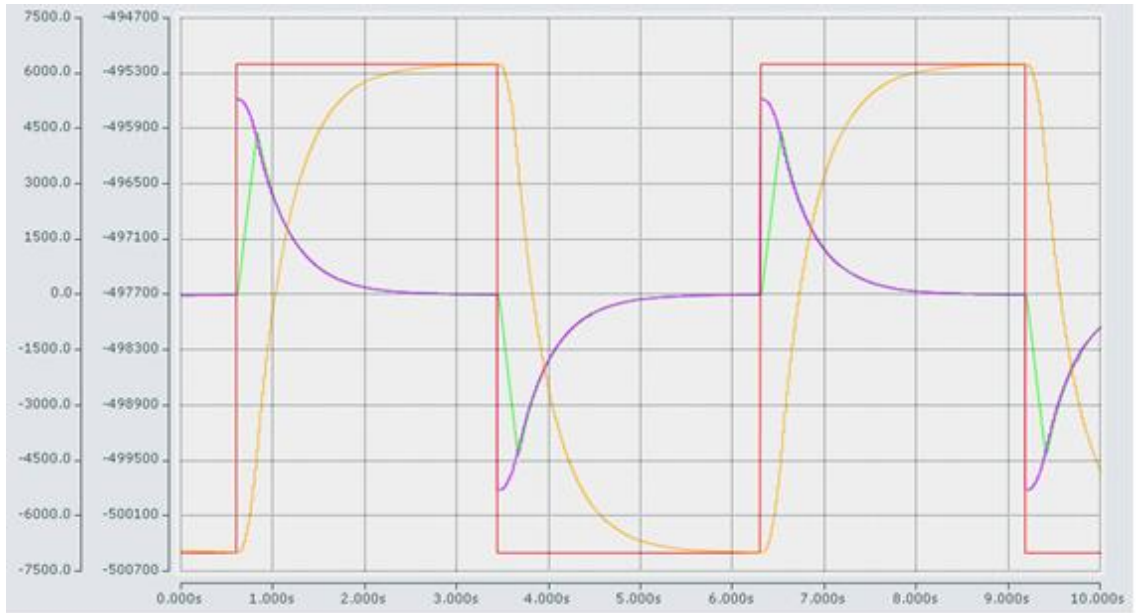


Kuvassa 19 esitetyssä virhetilanteessa oleva "Normal Dist" ilmoittaa suurimman mahdollisen poikkeaman kelkkojen välillä. Poikkeaman suuruutta 438,5mm voidaan pitää hyvänä suuruutena, joka antaa sekä ohjelmalle aikaa reagoida tai käsin virtojen kytkemiselle pois servomootoreiden käytöiltä.

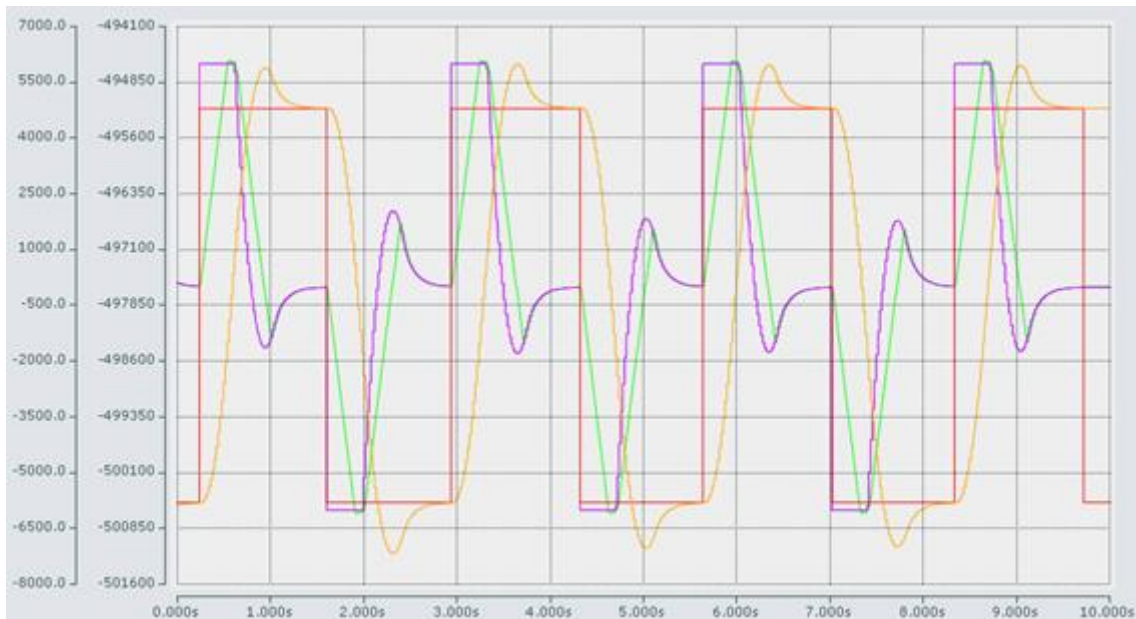
## 7.2 Ohjelman toimivuus

Ohjelman toimivuutta pystyttiin testaamaan manipulaattorissa ja laite saatiin toimintakuntoon. Mittaukset tallennettiin TwinCat3:n scope-työkalulla. Ohjelman testauksessa keskityttiin säätimen toiminnan testaamiseen ja yksinkertaisten liikeohjeiden toteutumista x-suuntaisten kelkkojen ajossa. Kuvissa 15 ja 16 on testattu paikkasäätimen vahvistuksen  $K_p$  vaikutusta edestakaisessa liikkeessä. Liikkeen pituus on vakio kaikissa testeissä. Vahvistus vaikuttaa suoraan servovahvistimelle annettavan nopeusreferenssin suuruuteen paikkaeron suhteen. Paikkaero on referenssiarvon ja mitatun paikan erotus. Paikkasäädön periaate on esitetty kappaleessa 3.2.2. Paikkasäätimen toteuttavan funktiolohkon koodi on esitetty liitteessä 2. Kuvissa 20 ja 21 olevat värityksien merkitykset:

- Keltainen, Todellinen paikka.
- Punainen, Paikan referenssiarvo.
- Vihreä, Todellinen nopeus.
- Violetti, Nopeuden referenssiarvo.



Kuva 20. Paikkasäädön käyttäytyminen, kun paikkasäädön vahvistus on  $K_p=1,0$  (kuva: Ville Lindh)



Kuva 21. Paikkasäädön käyttäytyminen, kun paikkasäädön vahvistus on  $K_p=3,0$  (kuva: Ville Lindh)

Paikkasäätimen vahvistuksen  $K_p$ -arvon ollessa 1,0 nopeusohje jää pieneksi ja liike toteutuu noin kolmessa sekunnissa. Paikoituksessa ei esiinny ylitystä. Vahvistuksen ollessa  $K_p = 3,0$  liike toteutuu vähän yli sekunnissa, mutta paikoituksessa esiintyy ylitystä eli kelkka ajaa yli referenssipaikan jo vajaassa sekunnissa ja palaa sitten referenssiin, kuten kuvasta 21 havaitaan.

Tulosten perusteella voidaan todeta  $K_p$ -arvon kasvattamisen nopeuttavan liikettä, mutta sen kasvattamisen myös aiheuttavan ylimääräistä liikettä referenssipaikan yli.

## 8 Yhteenveto ja pohdinta

Tämän opinnäytetyön tuloksena saatiin parannettua manipulaattorin ominaisuuksia opetus- ja tutkimuskäytössä. Mekaanisen suunnittelun osalta opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia ja valmistaa mittapiirroksat y-akselin nivelöintiä varten. Mittapiirroksat valmistuivat halutulla tavalla, ja suunnitellut osat pystytään nyt valmistamaan mittapiirrosten perusteella. Automaation osalta laitteisto ja ohjelmisto saatiin päivitettyä uudempaan versioon ja luotua paikkasäätöohjelma kelkkojen liikuttamista varten suunnitellun mukaisesti. Ohjelman osalta alkuperäinen tarkoitus oli paikkasäätöohjelman lisäksi kyetä liikuttamaan kumpaakin x-akselin kelkkaa synkronoidusti ja valmistaa suojaava pysäytystoiminto kelkkojen ollessa eri asemassa toisiinsa nähden. Edellä mainittujen automaatiotoimintojen käyttöönotto vaatii ohjelmoinnin osalta vielä työtä.

Opinnäytetyön rajauksessa arvioitiin laitteiston ohjelman valmistaminen huomattavasti nopeammaksi toimenpiteeksi sekä laitteiston oikeiden parametrien löytämisen ei osattu olettaa olevan niin suuritöinen. Ohjelma oli tarkoitus valmistaa valmiiden ohjelmien pohjalta, mutta se havaittiin mahdottomaksi ohjelmaversioiden muutoksen takia. Taajuusmuuttajien käyttöönotto uuden teollisuustietokoneen kanssa tuotti ongelmia ennen oikeiden taajuusmuuttajien parametriasetusten löytymistä. Ohjelmien pohjana oli alun perin tarkoitus käyttää vanhoja edellisen TwinCat-ohjelmaversioiden ohjelmia ja kääntää ne uuteen versioon, mutta tämän havaittiin olevan mahdotonta. Tämän jälkeen aloitettiin selvittämään TwinCat3-ohjelman valmiiden funktiolohkojen käyttöä ohjelmassa, mutta tästäkin ideasta luovuttiin havaittuamme sen vaikuttavan negatiivisesti tutkittavien viiveiden tutkimiseen.

Työn tavoitteiden voidaan katsoa täyttyneiksi hyvin ja työssä käytettyä manipulaattoria saatiin kehitettyä nykyaikaisemmaksi. Työn tekeminen opetti paljon sähköisten servojärjestelmien laitteista ja toiminnasta ja työssä myös oppi käyttämään TwinCat3-ohjelmistoa ja ohjelmoimaan sillä.

## Kuvat

Kuva 1. Lappeenrannan teknillisen yliopiston säätö- ja digitaalitekniikan laboratorion opetus- ja tutkimuskäyttöön tarkoitettu 4-akselinen manipulaattori, s. 10.

Kuva 2. Oikean käden säätö, s. 11.

Kuva 3. Manipulaattorin servojärjestelmän kuvaus, s. 12.

Kuva 4. Beckhoff C6920 -teollisuustietokone ja siihen EtherCAT-kenttäväylällä liitetyt Beckhoffin IO-yksiköitä ja yksi ACSM1-taajuusmuuttaja, s. 13.

Kuva 5. Resolveri ja mittakäämien jännitteet, s. 14.

Kuva 6. Pyörivä optinen enkooderi, s. 15.

Kuva 7. Pyörivä yksinapainen magneettinen enkooderi, s. 16.

Kuva 8. Magneettinen lineaarinen enkooderi, s. 16.

Kuva 9. Paikkasäätö, s. 18.

Kuva 10. Projekti avattuna TwinCat3-ohjelmassa, s. 20.

Kuva 11. Funktiolohko käyttäen tikapuukaaviota, s. 21.

Kuva 12. Liikkeen ohjauksen funktiolohko, s. 24.

Kuva 13. Tehtävän suoritus-syklin määrittäminen, s. 35.

Kuva 14. Liikutappi ja luisti, s. 36.

Kuva 15. Laakerointi, s. 37.

Kuva 16. Puristin, s. 38.

Kuva 17. Puristimen toiminta, s. 38.

Kuva 18. Manipulaattorin Y-akseli normaalissa asennossa, s. 40.

Kuva 19. Virhetilanne, s. 40.

Kuva 20. Paikkasäädön käyttäytyminen, kun paikkasäädön vahvistus on  $K_p=1,0$ , s. 42.

Kuva 21. Paikkasäädön käyttäytyminen, kun paikkasäädön vahvistus on  $K_p=3,0$ , s. 42.

## **Taulukot**

Taulukko 10. Japanilainen robottien jako ohjauksen tyypin mukaisesti luokkiin, s. 8.

Taulukko 2. Laiteluettelo, s. 12.

Taulukko 3. IEC-61131-3-datatyypit ja muuttujien määrittelyesimerkki, s. 23.

Taulukko 4. Vaatimusprofiili nivelöinnistä, s. 26.

Taulukko 5. ABB: ACSM1-taajuusmuuttajan parametrien asetusjärjestys, s. 28.

Taulukko 6. RX PDO "Master to Slave", s. 30.

Taulukko 7. TX PDO "Slave to Master ", s. 30.

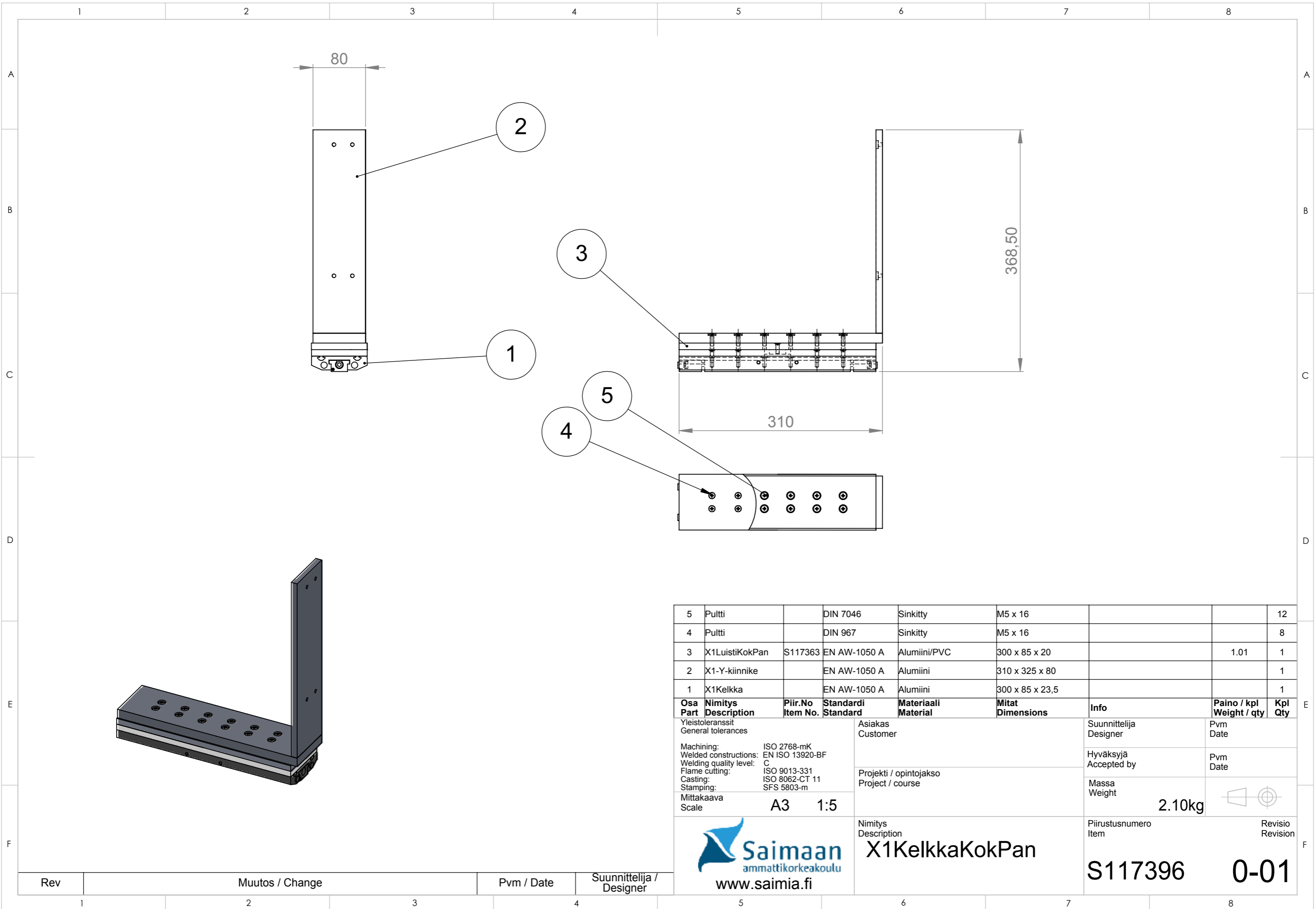
Taulukko 8. CiA-402-kommunikaatioprofiilin ohjaus-sanan bittien määritelmät, s. 31.

Taulukko 9. CiA-402-kommunikaatioprofiilin tilasanan bittien määritelmät, s. 32.

## Lähdeluettelo


1. Salmelin & Temmes. 1985. Robottiautomaatio. Helsinki: Insinööritieto.
2. Automaatioluennot 2016. [http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf\\_tiedostot/Robotiikka\\_yleinen.pdf](http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Robotiikka_yleinen.pdf). Luettu 13.3.2017.
3. Helsingin uutiset 2014, <http://www.helsinginuutiset.fi/artikkeli/285508-laakari-leikkaa-robottikasivarsilla-%E2%80%93-%E2%80%9Deteenpain-mennaan-valtavasti%E2%80%9D>. Luettu 15.3.2017.
4. Savon sanomat 2016. <http://www.savonsanomat.fi/kotimaa/KYS-ottaa-k%C3%A4ytt%C3%B6nC3%B6n-uuden-leikkausrobotin-leikkaaminen-tarkentuu-millimetrin-tarkkuudeksi/739781>. Luettu 15.3.2017.
5. Weisstein, Eric W. 2017. "Right-Handed Coordinate System." <http://mathworld.wolfram.com/Right-HandedCoordinateSystem.html>. Luettu 17.3.2017.
6. Stackoverflow 2016. <http://stackoverflow.com/questions/19747082/how-does-coordinate-system-handedness-relate-to-rotation-direction-and-vertices>. Luettu 17.3.2017.
7. Fonselius, Rinkinen & Vilenius. 1998. Servotekniikka. Helsinki: Oy Ebita Ab.
8. Fonselius, Rinkinen & Vilenius. 2008. Koneautomaatio. Tampere: Juvenes Print Oy.
9. Elisabeth, E. 2014. Basics of rotary encoders. [http://www.machine-design.com/sites/machinedesign.com/files/BasicsRotaryEncoders\\_Overview-andNewTechnologies.pdf](http://www.machine-design.com/sites/machinedesign.com/files/BasicsRotaryEncoders_Overview-andNewTechnologies.pdf). Luettu 30.3.2017.
10. Giovanni, M. 2013. Understanding resolution in optical and magnetic encoders. <http://www.eletronicdesign.com/sites/eletronicdesign.com/files/datasheets/gated/UnderstandingResolutionInOpticalAndMagneticEncoders.pdf>. Luettu 30.3.2017.
11. Renishaw 2016. <http://www.renishaw.com/en/lm10-linear-magnetic-encoder-system--9226>. Luettu 2.4.2017.
12. Haastattelu, Tuomo Lindh, Tutkijaopettaja. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 1.5.2017.

13. Lindh, T. 2017. Associate professor. Electrical Motion Control Systems. Lappeenranta University of Technology. LUT School of Energy Systems. Luentomateriaali.
14. ABB 2016. <http://www.abb.fi/cawp/db0003db002698/d5b664f5dd909412-c1257291003ef7cc.aspx>. Luettu 28.3.2017.
15. BECKHOFF 2016. [https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3\\_installation/18014398956967307.html&id=14895](https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_installation/18014398956967307.html&id=14895). Luettu 24.3.2017.
16. BECKHOFF 2016. [https://infosys.beckhoff.de/english.php?content=../content/1033/TcPlcLibs\\_OverviewTc3/HTML/TcPlcLibs\\_Intro.htm&id=](https://infosys.beckhoff.de/english.php?content=../content/1033/TcPlcLibs_OverviewTc3/HTML/TcPlcLibs_Intro.htm&id=). Luettu 24.3.2017.
17. IEC, 2013. Standardi IEC 61131-3.
18. BECKHOFF 2016. [https://infosys.beckhoff.com/italiano.php?content=../content/1040/tcplclibmc2/html/blocks/TcPlcLibMC\\_MoveAbsolute.htm&id=](https://infosys.beckhoff.com/italiano.php?content=../content/1040/tcplclibmc2/html/blocks/TcPlcLibMC_MoveAbsolute.htm&id=). Luettu 25.3.2017.
19. ABB 2008. ACSM1 Firmware manual.
20. ABB 2015. FECA-01 User's manual.
21. Contact and coil 2016. <http://www.contactandcoil.com/twincat-3-tutorial/introduction-to-motion-control/>. Luettu 29.3.2017.
22. BECKHOFF 2016. <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclibpackal/819744139.html&id>. Luettu 29.4.2017.



Osa / Part	Nimitys / Description	Piir.No / Item No.	Standardi / Standard	Materiaali / Material	Mitat / Dimensions	Info	Paino / kpl / Weight / qty	Kpl / Qty
5	Pultti		DIN 7046	Sinkitty	M5 x 16			12
4	Pultti		DIN 967	Sinkitty	M5 x 16			8
3	X1LuistiKokPan	S117363	EN AW-1050 A	Alumiini/PVC	300 x 85 x 20		1.01	1
2	X1-Y-kiinnike		EN AW-1050 A	Alumiini	310 x 325 x 80			1
1	X1Kelkka		EN AW-1050 A	Alumiini	300 x 85 x 23,5			1

Yleistoleranssit General tolerances	Asiakas Customer	Suunnittelija Designer	Pvm Date
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m	Projekti / opintojakso Project / course	Hyväksyjä Accepted by	Pvm Date
Mittakaava Scale	A3 1:5	Massa Weight	2.10kg


**Saimaan ammattikorkeakoulu**  
[www.saimia.fi](http://www.saimia.fi)

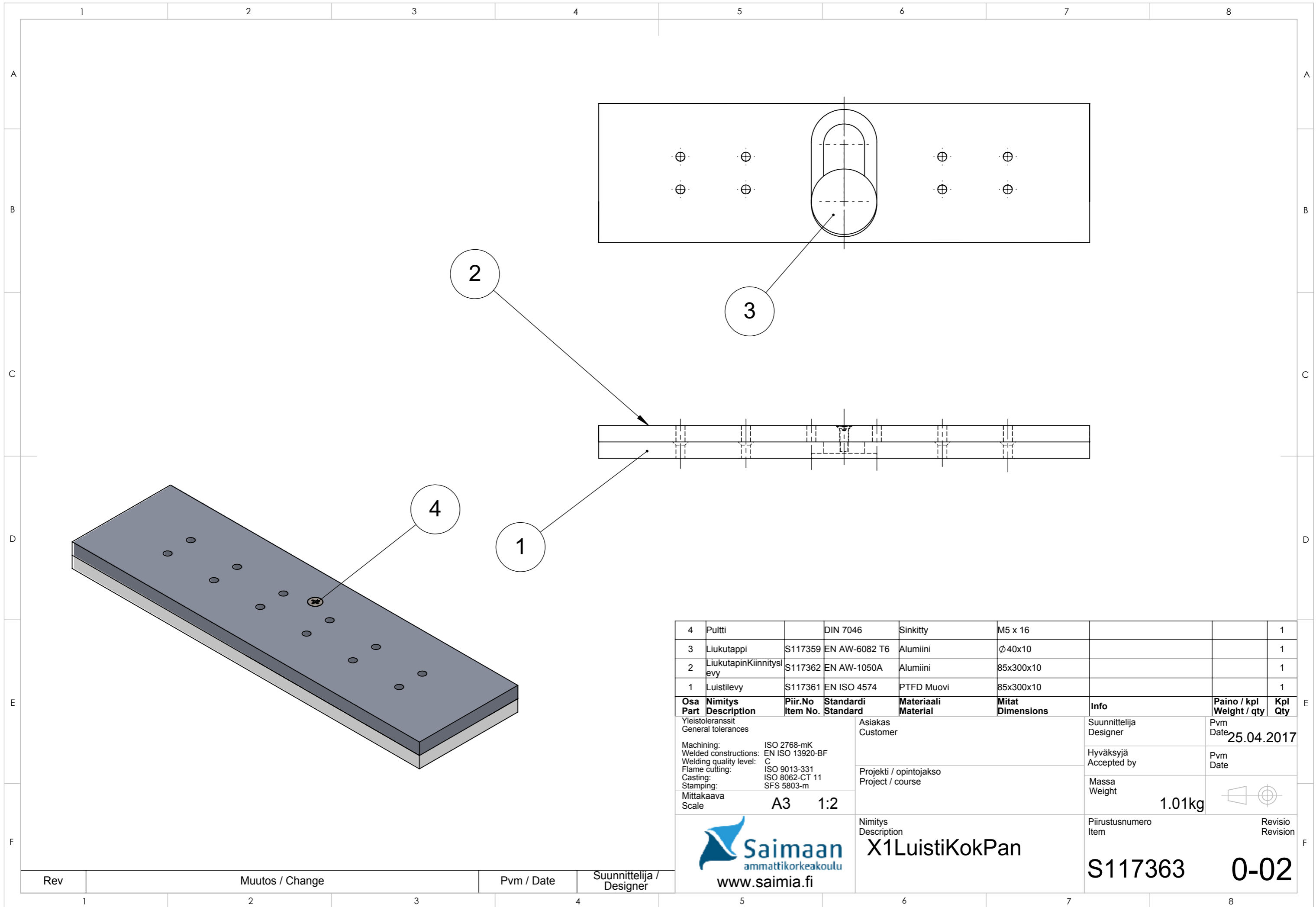
**Nimitys / Description**  
**X1KelkkaKokPan**

**Piirustusnumero / Item**  
**S117396**

**Revisio / Revision**  
**0-01**

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
1			
2			
3			
4			

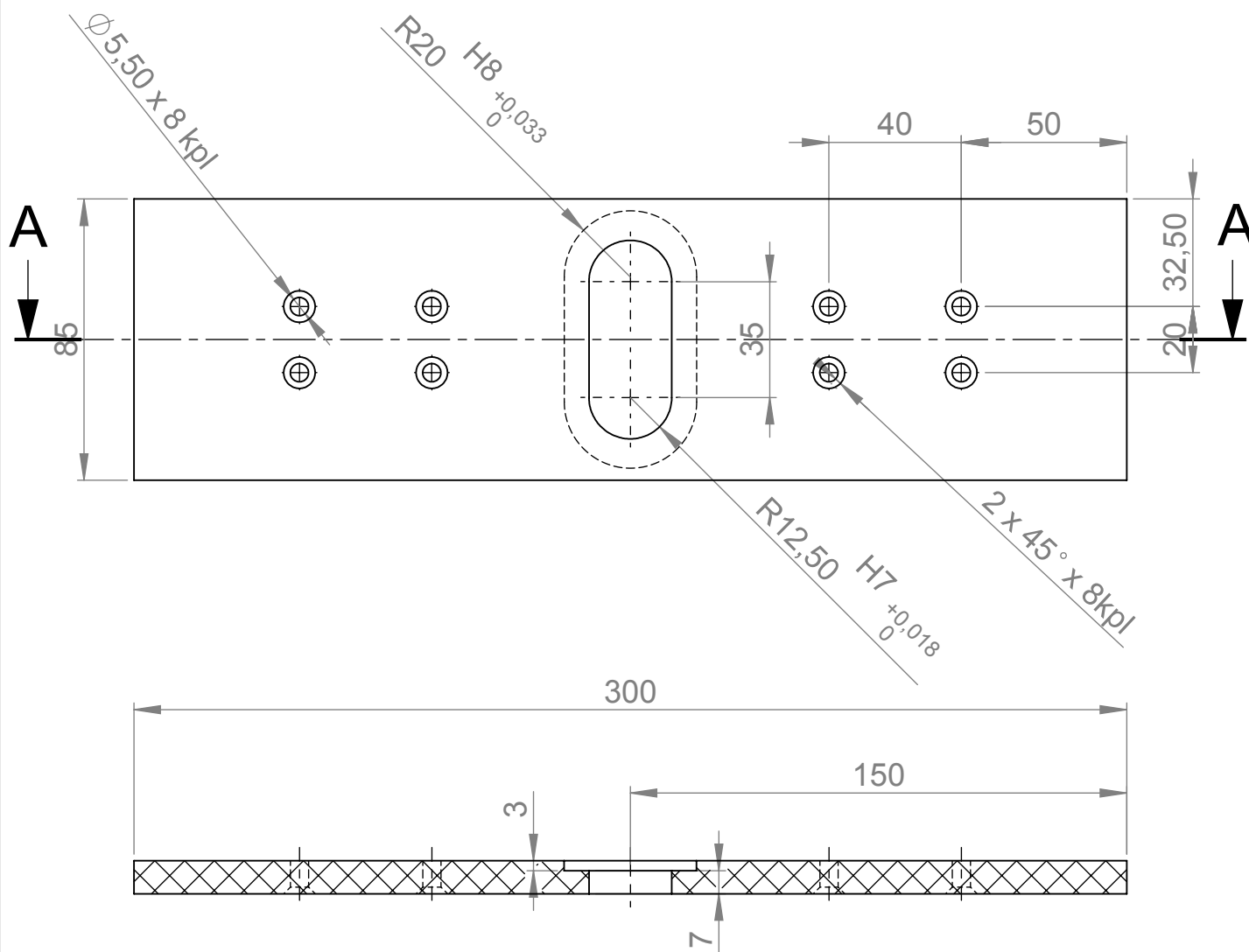




4	Pultti		DIN 7046	Sinkitty	M5 x 16			1
3	Liukutappi	S117359	EN AW-6082 T6	Alumiini	Ø40x10			1
2	LiukutapinKiinnitysl evy	S117362	EN AW-1050A	Alumiini	85x300x10			1
1	Luistilevy	S117361	EN ISO 4574	PTFD Muovi	85x300x10			1
Osa Part	Nimitys Description	Piir.No Item No.	Standardi Standard	Materiaali Material	Mitat Dimensions	Info	Paino / kpl Weight / qty	Kpl Qty
Yleistoleranssit General tolerances				Asiakas Customer		Suunnittelija Designer	Pvm Date	25.04.2017
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m				Projekti / opintojakso Project / course		Hyväksyjä Accepted by	Pvm Date	
Mittakaava Scale				A3 1:2		Massa Weight	1.01kg	
 www.saimia.fi				Nimitys Description		Piirustusnumero Item	Revisio Revision	
				X1LuistiKokPan		S117363	0-02	

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
1			
2			
3			
4			

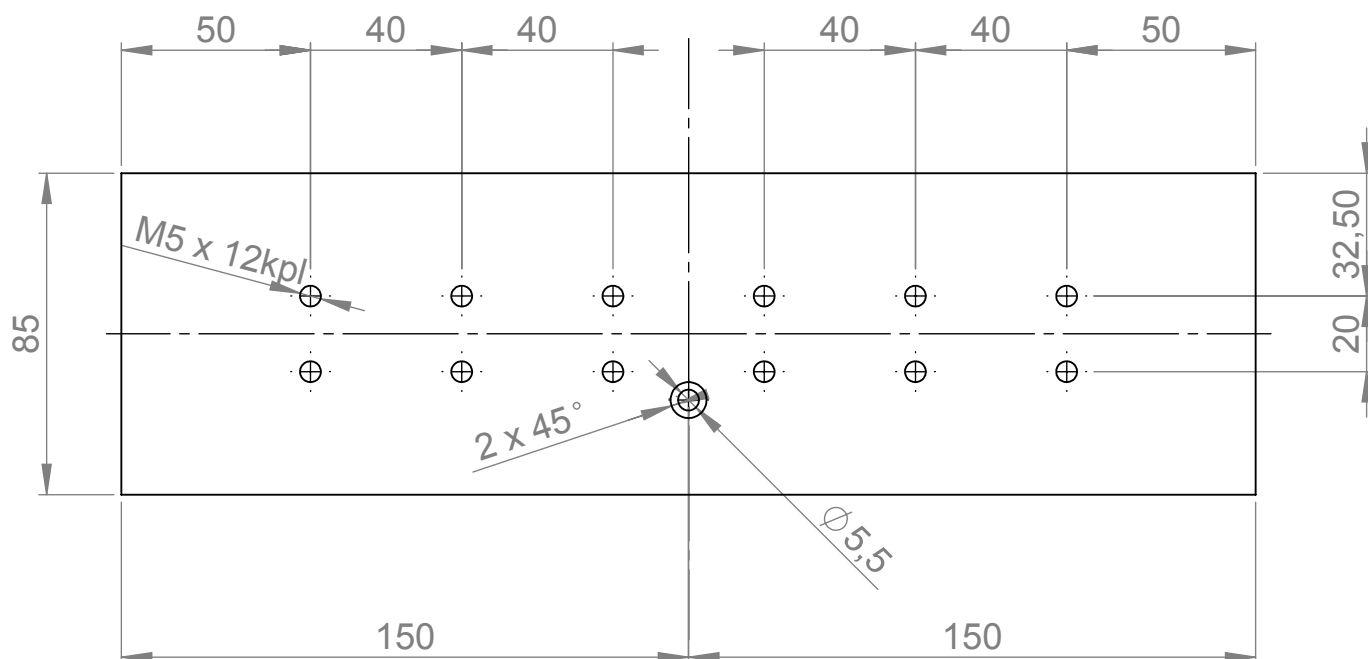
Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
-----	-----------------	------------	--------------------------



SECTION A-A  
SCALE 1 : 2

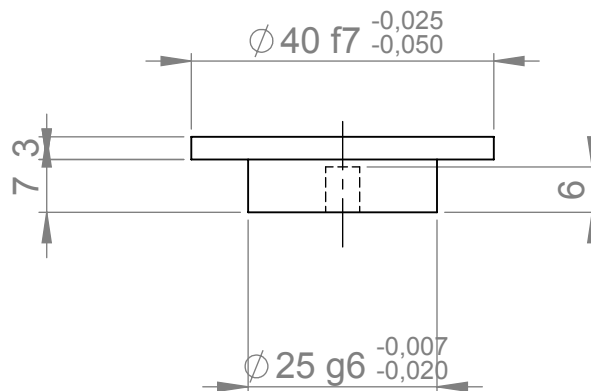
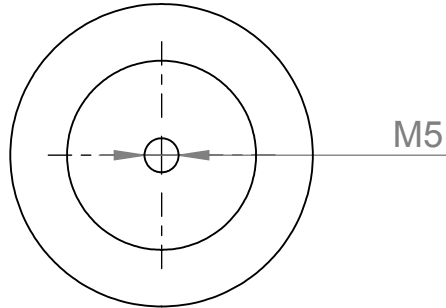
LEVY	EN ISO 4574	PVC	85x300x10	1
<b>Aihio</b> Preform	<b>Standardi</b> Standard	<b>Materiaali</b> Material	<b>Mitat</b> Dimensions	<b>Osa</b> Part
Yleistoleranssit General tolerances	Asiakas Customer	Projekti / opintojakso Project / course	Suunnittelija Designer	Pvm Date 25.04.2017
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m			Hyväksyjä Accepted by	Pvm Date
Mittakaava Scale A4 1:2			Massa Weight kg	
 www.saimia.fi	Nimitys Description Luistilevy	Piirustusnumero Item S117361	Revisio Revision 0-09	


Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
-----	-----------------	------------	--------------------------

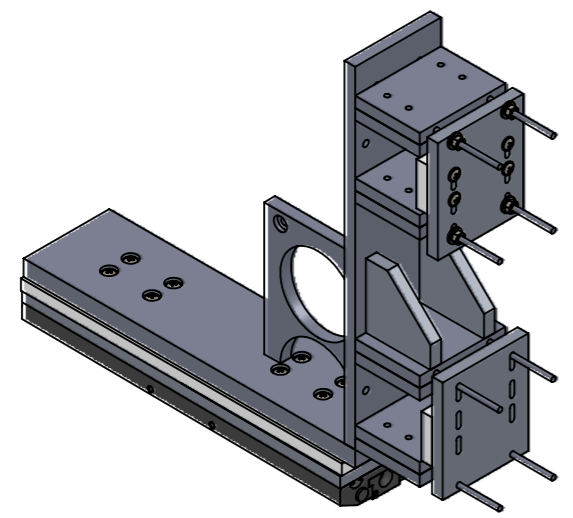
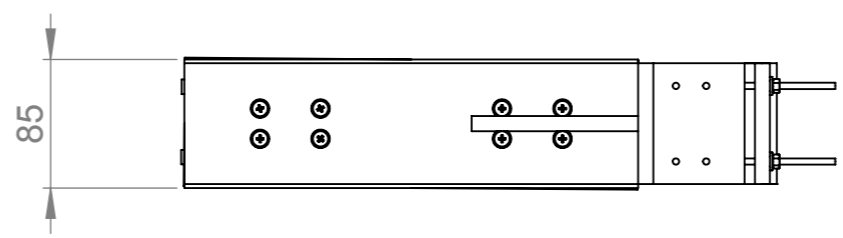
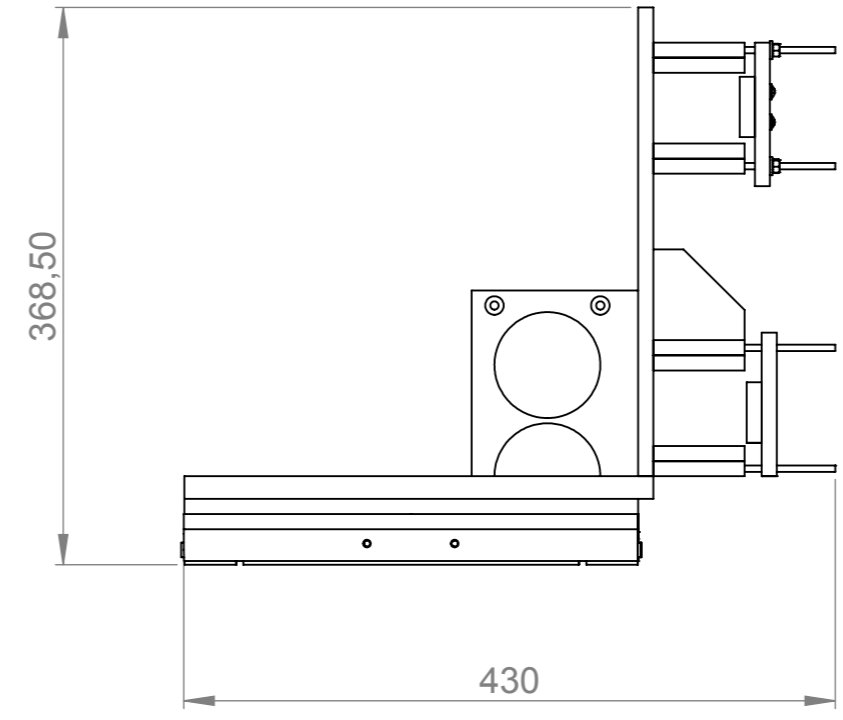
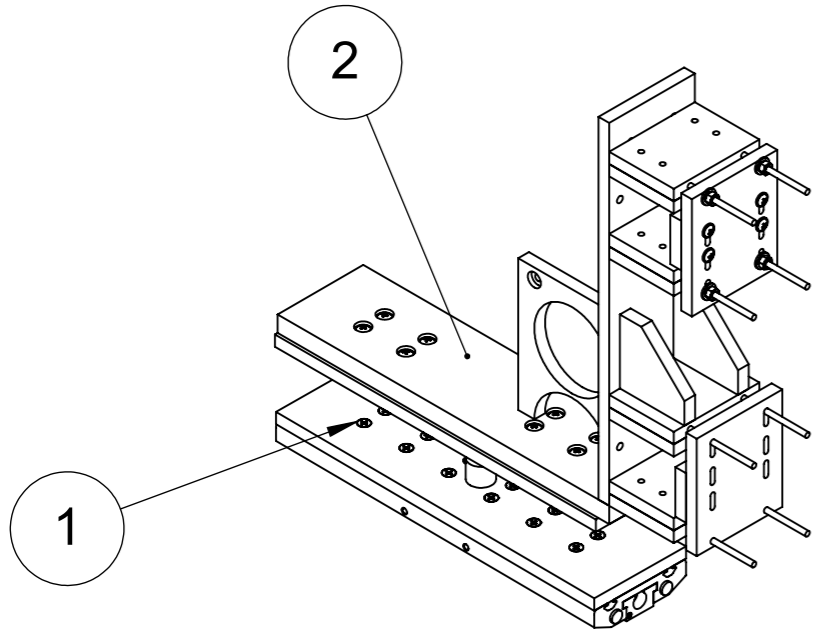


LEVY	EN AW-1050A	Alumiini	85x300x10	1
Aihio Preform	Standardi Standard	Materiaali Material	Mitat Dimensions	Osa Part
Yleistoleranssit General tolerances	Asiakas Customer	Suunnittelija Designer	Pvm Date	25.04.2017
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m	Projekti / opintojakso Project / course	Hyväksyjä Accepted by	Pvm Date	
Mittakaava Scale	A4 1:2	Massa Weight	kg	
 www.saimia.fi	Nimitys Description	Piirustusnumero Item	Revisio Revision	
	LiukutapinKiinnityslevy	S117362	0-05	

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
-----	-----------------	------------	--------------------------



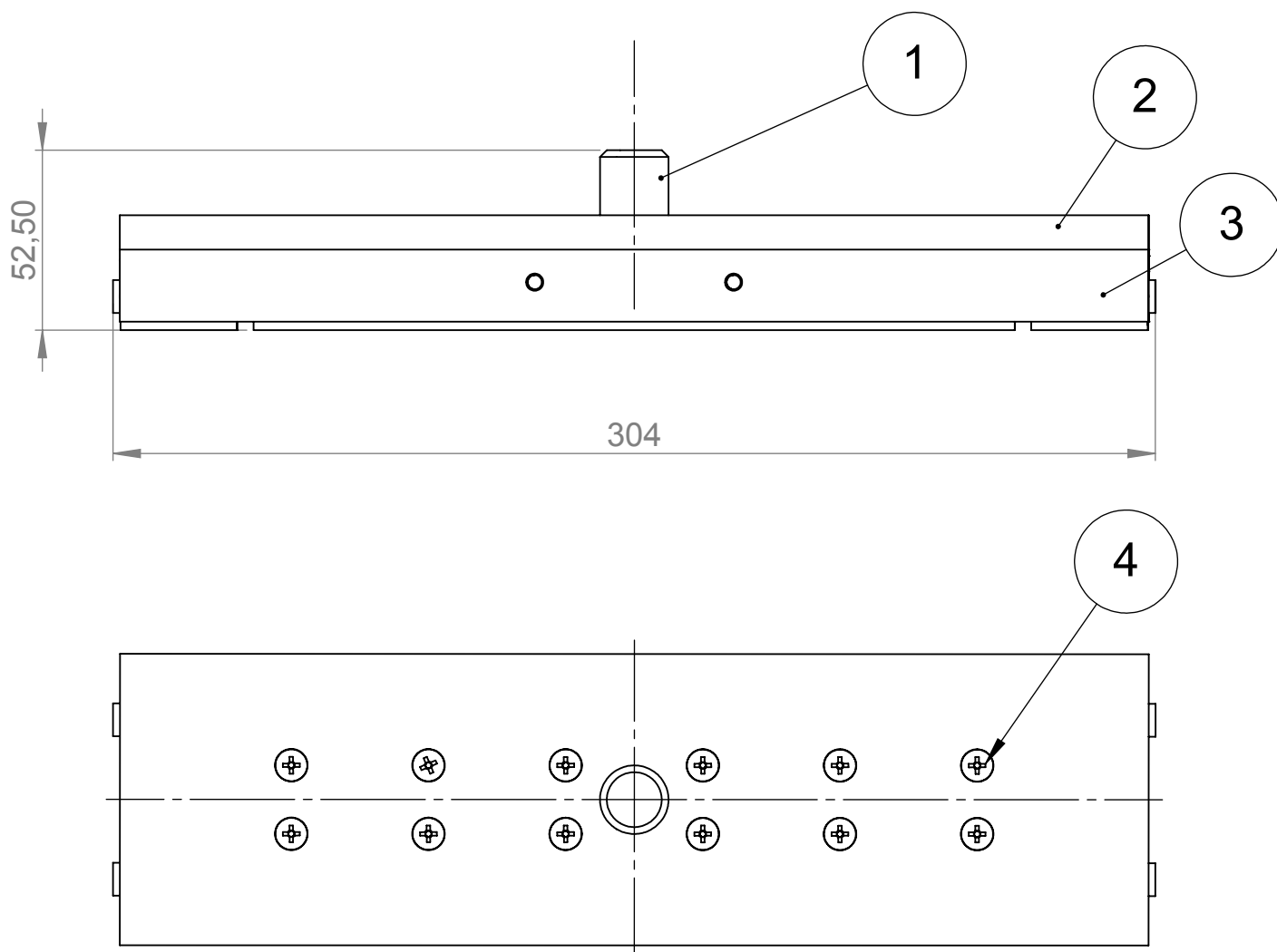
PYÖRÖTANKO	EN AW-6082 T6	Alumiini	$\varnothing 40 \times 10$	1
<b>Aihio</b> <b>Preform</b>	<b>Standardi</b> <b>Standard</b>	<b>Materiaali</b> <b>Material</b>	<b>Mitat</b> <b>Dimensions</b>	<b>Osa</b> <b>Part</b>
Yleistoleranssit General tolerances	Asiakas Customer	Suunnittelija Designer	Pvm Date	25.04.2017
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m	Projekti / opintojakso Project / course	Hyväksyjä Accepted by	Pvm Date	
Mittakaava Scale	A4 1:1	Massa Weight	kg	
 www.saimia.fi	Nimitys Description <b>Liukutappi</b>	Piirustusnumero Item	S117359	Revisio Revision <b>0-04</b>



2	Purisin/LaakeriKok	S117392		Alumiini	430 x 80 x 335		2.06	1
1	X2KelkkaAlaKokPan	S117391		Alumiini/PVC	300 x 85 x 33,5			1
Osa / Part	Nimitys / Description	Piir.No / Item No.	Standardi / Standard	Materiaali / Material	Mitat / Dimensions	Info	Paino / kpl / Weight / qty	Kpl / Qty
Yleistoleranssit / General tolerances				Asiakas / Customer		Suunnittelija / Designer	Pvm / Date: 30.04.2017	
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m				Projekti / opintojakso / Project / course		Hyväksyjä / Accepted by	Pvm / Date	
Mittakaava / Scale: A3 1:5				Test		Massa / Weight: 3.30kg		
 www.saimia.fi				Nimitys / Description: X2KelkkaKokPan		Piirustusnumero / Item: S117393	Revisio / Revision: 0-01	

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
1			
2			
3			
4			

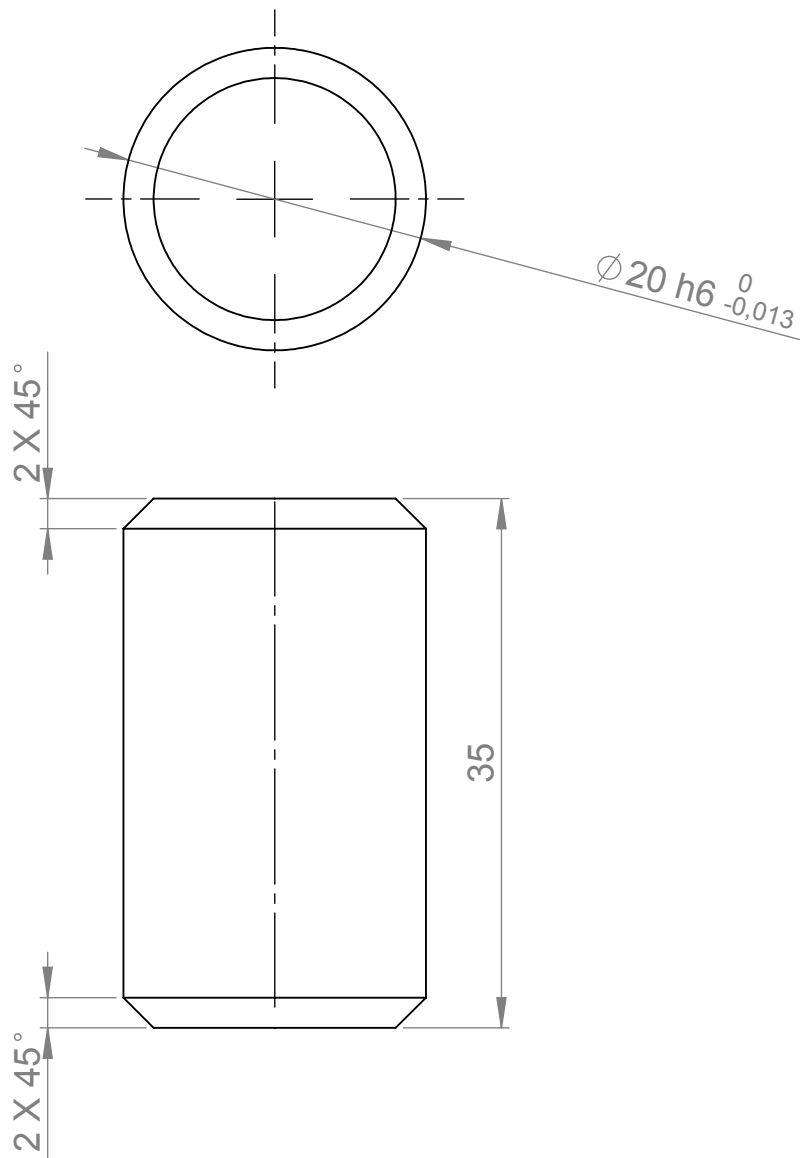
Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
-----	-----------------	------------	--------------------------




4	Pultti	S117390	DIN 7046	Sinkitty	M5 x 20			12
3	Kelkka X2	S117386	EN AW-1050AA	Alumiini	300 x 85 x 23,5			1
2	TapinKiinnitysLevy	S117366	EN AW-1050A	Alumiini	300 x 85 x 10			1
1	LaakeriTappi	S117364	EN 10025	Teräs S355	Ø20 x 26			1

Osa / Part	Nimitys / Description	Piir.No / Item No.	Standardi / Standard	Materiaali / Material	Mitat / Dimensions	Info	Paino / kpl / Weight / qty	Kpl / Qty
Yleistoleranssit / General tolerances				Asiakas / Customer		Suunnittelija / Designer	Pvm / Date	26.04.2017
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m				Projekti / opintojakso / Project / course		Hyväksyjä / Accepted by	Pvm / Date	
Mittakaava / Scale				A4 1:2		Massa / Weight	kg	

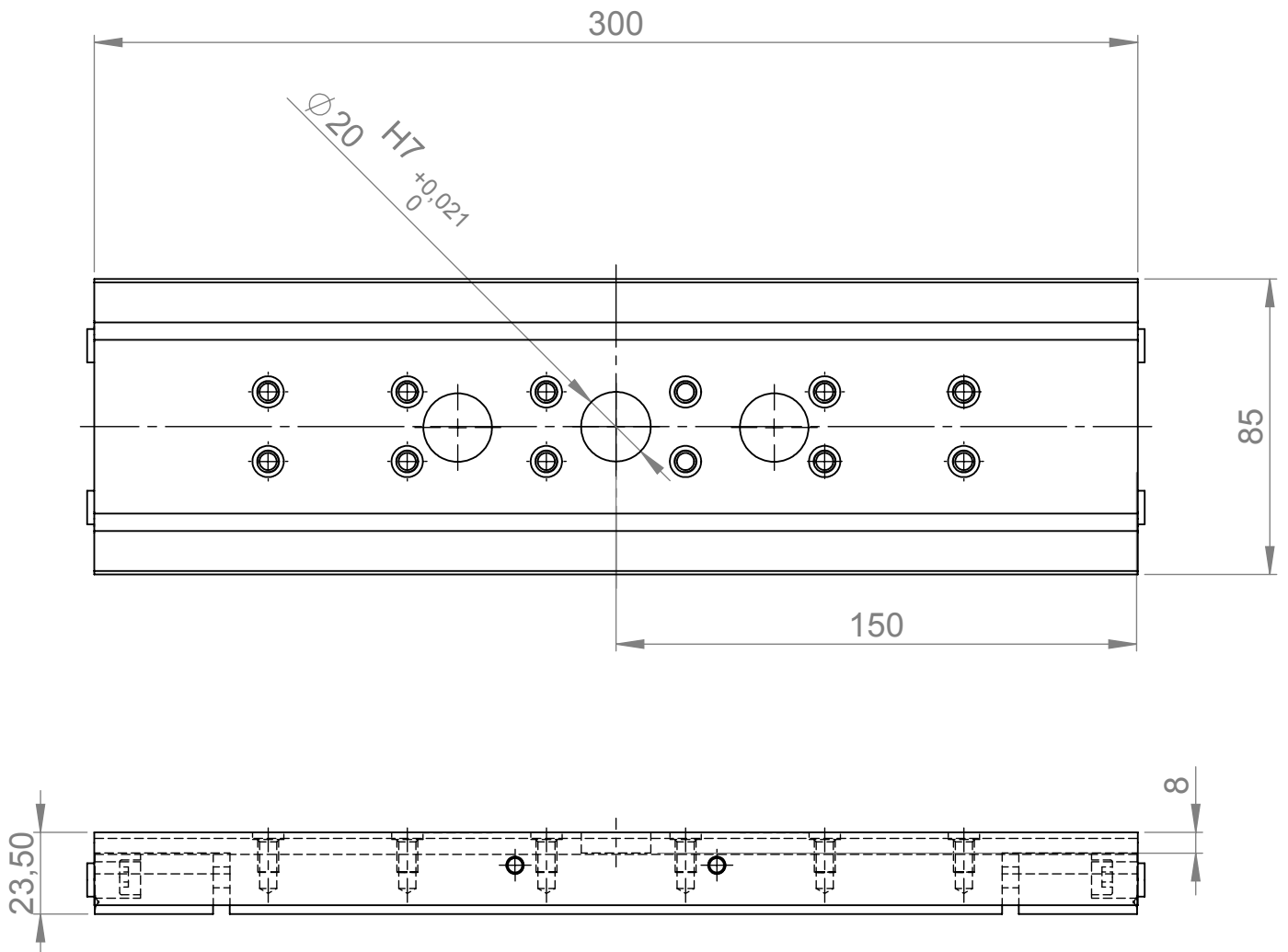
Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
-----	-----------------	------------	--------------------------



PYÖRÖTANKO	EN 10025	Teräs S355	Ø 20 x 26	1
<b>Aihio</b> <b>Preform</b>	<b>Standardi</b> <b>Standard</b>	<b>Materiaali</b> <b>Material</b>	<b>Mitat</b> <b>Dimensions</b>	<b>Osa</b> <b>Part</b>
Yleistoleranssit General tolerances	Asiakas Customer	Suunnittelija Designer	Pvm Date	26.04.2017
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m	Projekti / opintojakso Project / course	Hyväksyjä Accepted by	Pvm Date	
Mittakaava Scale	A4 2:1	Massa Weight	kg	
 www.saimia.fi	Nimitys Description <b>Laakeritappi</b>	Piirustusnumero Item <b>S117364</b>	Revisio Revision <b>0-04</b>	

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
-----	-----------------	------------	--------------------------

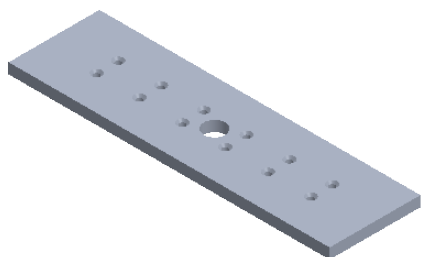
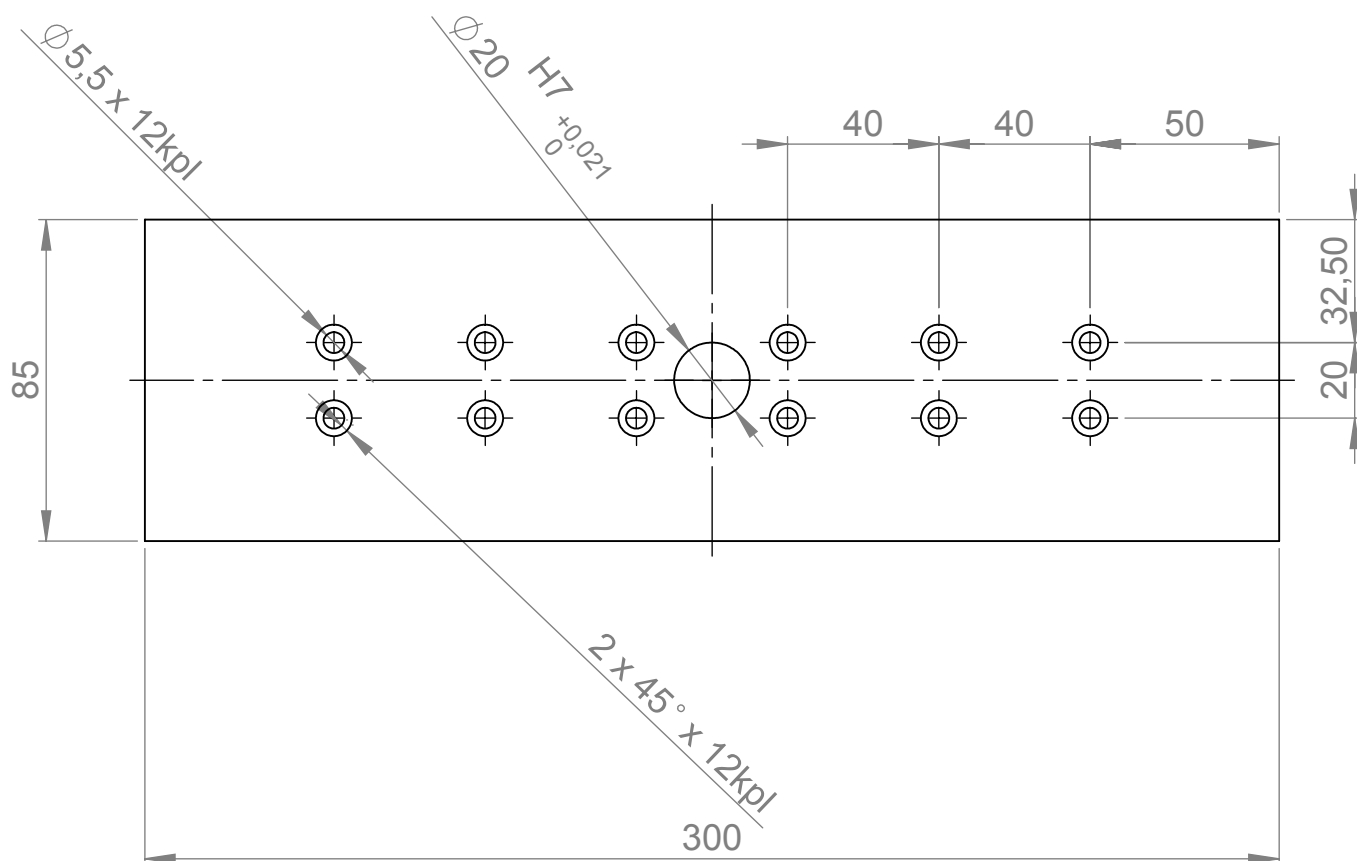
Tämä piirustus sisältää mitoituksen vain muutostöiden osalta.



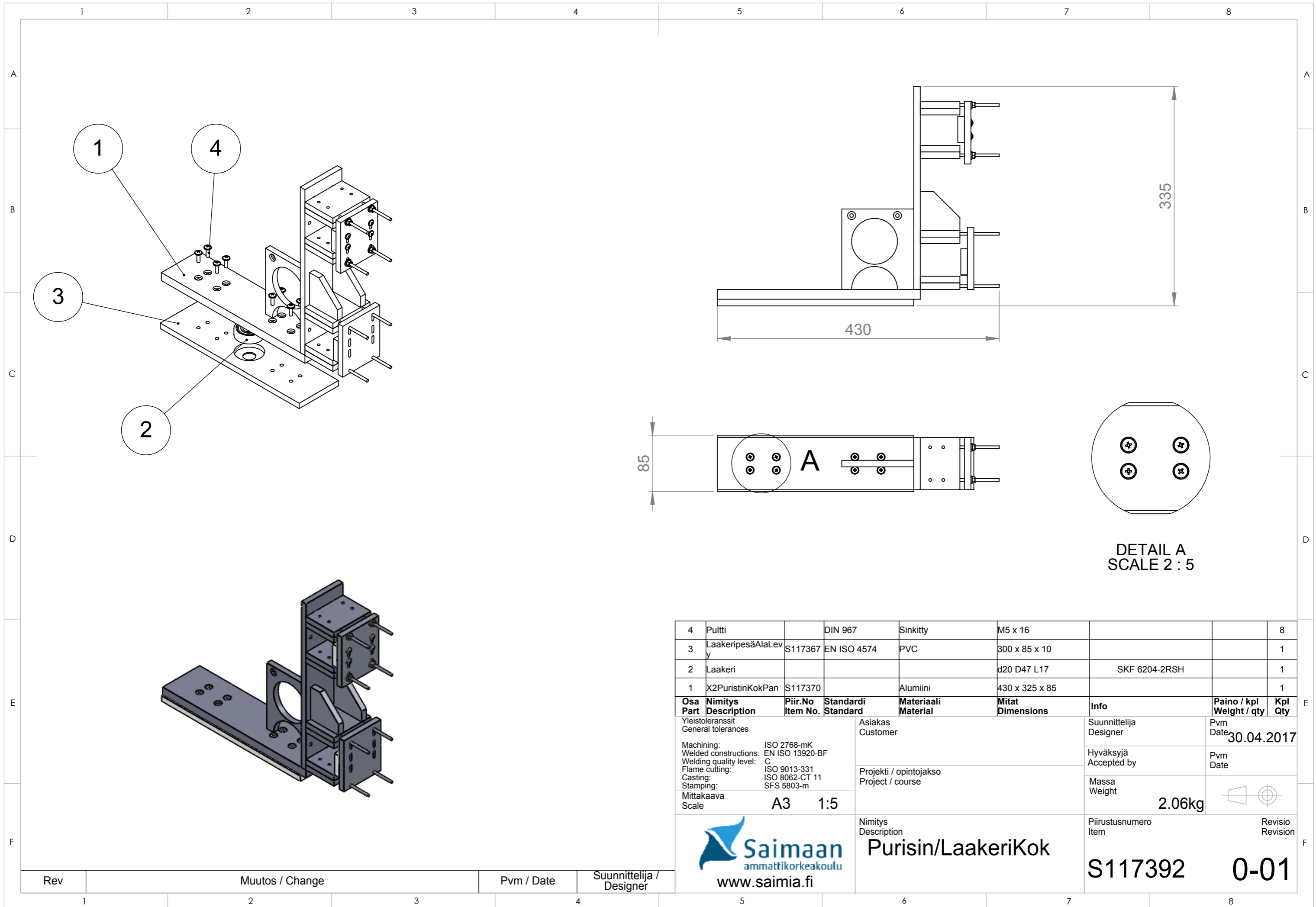
LEVY	EN AW-1050A	Alumiini	300 x 85 x 23,5	1
<b>Aihio</b> Preform	<b>Standardi</b> Standard	<b>Materiaali</b> Material	<b>Mitat</b> Dimensions	<b>Osa</b> Part
Yleistoleranssit General tolerances	Asiakas Customer	Projekti / opintojakso Project / course	Suunnittelija Designer	Pvm Date 28.04.2017
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m			Hyväksyjä Accepted by	Pvm Date
Mittakaava Scale A4 1:2			Massa Weight kg	
 www.saimia.fi	Nimitys Description Kelkka X2	Piirustusnumero Item S117386	Revisio Revision 0-05	



Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
-----	-----------------	------------	--------------------------



LEVY	EN AW-1050A	Alumiini	300 x 85 x 10	1
<b>Aihio</b> Preform	<b>Standardi</b> Standard	<b>Materiaali</b> Material	<b>Mitat</b> Dimensions	<b>Osa</b> Part
Yleistoleranssit General tolerances	Asiakas Customer	Suunnittelija Designer	Pvm Date	26.04.2017
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m	Projekti / opintojakso Project / course	Hyväksyjä Accepted by	Pvm Date	
Mittakaava Scale	A4 1:2	Massa Weight	kg	
 www.saimia.fi	Nimitys Description <b>TapinKiinnitysLevy</b>	Piirustusnumero Item	S117366	Revisio Revision 0-07



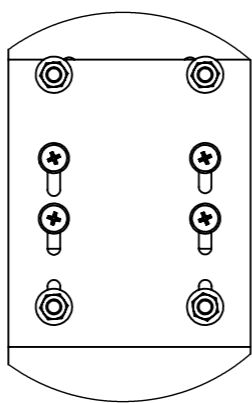
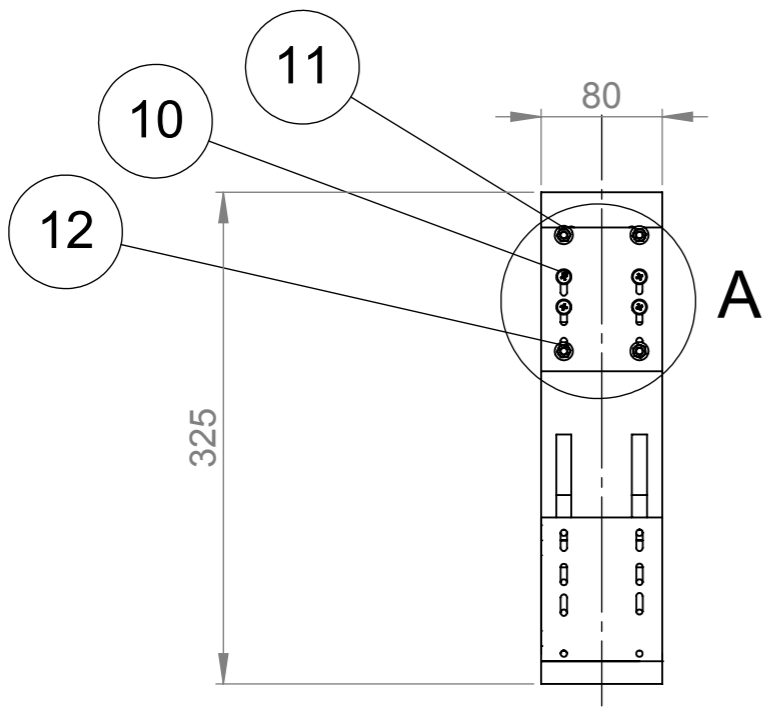
4	Pultti		DIN 967	Sinkitty	M5 x 16			8
3	LaakeripesäAlaLevy	S117367	EN ISO 4574	PVC	300 x 85 x 10			1
2	Laakeri				d20 D47 L17	SKF 6204-2RSH		1
1	X2PuristinKokPan	S117370		Alumiini	430 x 325 x 85			1

Osa / Part	Nimitys / Description	Piir.No / Item No.	Standardi / Standard	Materiaali / Material	Mitat / Dimensions	Info	Paino / kpl / Weight / qty	Kpl / Qty
Yleistoleranssit / General tolerances				Asiakas / Customer		Suunnittelija / Designer	Pvm / Date	30.04.2017
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m				Projekt / opintojakso / Project / course		Hyväksyjä / Accepted by	Pvm / Date	
Mittakaava / Scale				A3 1:5		Massa / Weight	2.06kg	

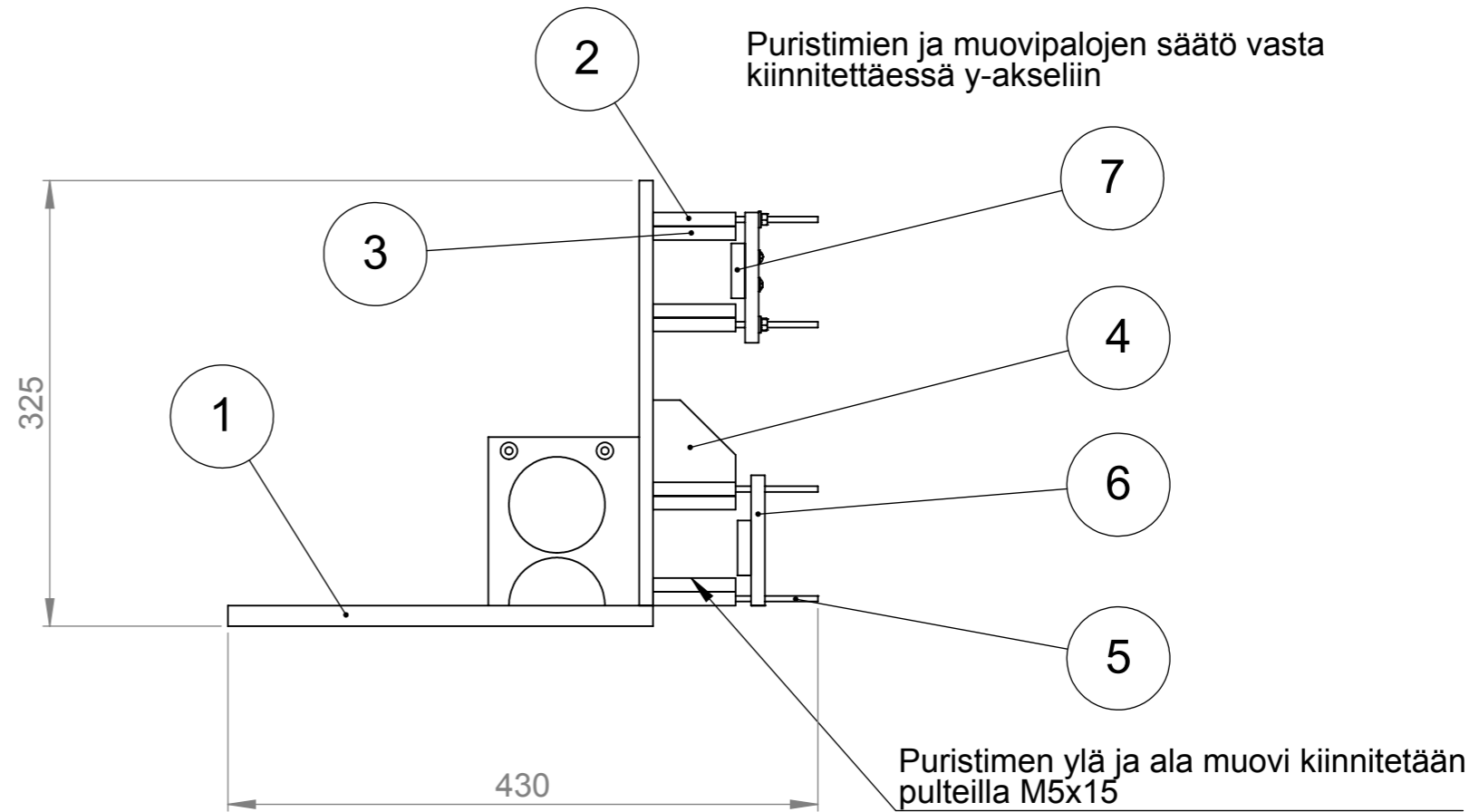
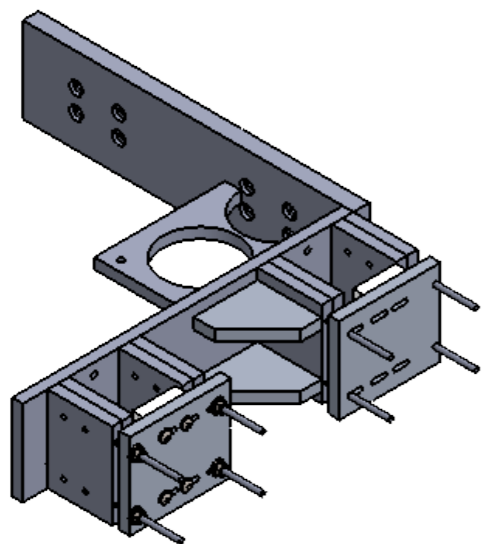


Nimitys / Description	Piirustusnumero / Item	Revisio / Revision
Purisin/LaakeriKok	S117392	0-01

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
1			
2			
3			
4			



DETAIL A  
SCALE 2 : 5



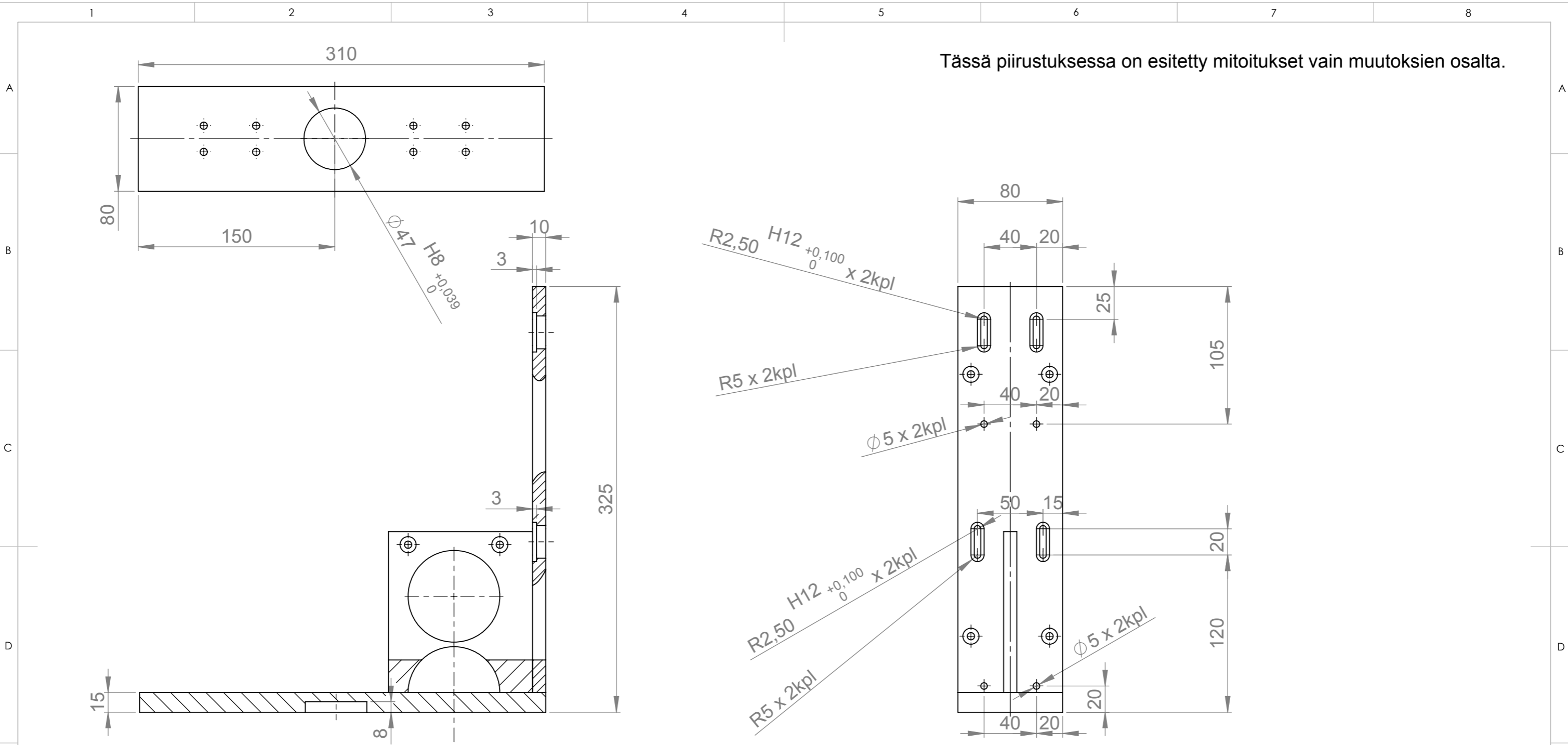
Osa / Part	Nimitys / Description	Piir.No / Item No.	Standardi / Standard	Materiaali / Material	Mitat / Dimensions	Info	Paino / kpl / Weight / qty	Kpl / Qty
12	Mutteri		EN ISO 4032	Sinkitty	M5			4
11	Aluslevy		DIN 6902	Sinkitty	Ø5,5			8
10	Pultti		DIN 968	Sinkitty	M5 x 20			8
9	Pultti		DIN 968	Sinkitty	M5 x 15			20
8	Pultti		DIN 968	Sinkitty	M5 x 30			4
7	PuristimenMuovi	S117375	EN ISO 4574	PVC	80 x 40 x 10			2
6	Puristin	S117376	EN AW1050A	Alumiini	95 x 80 x 10			2
5	Kierretanko	S117378	DIN 975	Sinkitty	M5 x 80			8
4	Vinotuki	S117371	EN AW-1050A	Alumiini	60 x 60 x 10			2
3	PuristinosanMuovi	S117374	EN ISO 4574	PVC	80 x 60 x 10			4
2	AlaLevy	S117373	EN AW1050A	Alumiini	80 x 60 x 10			4
1	KiinnitysPalaY-akseliin	S117369	EN AW-1050A	Alumiini	310 x 80 x325			1

Osa / Part	Nimitys / Description	Piir.No / Item No.	Standardi / Standard	Materiaali / Material	Mitat / Dimensions	Info	Paino / kpl / Weight / qty	Kpl / Qty
Yleistoleranssit / General tolerances				Asiakas / Customer		Suunnittelija / Designer	Pvm / Date	
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m				Projekt / opintojakso / Project / course		Hyväksyjä / Accepted by	Pvm / Date	
Mittakaava / Scale				A3 1:5		Massa / Weight	kg	
Nimitys / Description				X2PuristinKokPan		Piirustusnumero / Item		Revisio / Revision



S117370 0-03

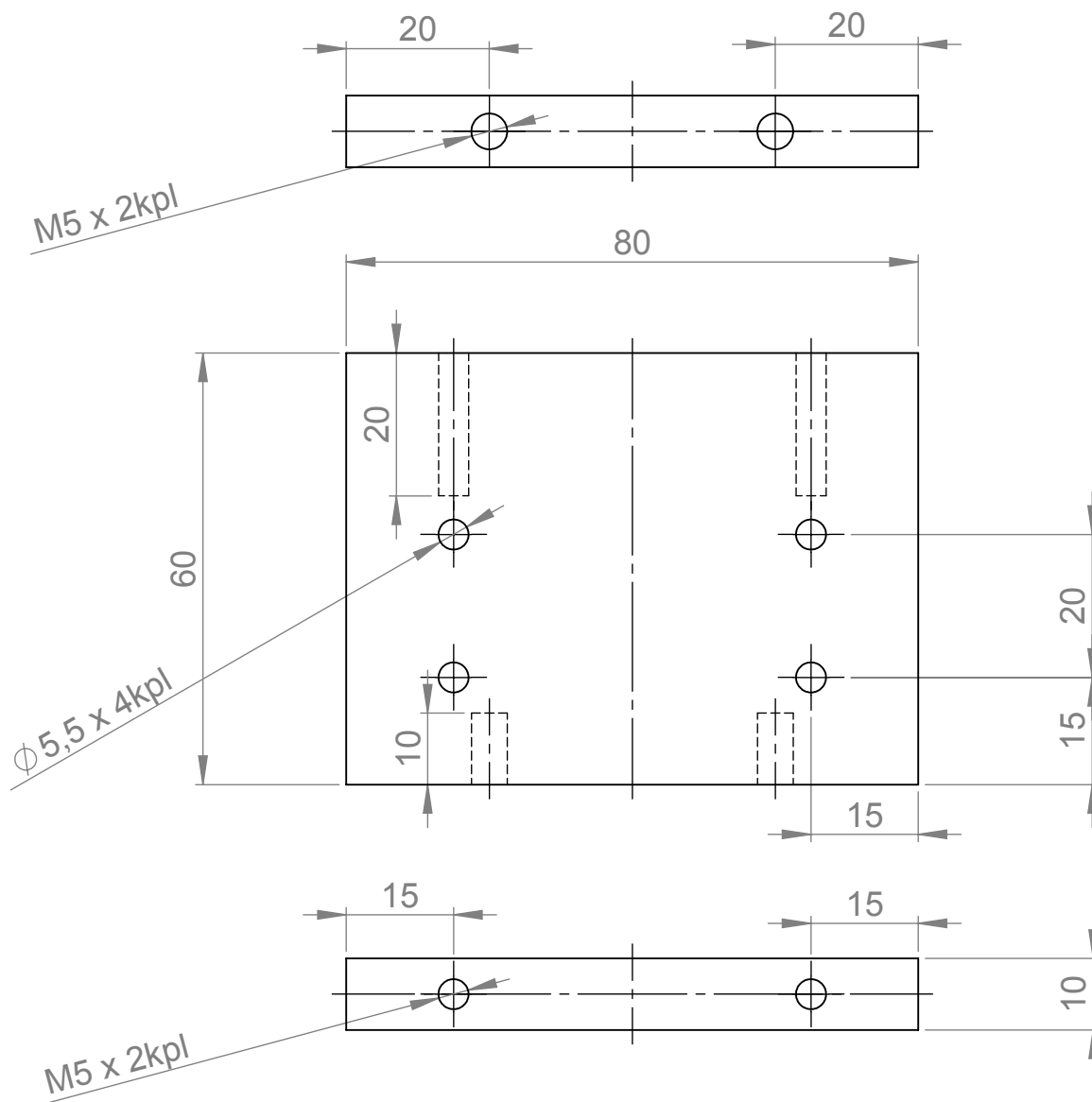
Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
1			
2			
3			
4			



Valmis osa	EN AW-1050A	Alumiini	310 x 80 x325	1
<b>Aihio</b> Preform	<b>Standardi</b> Standard	<b>Materiaali</b> Material	<b>Mitat</b> Dimensions	<b>Osa</b> Part
Yleistoleranssit General tolerances	Asiakas Customer	Suunnittelija Designer	Pvm Date	26.04.2017
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m	Projekti / opintojakso Project / course	Hyväksyjä Accepted by	Pvm Date	
Mittakaava Scale	A3 1:3	Massa Weight	kg	
	Nimitys Description	Piirustusnumero Item	Revisio Revision	
www.saimia.fi	KiinnitysPalaY-akseliin	S117369	0-08	

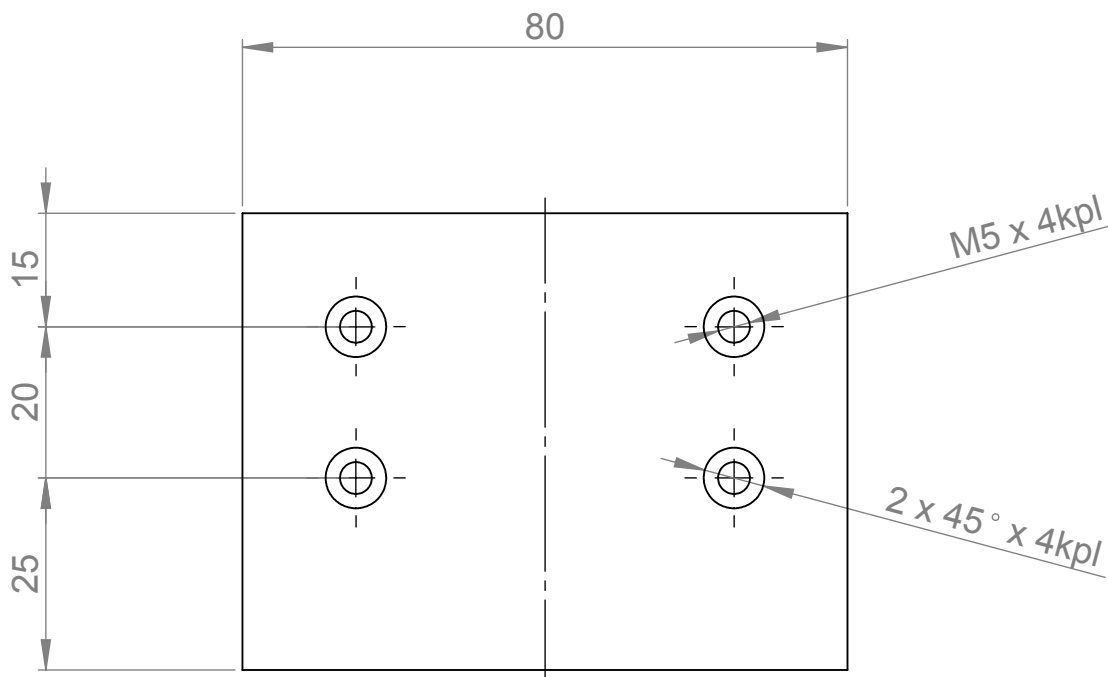
Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
1			
2			
3			

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
-----	-----------------	------------	--------------------------



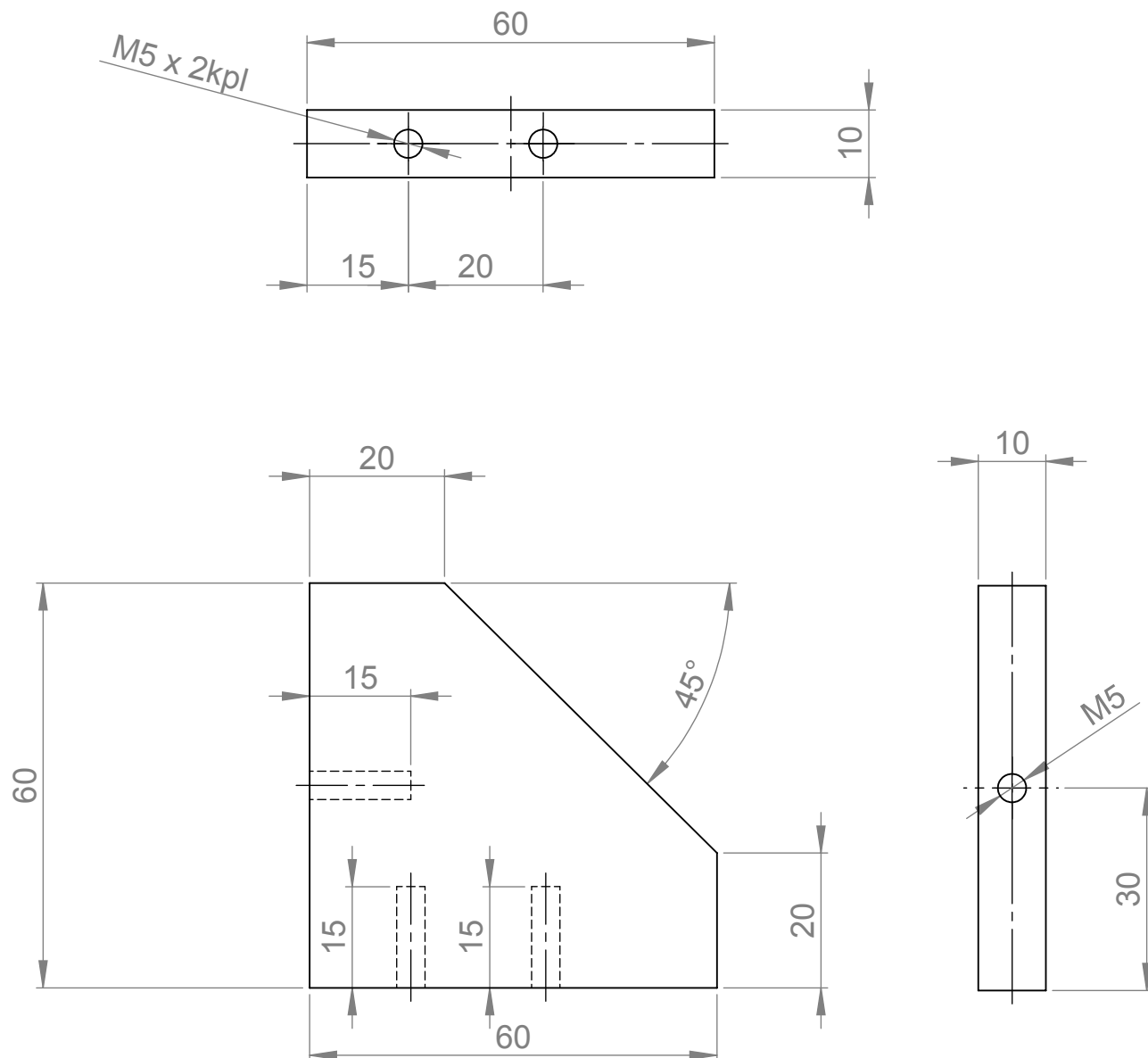
LEVY	EN AW1050A	Alumiini	80 x 60 x 10	1
<b>Aihio</b> <b>Preform</b>	<b>Standardi</b> <b>Standard</b>	<b>Materiaali</b> <b>Material</b>	<b>Mitat</b> <b>Dimensions</b>	<b>Osa</b> <b>Part</b>
Yleistoleranssit General tolerances	Asiakas Customer	Projekti / opintojakso Project / course	Suunnittelija Designer	Pvm Date 27.04.2017
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m			Hyväksyjä Accepted by	Pvm Date
Mittakaava Scale A4 1:1			Massa Weight kg	
 www.saimia.fi	Nimitys Description <b>AlaLevy</b>	Piirustusnumero Item <b>S117373</b>	Revisio Revision <b>0-05</b>	

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
-----	-----------------	------------	--------------------------



LEVY	EN ISO 4574	PVC	80 x 60 x 10	1
<b>Aihio</b> Preform	<b>Standardi</b> Standard	<b>Materiaali</b> Material	<b>Mitat</b> Dimensions	<b>Osa</b> Part
Yleistoleranssit General tolerances	Asiakas Customer	Projekti / opintojakso Project / course	Suunnittelija Designer	Pvm Date 27.04.2017
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m			Hyväksyjä Accepted by	Pvm Date
Mittakaava Scale A4 1:1			Massa Weight kg	
 www.saimia.fi	Nimitys Description PuristinosanMuovi	Piirustusnumero Item S117374	Revisio Revision 0-05	

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
-----	-----------------	------------	--------------------------

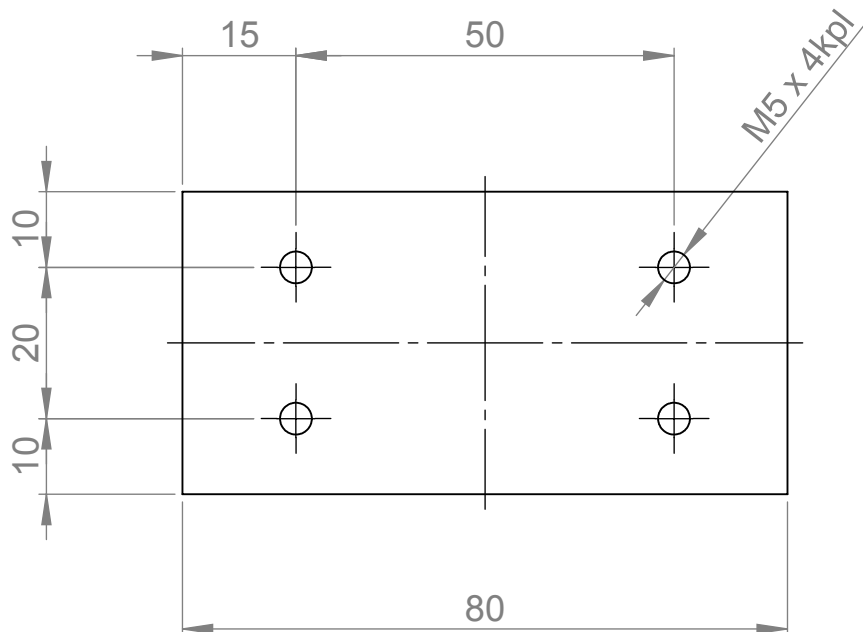


LEVY	EN AW-1050A	Alumiini	60 x 60 x 10	1
<b>Aihio</b> Preform	<b>Standardi</b> Standard	<b>Materiaali</b> Material	<b>Mitat</b> Dimensions	<b>Osa</b> Part
Yleistoleranssit General tolerances	Asiakas Customer	Projekti / opintojakso Project / course	Suunnittelija Designer	Pvm Date 27.04.2017
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m			Hyväksyjä Accepted by	Pvm Date
Mittakaava Scale A4 1:1			Massa Weight kg	
 www.saimia.fi	Nimitys Description Vinotuki	Piirustusnumero Item S117371	Revisio Revision 0-03	



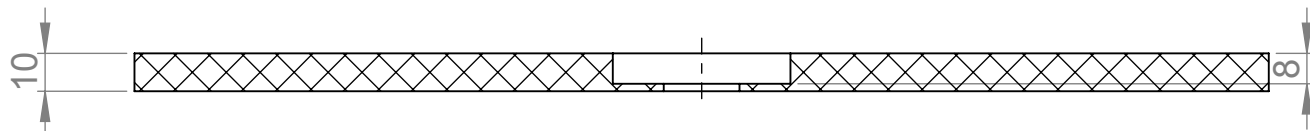


Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
-----	-----------------	------------	--------------------------

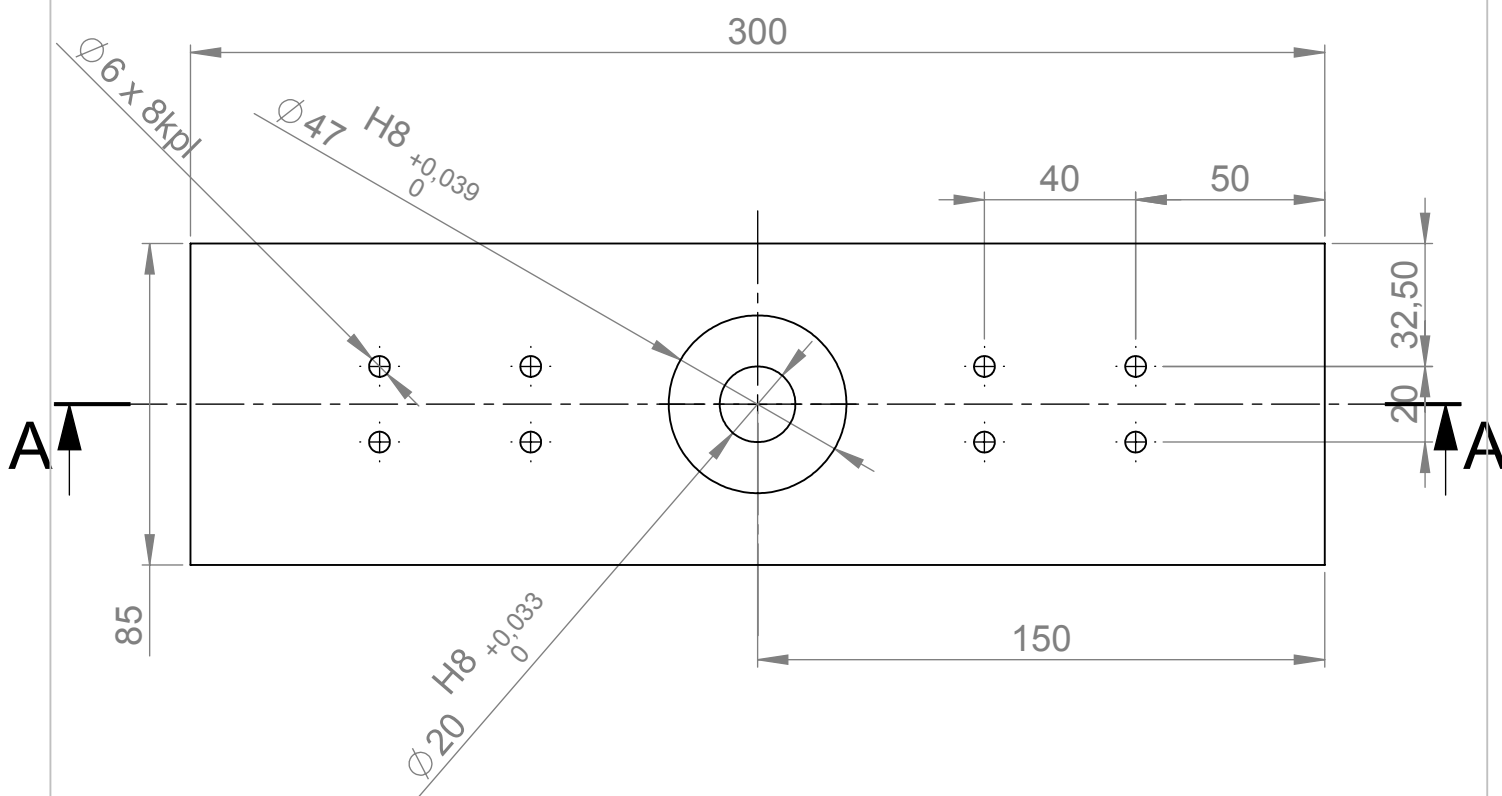



LEVY	EN ISO 4574	PVC	80 x 40 x 10	1
<b>Aihio</b> Preform	<b>Standardi</b> Standard	<b>Materiaali</b> Material	<b>Mitat</b> Dimensions	<b>Osa</b> Part
Yleistoleranssit General tolerances	Asiakas Customer	Projekti / opintojakso Project / course	Suunnittelija Designer	Pvm Date 27.04.2017
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m			Hyväksyjä Accepted by	Pvm Date
Mittakaava Scale A4 1:1			Massa Weight kg	
 www.saimia.fi	Nimitys Description <b>PuristimenMuovi</b>	Piirustusnumero Item <b>S117375</b>	Revisio Revision <b>0-05</b>	

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
-----	-----------------	------------	--------------------------



SECTION A-A  
SCALE 1 : 2



LEVY	EN ISO 4574	PVC	300 x 85 x 10	1
Aihio Preform	Standardi Standard	Materiaali Material	Mitat Dimensions	Osa Part
Yleistoleranssit General tolerances	Asiakas Customer	Projekti / opintojakso Project / course	Suunnittelija Designer	Pvm Date 26.04.2017
Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m			Hyväksyjä Accepted by	Pvm Date
Mittakaava Scale A4 1:2			Massa Weight kg	
 www.saimia.fi	Nimitys Description LaakeripesäAlaLevy	Piirustusnumero Item S117367	Revisio Revision 0-04	

## Liite 2

FUNCTION\_BLOCK PosControl\_absenc

## Ohjelma

//Liikkeenohjaus käyttäen abs  
absoluuttienkooderia

(\*Muuttujien esittely ja määrittely \*)

VAR\_INPUT

//Tulevat muuttujat

enable	:BOOL;	//Lupa suorittaa tehtävä
posref	:DINT;	//Paikan referenssi
posact	:DINT;	//Todellinen paikka
speedact	:DINT;	//Todellinen nopeus
Kp	:REAL;	//Paikkasäädön vahvistus

END\_VAR

VAR\_OUTPUT

//Lähtömuuttujat

speed_ref_out	:INT;	//Nopeuden referenssi
diffin	:BOOL;	//Kelkka referenssiarvossa, tosi tai epätosi

END\_VAR

VAR

//Muuttujat

refreal	: REAL;	//Paikan referenssi
actreal	: REAL;	//Todellinen paikka
difference	:REAL;	//Eroarvo
differenceSpeed	:REAL;	//Nopeuden eroarvo
Maxspeed	: REAL := 6000;	//Max.nopeus
Minspeed	: REAL := -6000;	//Min.nopeus (liike toiseen suuntaan)
Minpos	: REAL := -1009304;	//Kelkan ääriasema 1
Maxpos	: REAL := -996821;	//Kelkan ääriasema 2
speedref	:REAL;	//Nopeuden referenssi
debug	:ARRAY [1..10] OF INT;	//Voidaan seurata missä vaiheessa ja kuinka useasti ohjelman tietyssä pisteessä käydään (10 laskuria)

END\_VAR

(\* Implementaatiokoodi\*)

refreal:= DINT\_TO\_REAL (posref); //Tuleva arvo (posref) muutetaan REAL  
luvuksi ja on nyt refreal

actreal:= DINT\_TO\_REAL (posact); //Tuleva arvo (posact) muutetaan Real  
luvuksi ja on nyt actreal

IF enable THEN //Jos enable on true,  
difference := refreal-actreal; //niin ero on refreal-actreal  
debug[1]:= debug[1]+1; //Ohjelman ohittaessa tämä piste (1)  
lisätään laskurin arvoon +1

ELSE //Muuten  
difference :=0; //ero on nolla  
diffin:=FALSE; //Kelkka ei ajanut refenssiin  
debug[2]:= debug[2]+1; //Ohjelman ohittaessa tämä piste (2)  
lisätään laskurin arvoon +1

END\_IF

speedref:= Kp\*difference; //Nopeuden referenssi on paikkasäädön  
vahvistus kerrottuna paikan erolla

IF speedref > Maxspeed THEN //Jos nopeuden referenssi on suurempi  
kuin Max.nopeus

speedref := Maxspeed; //saa nopeuden referenssi  
max.nopeuden määrittämän arvon

END\_IF

IF speedref < Minspeed THEN

speedref := Minspeed;

END\_IF

```
IF ABS(difference) < 5 THEN //Jos absoluuttinen paikan eroarvo on
    pienempi kuin 5
    speedref:=0; //nopeuden referenssiksi asetetaan nolla
    IF ABS(speedact) < 20 THEN //Jos nopeuden arvo pienempi kuin 20
        debug[3]:= debug[3]+1; //laskuri (3) +1
        diffin:= TRUE; //kelkka on refenssiarvossa
    END_IF
ELSE
    diffin:= FALSE; //kelkka ei ole refenssiarvossa ts. kelkka
    on vielä liikkeessä
    debug[4]:= debug[4]+1;
END_IF

speed_ref_out:= REAL_TO_INT(speedref); //Servovahvistimelle lähetettävä
nopeuden referenssiarvo
```