



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Ron Winstén

SCARA-robotin kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

24.5.2018

Tekijä Otsikko	Ron Winstén SCARA-robotin kehittäminen
Sivumäärä Aika	25 sivua + 4 liitettä 24.5.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine	Autosähkötekniikka
Ohjaajat	Lehtori Antti Liljaniemi
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli viimeistellä Metropolia Ammattikorkeakoulun automaatiolaboratoriossa sijaitsevan Boschin valmistaman SCARA-robotin modernisointiprojekti ja suorittaa laitteistolle käyttöönotto. Robotti oli päätetty modernisoida, koska sen tekniikka oli jo vanhentunutta eikä laitteisto enää vastannut opetuskäytön tarpeisiin.</p> <p>Työ oli osa laajempaa projektia, jota oli viety eteenpäin edellisen vuoden aikana kahden eri ryhmän toimesta. Robottiin oli projektin edetessä uusittu kaikki sähköiset komponentit pneumatiikan magneettiventtiilejä lukuun ottamatta. Projekti oli kuitenkin jäänyt kesken ajan loppumisen vuoksi ja moottorin osoittauduttua vialliseksi. Ohjelmallinen osuus ja osa kytkennöistä oli vielä tekemättä.</p> <p>Robotille luotiin kinematiikkaohjelma, joka muuntaa akseleiden pyörimisliikkeen robotin työkalun liikkeeksi koordinaatistossa, sekä logiikkaohjelma, jota käyttäen robotilla voidaan poimia ja siirrellä kappaleita sekä ajaa robotti syötettyihin koordinaatteihin.</p> <p>Robotti saatiin mekaanisesti ja sähköisesti toimintakuntoon ja robotille onnistuttiin luomaan malliohjelma kappaleiden siirtämiseen telineessä. Myös turvajärjestelmä saatiin toimintakuntoon, joten robotti on valmis käyttöönotettavaksi. Robotille luotiin myös laitteiston toiminnan demonstroitiin ohjelma, joka siirtelee kappaleita siihen asti, kunnes se pysäytetään.</p>	
Avainsanat	SCARA, robotti, TwinCAT

Author Title	Ron Winstén Improvement of SCARA Robot
Number of Pages Date	25 pages + 4 appendices 24 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Professional Major	Automotive Electronics Engineering
Instructors	Antti Liljaniemi, Senior Lecturer
<p>The objective of this final year project was to finalize the modernization project of the Bosch SCARA robot of the Automation Laboratory of Metropolia University of Applied Sciences and perform initialization for the machinery. The modernization project was launched because the technology of the machinery was expired and did not fulfill the requirements for educational needs.</p> <p>This final year project was part of a larger project which had been progressing during the previous year by two individual groups. All the original electrical components of the machinery had been replaced except for the solenoid valves of the pneumatic system. The project had not been finished due to the time limit and one of the motors had turned out to be faulty at the end. Control system logics programming and mechanical overhauling was still in progress.</p> <p>Two programs were created for the robot: kinematic transformation program which is used to transfer rotation of the axles into coordinate- based motion and logic program which is used to pick up and transfer objects and drive robot into entered coordinates.</p> <p>As a result of this thesis, the machinery was overhauled into operational condition and a sample program was created to control the robot by interface. Also a Demo program was created which can be set to run- mode to demonstrate operation of the machinery. Safety hardware was also brought into operational condition and after that the machinery is ready to be used for education.</p>	
Keywords	SCARA, robot, TwinCAT

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Laitteisto	2
2.1	Bosch SR-60 -robotti	2
2.2	Moottorit	4
3	Ohjauslaitteisto	5
3.1	Beckhoffin sulautettu PC CX5130	5
3.2	Moottorinohjaimet	5
3.3	Beckhoff AX5801 Twinsafe -kortti	6
3.4	Schneider ABL8RPM24200 24 V -jännitelähde	7
3.5	Induktiiviset anturit	8
3.6	SMC ZX-10 -alipaineventtiili	8
4	Turvalaitteisto	9
4.1	SICK FX3-CPU000000 -turvalogiikka	9
4.2	SICK FX3-XTIO84002 -moduuli	9
4.3	SICK STR1-XDAU0AC5 -turvarajakytkin	10
4.4	SICK C2000 -valoverho	11
5	Työn kulku	12
5.1	Turvalaitteisto	12
5.2	Mekaaninen kunnostus	13
5.3	Robotin johdotustyöt	15
6	Ohjelman tekeminen	Error! Bookmark not defined.
7	Yhteenveto	23
	Lähteet	24

Liitteet

- Liite 1. Malliohjelman käynnistysohjeet
- Liite 2. Turvalogiikan ohjelma
- Liite 3. Sähköpiirustus
- Liite 4. Kuva laitteistosta

Lyhenteet

SCARA	Selective Compliant Assembly Robot Arm. Käsivarsirobotin rakennetyyppi.
PC	Personal Computer. Tietokone.
PLC	Programmable logic controller. Ohjelmoitava logiikka.
I/O	Input / Output. Sisääntulo ja ulostulo.
USB	Universal Serial Bus. Liitäntästandardi.
DVI	Digital Visual Interface. Kuvan siirtämiseen tarkoitettu liitäntästandardi.
EtherCAT	Ethernet for Control Automation Technology. Automaatiossa käytettävä kenttäväylä.
FBD	Function Block Diagram. Graafinen ohjelmointikieli.
ST	Structured Text. Tekstipohjainen ohjelmointikieli.
GVL	Global Variable List. Globaalien muuttujien lista.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on viimeistellä Metropolian Myyrmäen-kampuksen automaatiolaboratoriossa sijaitsevan SCARA-robotin (liite 4) modernisointiprojekti sekä suorittaa käyttöönotto laitteistolle, jotta se saataisiin opetuskäyttöön. Projektia on viety eteenpäin kahden edellisen lukukauden aikana kahden eri ryhmän toimesta. Tarkoituksena on saattaa laitteisto käyttökuntoon, viimeistellä ja siistiä keskeneräiset asennukset ja sähköiset kytkennät sekä piirustukset, tehdä logiikalle mallisovellus ja ohjeet sovelluksen tekemiseen sekä suunnitella ja toteuttaa turvalaitteiston toiminta ja dokumentointi.

Laitteistoon kuuluu Bosch SR-60 SCARA -robotti, robotin ohjausjärjestelmä sekä turvajärjestelmä. Laitteistoon oli uusittu kaikki sähköiset osat pneumatiikan magneettiventtiileitä lukuun ottamatta. Robotti oli päätetty modernisoida, koska tekniikka oli vanhentunutta eikä laitteisto enää ollut tarkoituksenmukainen opetuskäytössä. Lisäksi laitteiston vieressä on erillinen liukuhihnasto, jonka sisällyttämisestä laitteistoon ei ole vielä lopullisesti päätetty.

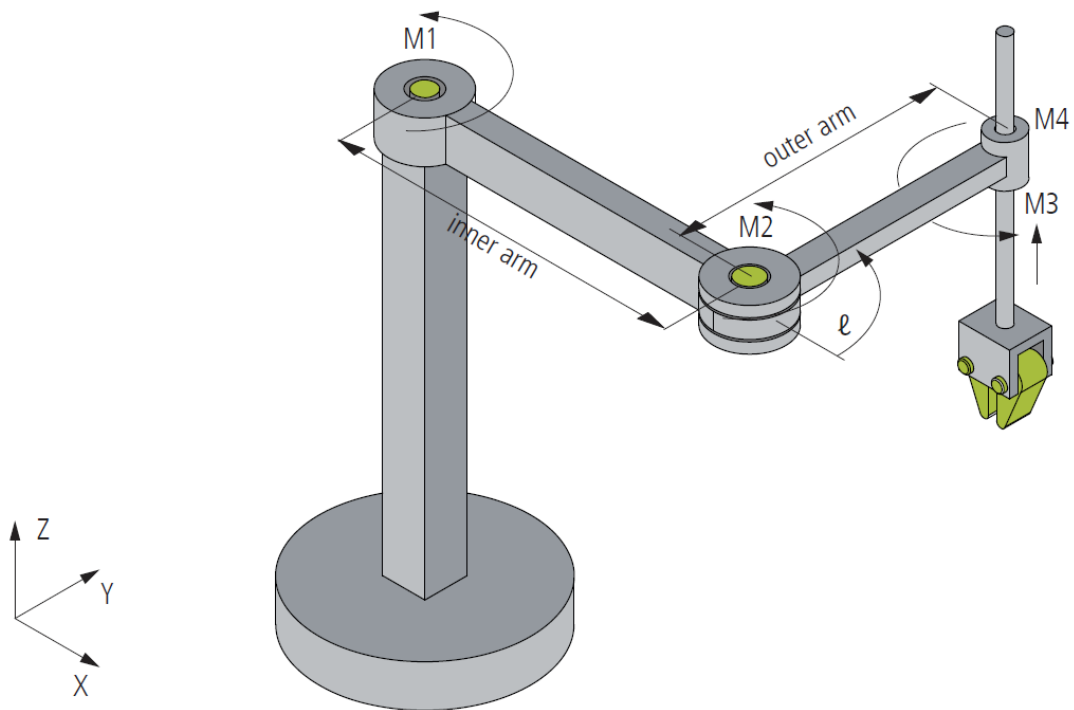
Ensimmäinen projektiryhmä oli suunnitellut laitteiston modernisoinnin ja projekti oli jäänyt siihen pisteeseen, että projektia varten tarvittavat komponentit oli valittu, hankittu ja saatu pääosin asennettua mekaanisesti paikalleen. Sähköiset kytkennät oli tehty niin pitkälle, että akseleiden moottoreita oli päästy koeajamaan, mutta turvalaitteiston sekä itse robotissa sijaitsevien komponenttien johdotukset olivat vielä pääosin tekemättä. Pneumatiikkaliitännät olivat myös vielä tekemättä. Ryhmälle oli moottoreita konfiguroitaessa ilmennyt, että yhteen moottoreista ei saatu yhteyttä ja moottori oli osoittautunut vialliseksi. Varsinaista ohjelmaa robotille ei ollut ehditty ajan loppumisen vuoksi toteuttamaan. [1]

Toinen ryhmä oli keskittynyt ohjelmalliseen puoleen ja tehnyt robotille virtuaalisen käyttöönoton simuloinnin avulla. Robotille oli tehty ohjelma, jolla robottia pystytään ajamaan simulaatiossa haluttuihin koordinaatteihin. [2]

2 Laitteisto

2.1 Bosch SR-60 -robotti

Bosch SR-60 on tyypiltään SCARA-robotti (kuva 1), ja se on valmistettu 90-luvun lopulla. Robotissa on käytetty alun perin Boschin vaihtosähkömoottoreita, mutta moottorit oli korvattu modernisointiprojektin alussa Beckhoffin servomoottoreilla.



Kuva 1. SCARA-tyyppisen robotin rakenne [3].

SCARA-tyyppisen robotin vahvuuksia ovat suuri nopeus ja tarkkuus, helppokäyttöisyys ja vähäinen huollontarve. SCARA-robotteja käytetään esimerkiksi kokoonpanolinjastoissa kappaleiden siirtämiseen. Robotin sisempää vartta kutsutaan käsivarreksi ja ulompaa kyynärvarreksi. [4; 5]

SCARA-robotin kinematiikka (kuva 2) voidaan laskea seuraavista kaavoista:

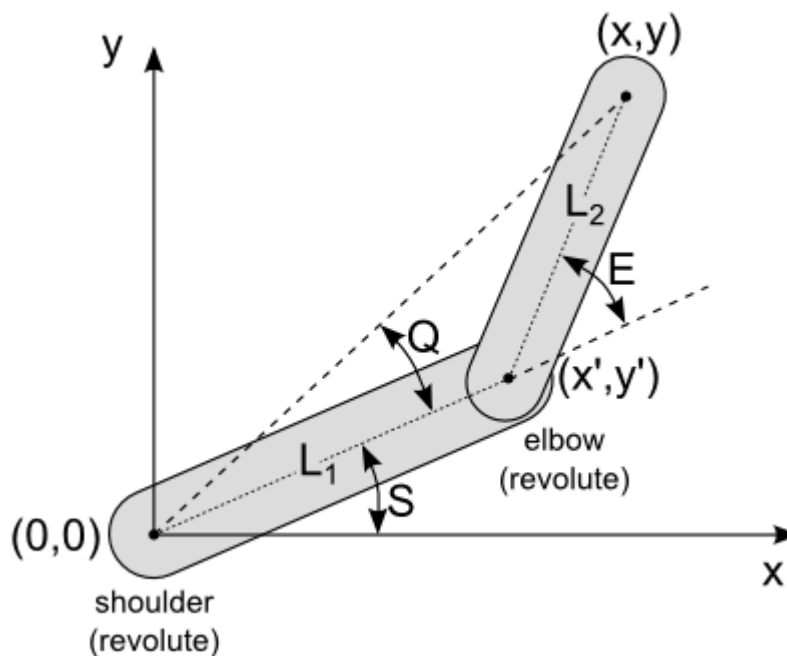
$$E = \cos^{-1} \left(\frac{x^2 + y^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2} \right)$$

$$(S + Q) = \left(\frac{y}{x} \right)$$

$$Q = \cos^{-1} \left(\frac{x^2 + y^2 + L_1^2 - L_2^2}{2L_1\sqrt{x^2 + y^2}} \right)$$

$$S = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) - \cos^{-1} \left(\frac{x^2 + y^2 + L_1^2 - L_2^2}{2L_1\sqrt{x^2 + y^2}} \right)$$

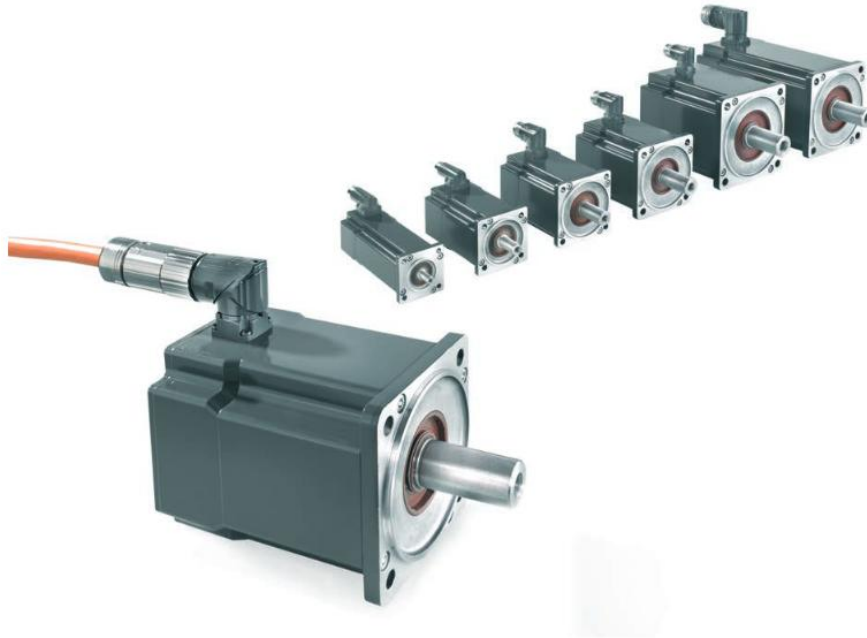
joissa L_1 on robotin käsivarren pituus, L_2 robotin kyynärvarren pituus, S on käsivarren ja x-akseliin välinen kulma, E on kyynärvarren ja käsivarren välinen kulma ja Q on työkalupisteen ja origon välisen akselin sekä käsivarren välinen kulma. [5]



Kuva 2. SCARA-robotin kinematiikka [5].

2.2 Moottorit

Moottoreina käytetään Beckhoffin valmistamia AM8000-sarjan servo-moottoreita (kuva 3). Käsivarren moottorina käytetään suurempaa Beckhoffin AM8031-1F20-0000-mallista moottoria. Muut kolme moottoria ovat samankaltaisia, mutta astetta pienempikokoisia AM8021-mallisia moottoreita.



Kuva 3. AM8000-sarjan moottorit [6].

3 Ohjauslaitteisto

3.1 Beckhoffin sulautettu PC CX5130

Robotin ohjaus toteutettiin Beckhoffin CX5130-0125 -mallisen sulautetun PC:n (kuva 4) avulla. PC käyttää Microsoft Windows Embedded Compacts 7 -käyttöjärjestelmää. Suorittimena laitteessa toimii 1,75 GHz:n kellotaajuudella toimiva Intel Atom - prosessori. Laite on ominaisuuksiltaan eräänlainen yhdistetty PLC ja Windows PC. Tämä mahdollistaa laitteelle monipuolisemman käytön ja itsenäisemmän toiminnan kuin tavallinen PLC. Laitteessa on kaksi verkkokorttia, DVI-portti sekä neljä USB-porttia, joten laitteeseen voidaan liittää näyttö, näppäimistö ja hiiri, joiden avulla mm. ohjelmistojen ja kirjastojen asentaminen on helpompaa. [7]



Kuva 4. Beckhoff CX5130 -sulautettu PC [7].

3.2 Moottorinohjaimet

Moottoreiden ohjaamiseen käytettiin kahta Beckhoffin valmistamaa AX5203-0000-0200-mallista servo-ohjainlaitetta (kuva 5). Ohjainlaitteet ovat kaksikanaviaisia eli kummallakin laitteella voidaan ohjata kahta moottoria. Servo-ohjain ohjaa moottoreita

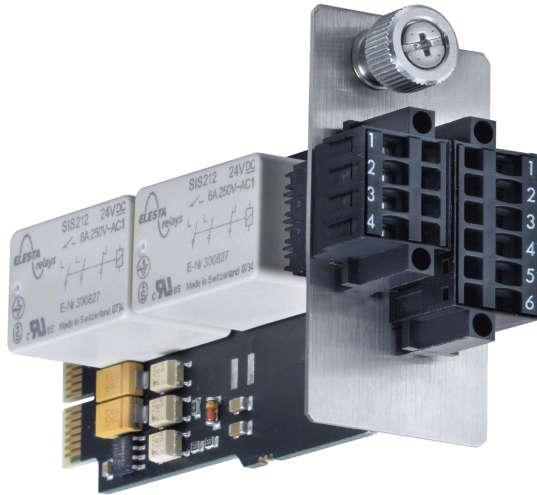
niiltä tulevan asentotiedon perusteella. Moottorinohjaimet kommunikoivat logiikan kanssa EtherCAT-kenttäväylän kautta. [8]



Kuva 5. Beckhoff AX5203 -servo-ohjainlaite [9].

3.3 Beckhoff AX5801 Twinsafe -kortti

Hätä-seis-toimintoa varten servo-ohjaimille hankittiin sopivat Beckhoffin Twinsafe kortit (kuva 6), joiden avulla servo-ohjainlaitteet menevät stop-tilaan ja moottorit sammuvat heti, mikäli Twinsafe-kortille turvalogiikalta tuleva 24 V:n jännite katkeaa. Korttien asennuksen jälkeen yhtä servojen parametreista täytyi muuttaa, jotta kortit sai käyttöön.



Kuva 6. Beckhoff AX5801 Twinsafe -kortti. [10]

Turvakortin ansiosta hätä-seis-toiminto pystyttiin toteuttamaan ilman verkkojännitteen katkaisua servo-ohjaimilta. Turvakortin toiminta perustuu kahteen releeseen, joita turvalogiikalta tuleva 24 V:n jännite ohjaa. [10]

3.4 Schneider ABL8RPM24200 24 V -jännitelähde

Virtalähteenä ohjauslaitteistolle käytettiin Schneiderin valmistamaa ABL8RPM24200-mallista jännitelähdettä (kuva 7), joka muuntaa 230 V:n verkkojännitteen 24 V:n tasajännitteeksi.



Kuva 7. Schneider ABL8RPM24200 -jännitelähde [11].

Jännitelähteen nimellisteho on 480 W ja maksimivirta 20 A. Ulostulojännitettä voidaan säätää 24–28,8 voltin välillä. Jännitelähteessä oleva sisäänrakennettu suojaus katkaisee ulostulon, mikäli jännite tai virta nousee liian suureksi. [11]

3.5 Induktiiviset anturit

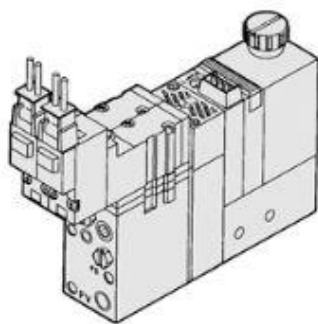
Robotissa käytettiin Balluff BES 516-325-S4-C -mallisia induktiivisia antureita (kuva 8) tunnistamaan akseleiden asentoa, jotta ohjelmaan pystyttiin tekemään varmistus, ettei robotti missään tilanteessa yritä kääntää akseleita ei-sallittuun asentoon.



Kuva 8. Balluff BES 516-325-S4-C -anturi [12].

3.6 SMC ZX-10 -alipaineventtiili

Robotin pneumatiikassa käytettiin ZX-10-mallista alipaineventtiiliä (kuva 9), jonka avulla robotille tulevasta paineilmasta saatiin tehtyä kappaleiden nostamiseen tarkoitetulle imukupille alipaine.



Kuva 9. ZX-10 -alipaineventtiili [13].

4 Turvalaitteisto

4.1 SICK FX3-CPU000000 -turvalogiikka

Turvalaitteiston keskeisenä komponenttina oli SICK FX3-CPU000000 -mallinen PLC (kuva 10), joka ohjaa robotin turvalaitteistoa. PLC on suunniteltu erityisesti turvalaitteistokäyttöön. [14]



Kuva 10. SICK FX3 -turvalogiikka [14].

4.2 SICK FX3-XTIO84002 -moduuli

SICK FX3 -turvalogiikka tarvitsee kylkeensä I/O-moduulin (kuva 11), sillä itse PLC:ssä ei ole lähtöjä tai tuloja lainkaan. Sisääntuloihin kytkettiin turvallisuuteen liittyvät anturit sekä hätä-seis-kytkin. Laitteen ulostuloon kytkettiin ainoastaan Twinsafe-kortit.



Kuva 11. SICK FX3-XTIO84002 [15].

4.3 SICK STR1-XDAU0AC5 -turvarajakytkin

Laitteistossa käytettiin SICK STR1-XDAU0AC5 -mallista turvarajakytkintä (kuva 12), jonka avulla turvalogiikka pystyy tunnistamaan, mikäli laitteiston oviluukku avataan, minkä seurauksena moottoreilta katkaistaan virrat laittamalla moottorinohjaimet stop-tilaan, jotta kukaan ei pääse robotin käyttöalueelle oviaukon kautta robotin ollessa liikkeessä.



Kuva 12. SICK STR1 -turvarajakytkin [16].

4.4 SICK C2000 -valoverho

Liukuhihnaston puolella robotin suojarakennelman rakenne on avoin, joten kyseisellä puolella käytetään SICK C2000 -valoverhoa (kuva 13) tunnistamaan mikäli joku yrittäisi päästä robotin käyttöalueelle. Valoverho koostuu lähettimestä ja vastaanottimesta, jotka on sijoitettu aukon vastakkaisille puolille. Mikäli liukuhihnasto päätetään sisällyttää laitteistoon, täytyy turvalogiikan ohjelmaa vähintäänkin alkuun muuttaa siten, että kun robotin tiedetään koordinaattien perusteella olevan ylittämässä valoverhon sädettä, jätetään valoverhon signaali huomiotta turvalogiikassa. Muussa tapauksessa robotti pysähtyy valoverhoon osuessaan ja moottorinohjaimet ovat stop tilassa, kunnes robotti on käsivoimin siirretty pois valoverhon säteestä ja sinistä reset-nappia painetaan. Parempi ratkaisu olisi tällöin kääntää nykyistä valoverhoa 90 astetta ja asentaa lisäksi toinen valoverho nykyisen vastaanottimen paikalle, jolloin valoverhot olisivat poikittain liukuhihnastoon nähden ja näin ollen estäisivät pääsyn myös liukuhihnaston päällä olevalle robotin työskentelyalueelle.



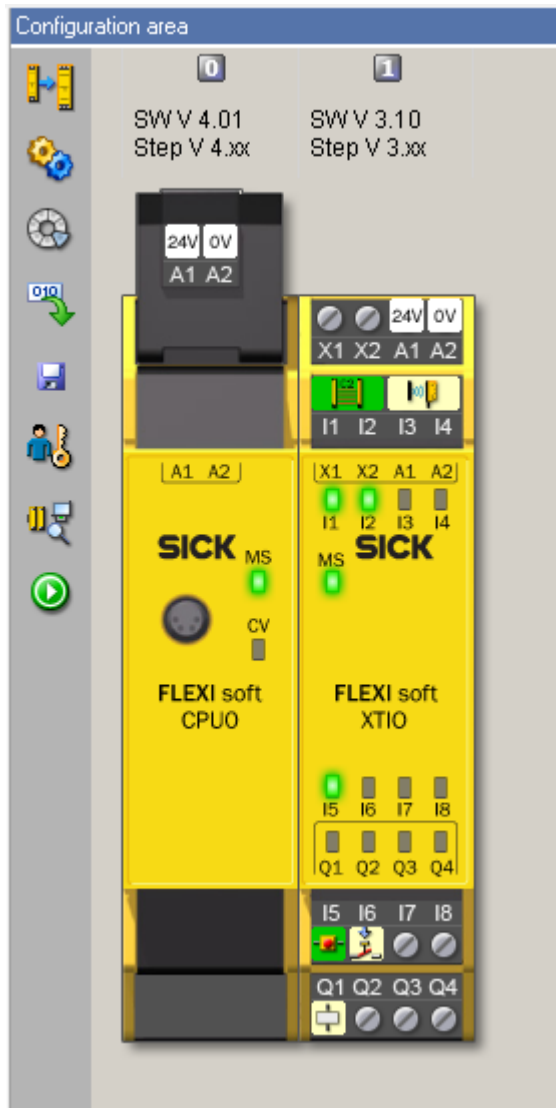
Kuva 13. SICK C2000 -valoverho [17].

5 Työn kulku

5.1 Turvalaitteisto

Työ aloitettiin turvalaitteiston johdotuksella ja kytkemällä valoverho, turvarajakytkin sekä hätä-seis-kytkin SICK FX3 -turvalogiikkaan. Turvalogiikan hardware-konfiguraatio nähdään kuvasta 14. Komponentit olivat kiinnitetty edellisen ryhmän toimesta paikalleen, mutta valoverhon lähettimen ja vastaanottimen tarkka kohdistus oli jäänyt tekemättä, joten kiinnitystä jouduttiin vielä säätämään. Valoverholle oli valmiiksi hankittuna kaapelit, joissa oli sopivat liittimet valoverhoon. Kaapeleiden toinen pää voitiin katkaista sopivan mittaiseksi, sillä liitos logiikkaan tehtiin riviliittimen läpi, joten liitintä ei toisessa päässä tarvittu. Johtimien päät kuitenkin holkitettiin. Oven turvarajakytkimelle ei ollut valmiina kaapelia, mutta liitin oli hankittuna, joten valoverhon kaapelista lyhennetty osa saatiin hyödynnettyä turvarajakytkimen kaapelina.

Turvalogiikka ohjelmoitiin toimimaan siten, että turvalogiikan ulostulo Q1 aktivoidaan syöttämään 24 voltia, sen jälkeen kun ohjauspaneelissa sijaitsevaa sinistä nappia on painettu. Ulostulo Q1 kytkettiin Twinsafe-turvakorttien liittimiin 2 ja 4. Mikäli valoverho, turvarajakytkin tai hätä-seis-kytkin aktivoituu, jännitteensyöttö logiikan ulostulosta katkeaa, minkä johdosta turvakortit asettavat servo-ohjaimet seis-tilaan. Jännitteensyöttö voidaan aktivoida uudestaan painamalla sinistä painonappia, mikäli valoverho, turvarajakytkin tai hätä-seis-kytkin ei ole enää aktivoituna. Turvalaitteiston logiikkaohjelma löytyy liittestä 2.

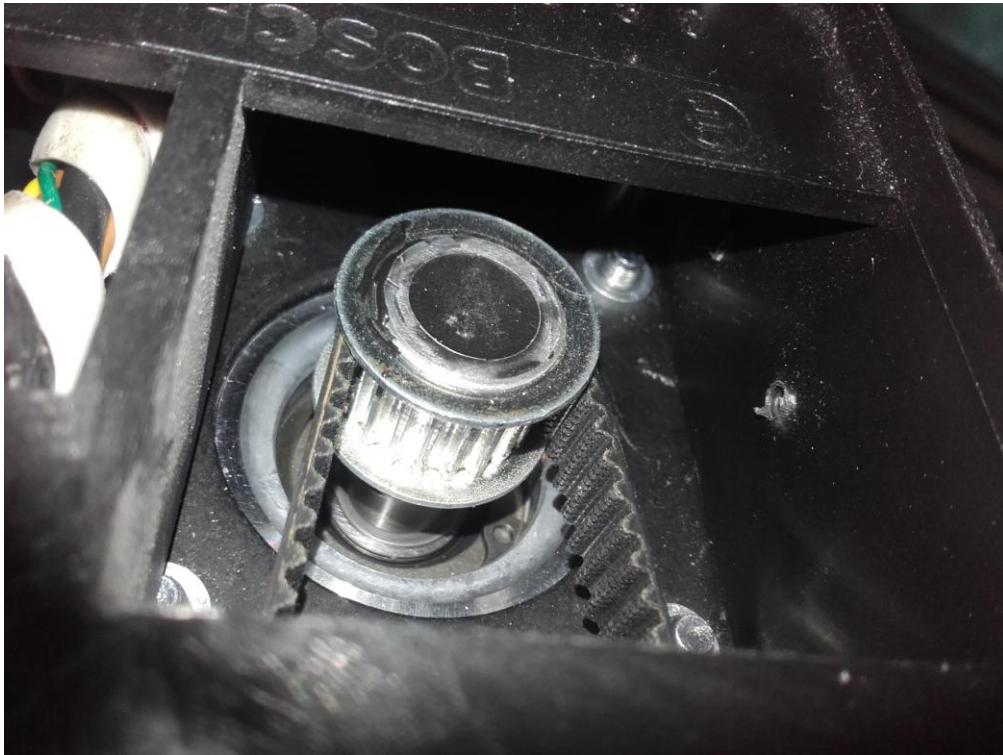


Kuva 14. Turvalogiikan hardware-konfiguraatio.

5.2 Mekaaninen kunnostus

Mekaaninen kunnostus aloitettiin varmistamalla uuden z-akselin moottorin toiminta ennen hihnapyörän asennusta moottorin akselille. Moottori pyörittää hihnapyörän välityksellä kuularuuvia, joka nostaa robotin työkalua. Moottori todettiin koeajossa toimivaksi. Hihnapyörä oli ollut asennettuna alkuperäisen moottorin akselille lämpösovitteella, mutta koska hihnapyörä oli melko kireä uuden moottorin akseliin eikä hihnapyörää olisi voitu helposti asentaa paikoilleen helposti ilman riskiä mahdollisesta moottorin vahingoittumisesta, päätettiin hihnapyörän reikää suurentaa ja kiinnitys toteuttaa 2-komponenttisen liiman avulla (kuva 15).

Hihnapyörän keskireikä päätettiin porata 1 mm alkuperäistä suuremmaksi, sillä käytetty liima sisältää kooltaan 0,3 mm:n kokoisia lasikuulia, joten hihnapyörän välyksen akseliin nähden täytyi olla suurempi kuin 0,6 mm, jotta liiman sisältämät lasikuulat mahtuivat hihnapyörän ja akselin väliin. Hihnapyörän reikään jätettiin kuitenkin pohjalle pieni osuus, jossa välys jäi pienemmäksi, jotta hihnapyörä keskittäisi itsensä paremmin eikä hihnapyörä jäisi epäkeskoksi akseliin nähden.



Kuva 15. Hihnapyörä liimattuna paikalleen moottorin akseliin, moottori asennettuna paikalleen.

Robotin ensimmäisen ja toisen akselin hammaspyörästäön lisättiin vaihteistoöljyä, sillä vanhat öljyt oli poistettu kuljetuksen takia, kun laitteisto siirrettiin Metropolian Myyrmäen kampukselle entisestä koneautomaatiolaboratoriosta Eerikinkadulta. Öljytila on tiivis pohjasta mutta ei yläosastaan, joten robotin kääntämistä kuljetuksen aikana pitäisi välttää, mikäli öljyä ei ole poistettu.

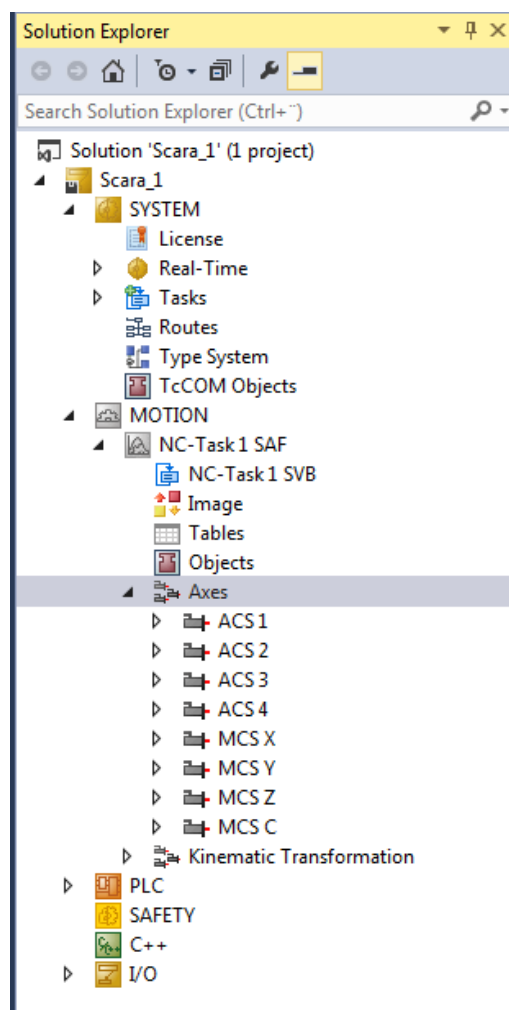
5.3 Robotin johdotustyöt

Pneumatiikan magneettiventtiileissä oli vakiona liian lyhyet johtimet, jotka eivät yltäneet robotin ulkopuolelle lainkaan, joten johtimia täytyi jatkaa. Johtimet liitettiin tinaamalla 8x0.15-datakaapeliin, jonka johtimet kytkettiin toisesta päästä Beckhoffin PLC:n output-riviliittimiin. Juotokset eristettiin toisistaan kutistesukan avulla. Magneettiventtiileiden maajohtimet tinattiin kaapelin ulkojohtimeen, joka kytkettiin 0 V:n riviliitinkiskoon. Toista datakaapelia käytettiin robotin työkalun sähköille ja kaapeliin jäi vapaaksi neljä johdinta mahdollista tulevaa käyttöä varten. Kolmas datakaapeli kytkettiin akseleiden asentoa tunnistaviin induktiivisiin antureihin, joiden omat johtimet ylettyivät robotin ensimmäisen akselin kohdalla olevaan kytkentätilaan, jossa ne yhdistettiin tinaamalla datakaapelin johtimiin. Liitteestä 1 voidaan nähdä robotin kytkentäkaavio. Laitteistolle vedettiin lisäksi paineilmaliihtäntä robotin yläpuolella roikkuvalta paineensäätimeltä. Laitteistolle asennettiin oma paineensäädin, jotta painetta voidaan tarvittaessa vähentää tai lisätä sekä tehdä laitteisto paineettomaksi helpommin.

6 Logiikan ohjelmointi

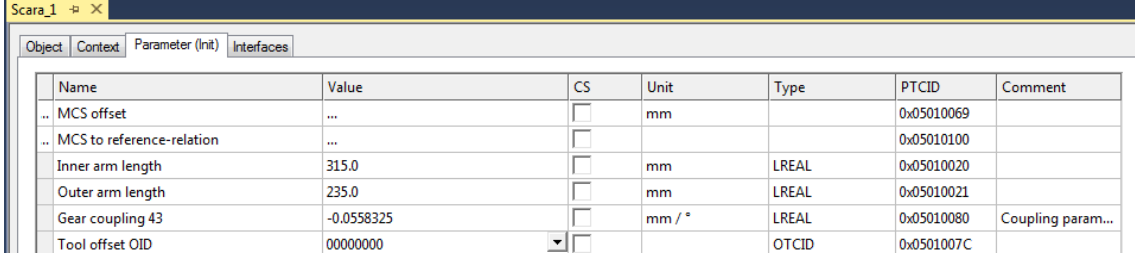
Ohjelman tekemiseen käytettiin Microsoft Visual Studio -ohjelman pohjalle rakennettua Beckhoffin Twincat-ohjelmaa. Ohjelmointi aloitettiin kinematiikkaohjelman rakentamisella, joka muuttaa robotin akseleiden pyörimisliikkeen robotin työkalun liikkeeksi koordinaatistossa. Kinematiikkaohjelman ja robotin koordinaattiajon testiohjelman tekemiseen SCARA-tyyppiselle robotille löytyi Metropolialta aiemman innovaatioprojektin tuloksena syntyneet ohjeet, joita seuraamalla kinematiikkaohjelma toteutettiin.

Ohjelman tekeminen aloitettiin skannaamalla kytketty laitteisto ohjelmaan, minkä jälkeen ohjelmaan luotiin lisäksi akselit koordinaatiston X, Y, Z ja C -akseleille (kuva 16).



Kuva 16. Luodut akselit.

Seuraavaksi luotiin uusi NC-kanava Kinematic Transformation ja sille uusi objekti SCARA-tyyppiselle moottorille. Objektiin parametreihin korjattiin robotin ulomman ja sisemmän käden mitat oikeaksi (kuva 17). GVL:ään lisättiin tarvittavat I/O-muuttujat akselleille. GVL:ään lisättiin myös ensimmäisen projektiryhmän tekemä I/O-muuttujalistaus, jota täydennettiin nimeämällä uudelleen kytkentäpaikan mukaiset output-muuttujat magneettiventileille sekä input-muuttujat induktiivisille antureille.



Name	Value	CS	Unit	Type	PTCID	Comment
... MCS offset	...	<input type="checkbox"/>	mm		0x05010069	
... MCS to reference-relation	...	<input type="checkbox"/>			0x05010100	
Inner arm length	315.0	<input type="checkbox"/>	mm	LREAL	0x05010020	
Outer arm length	235.0	<input type="checkbox"/>	mm	LREAL	0x05010021	
Gear coupling 43	-0.0558325	<input type="checkbox"/>	mm / °	LREAL	0x05010080	Coupling param...
Tool offset OID	00000000	<input type="checkbox"/>		OTCID	0x0501007C	

Kuva 17. SCARA-objektin parametrit.

Seuraavaksi kirjoitettiin ST-ohjelmointikielillä Main-ohjelma ja sen A_EnableAxes-aliohjelma käytettyjen ohjeiden avulla. Main-ohjelmaan tehtiin tarvittavat muutokset sovitettaessa ohjelma käytettyyn kokoonpanoon. Robotti asetettiin 0-asentoon eli molemmat käsivarret suoraan eteenpäin ja akselien asentoarvot kompensoitiin nollassa moottorin Position Bias -parametriä muuttamalla. Parametri lisää asetetun arvon akselin asentoarvoon, joten jotta arvo saatiin nollassa kenttään asetettiin akselin senhetkisen arvon vastaluku.

Kinematikkaohjelman testaamisen alkuvaiheessa kuitenkin selvisi, että Beckhoffin logiikalle ei ollut asennettu kinematikkakirjastoa, joten ohjelmaa ei pystytty testaamaan. Beckhoffin logiikan käyttämä muistikortti oli muistiltaan 4 GB, minkä johdosta kortti oli jo valmiiksi täynnä, sillä pelkkä käyttöjärjestelmä on kooltaan samaa luokkaa, joten kirjaston asentamiselle ei ollut enää tilaa. Logiikalle päädyttiin hankkimaan uusi suurempi 16 GB:n muistikortti, jotta muistin loppumisesta ei tulisi ongelmaa myöskään tulevaisuudessa. Muistikortille oli valmiiksi asennettuna uusin ohjelmistoversio, joten kortti voitiin ottaa suoraan käyttöön. Laboratorioon hankittiin myös logiikassa käytettävään CFast-muistikorttityyppiin sopiva lukija, jonka avulla logiikan ohjelmisto voidaan päivittää tarvittaessa myöhemmin.

Testaaminen aloitettiin asettamalla muuttujat bUserEnableAxes- ja bUserConfigGroup TRUE-tilaan. Tämän jälkeen Axes Online -välilehdellä näkyy X, Y, Z ja C -akselit ja

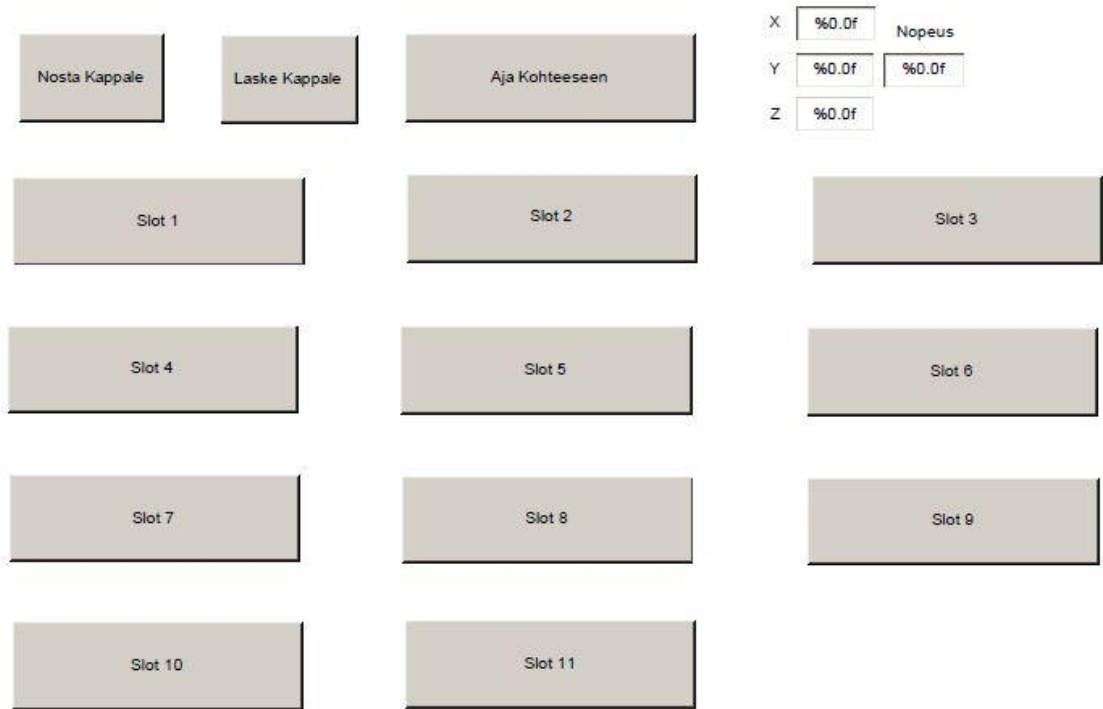
robotin työkalun sijainti koordinaatistossa. X-akselin arvo on robotin 0-asennossa 550 muiden akselien arvon ollessa 0 (kuva 18).

Name	Actual Pos.	Setp. Pos.
MCS X	550.0000	550.0000
MCS Y	0.0000	0.0000
MCS Z	0.0000	0.0000
MCS C	0.0000	0.0000

Kuva 18. Axes Online -välilehti.

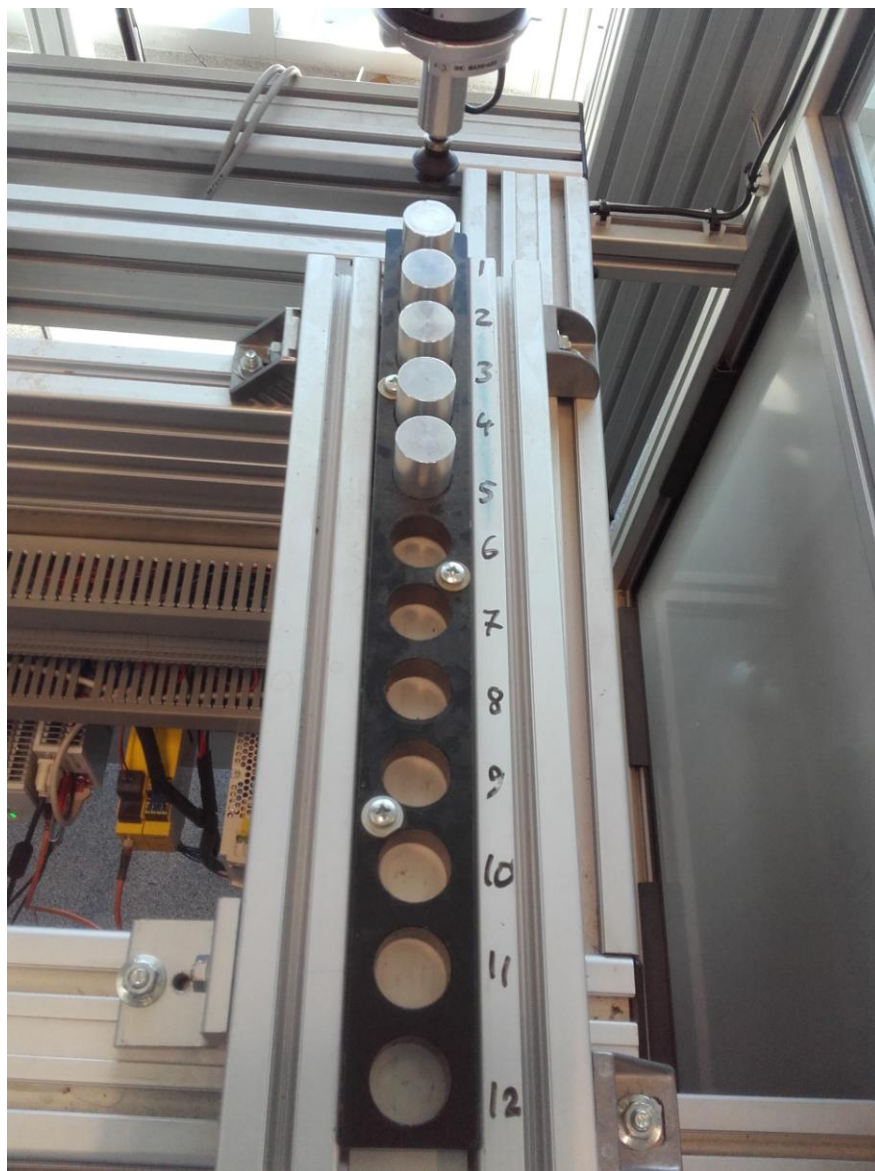
Robottia testattiin ajamalla sitä koordinaatiston akseleiden suuntaisesti. Huomattiin, että robotti ei liiku aivan täysin akseleiden suuntaisesti, vaan tekee erittäin lievästi kaarevaa liikettä. Toimintaa saatiin parannettua muuttamalla moottorien Feed constant -arvoja, jotka kertovat ohjelmalle, kuinka monta astetta robotin akseli kääntyy yhtä moottorin kierrosta kohden. Pieni heitto koordinaatiston ja todellisen sijainnin välillä ei kuitenkaan juuri haittaa robotin käyttöä, sillä käytännössä robotin kohteiden koordinaatit tarkastetaan joka tapauksessa ajamalla robotti kyseiseen sijaintiin eikä mittaamalla todellisia etäisyyksiä.

Testaamisen jälkeen aloitettiin varsinaisen ohjelman tekeminen. Robotille tehtiin kaksi erilaista ohjelmaa käyttäen graafista FBD-ohjelmointikieltä. Ensimmäisellä ohjelmalla voidaan ajaa vapaasti syötettyihin koordinaatteihin, nostaa ja laskea kappaleita sekä ajaa telineessä sijaitsevien 11 ensimmäisen reiän kohdalle, jossa käytettäviä kappaleita säilytetään (kuva 19). GVL:ään luotiin omat muuttujat jokaista reikää kohden, joita käytetään käskynä ajaa kyseisen reiän kohdalle. Samalla luotiin myös muuttujat ilmaisemaan, milloin toiminto on suoritettu. Liitteestä 3 nähdään, kuinka luotua ohjelmaa pystytään ajamaan.



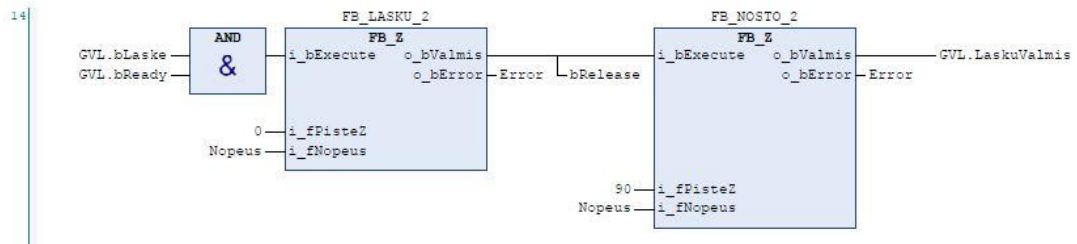
Kuva 19. Luodun ohjelman käyttöliittymä.

Kappaleina laitteistossa käytetään alumiinisia lieriöitä, jotka sopivat telineessä oleviin reikiin (kuva 20). Reiälle numero 12 ei luotu funktioblokkia, sillä koordinaatteja asetettaessa huomattiin, että se sijaitsee aivan robotin työskentelyalueen laidalla ja robotin 2. akselin moottori joutuu tekemään äkkipysähdyksen, mikäli kyseiseen sijaintiin ajetaan.



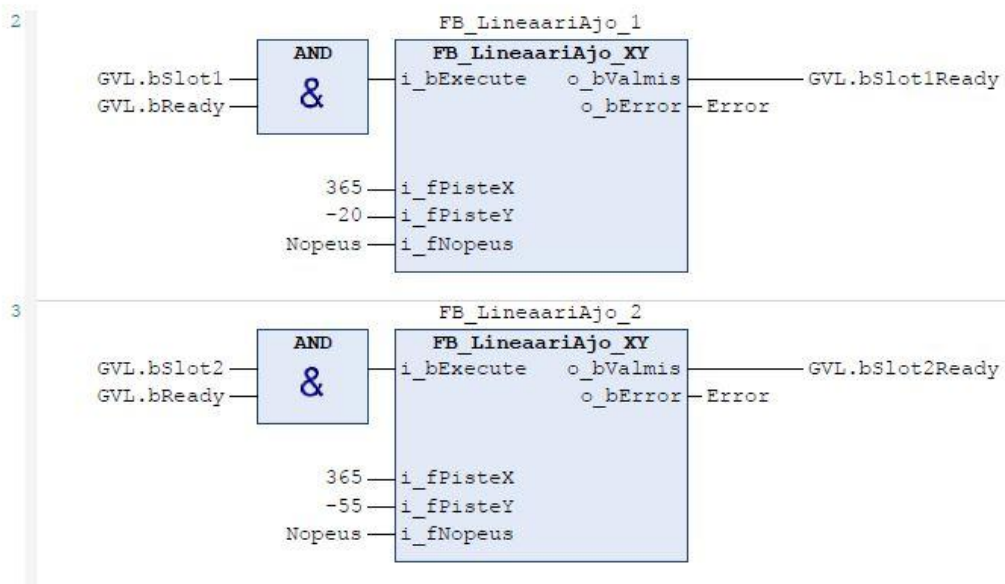
Kuva 20. Laitteiston teline käytettäville kappaleille.

Ohjelman rakentaminen aloitettiin kirjoittamalla ST-ohjelmointikielellä FB_LineaariAjo-funktioblokki käytetyn ohjeistuksen perusteella. Kyseistä funktioblokkia käyttäen robotti voidaan ajaa haluttuihin koordinaatteihin valitulla nopeudella. Lisäksi tehtiin malliohjelmaa varten yksinkertaistetummat funktioblokit FB_LineaariAjo_XY ja FB_Z, joista toisella robottia voidaan ajaa vain XY-koordinaatistossa ja toisella vain Z-akselin suuntaisesti. Z-blokkia käytetään kappaleiden nostamiseen ja laskemiseen (kuva 21) ja XY-blokkia kappaleiden siirtämiseen (kuva 22).



Kuva 21. Malliohjelman Laske-toiminto.

Malliohjelmassa käytetään muuttujia GVL.bSlot1–GVL.bSlot11 aktivoimaan robotin siirtyminen numeron mukaisen reiän kohdalle kappaletelineessä. Myös muuttujan GVL.bReady tulee tällöin olla true-tilassa. Aina kun siirtyminen on valmis jokin muuttujista GVL.bSlot1Ready–GVL.bSlot11Ready käy true-tilassa asettaen samalla myös muuttujan GVL.bReady true-tilaan. Muuttuja voidaan asettaa true-tilaan myös painamalla ohjauspaneelin vihreää nappia, jotta ohjelma toimisi ensimmäisellä kerralla laitteiston käynnistyksen jälkeen.



Kuva 22. Malliohjelman toimintaperiaate.

Toisesta ohjelmasta tehtiin eräänlainen demo-ohjelma, jota voidaan käyttää robotin toiminnan demonstrointiin. Ohjelma jatkaa toimintaansa niin kauan, kunnes se sammutetaan. Ohjelma käynnistetään painamalla ohjauspaneelissa (kuva 23)

sijaitsevaa vihreää nappia kolme kertaa peräkkäin kahden sekunnin aikana. Ohjelma toimii siten, että se siirtää kappaletelineen paikoissa 1–5 olevat lieriöt paikkoihin 5–10, minkä jälkeen robotti siirtää kappaleet takaisin paikoille 1–5. Ohjelman ollessa käynnissä ohjelma voidaan sammuttaa painamalla vihreää nappia kerran. Tämän jälkeen ohjelma kuitenkin jatkaa vielä toimintaansa siihen asti, kunnes kappaleet ovat takaisin paikoilla 1–5.



Kuva 23. Laitteiston ohjauspaneeli.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli viimeistellä modernisointiprojekti niin, että laitteisto voidaan ottaa opetuskäyttöön. Mekaaninen kunnostus onnistui ilman suurempia ongelmia. Kinematiikkaohjelma sekä malliohjelma, jota käyttäen robotilla voidaan siirtää kappaleita, saatiin toimimaan.

Kinematiikkaohjelman testaamisessa oli alkuun ongelmia logiikan muistin loppumisen takia, eikä ohjelman simulointikaan onnistunut tuntemattomaksi jääneestä syystä. Ongelma saatiin kuitenkin ratkaistua suuremmalla muistikortilla ja kinematiikkaohjelma saatiin toimimaan ilman suurempia ongelmia.

Demo-ohjelman testauksessa ilmeni viime hetkellä ongelmia robottia liikuttavien funktioblokkien valmistuneisuutta osoittavien muuttujien suhteen, joiden arvot eivät muuttuneet lainkaan, vaikka funktio olisikin suoritettu, mutta vian tunnistettiin johtuvan siitä, että muuttujat vain kävivät erittäin nopeasti true-tilassa palaten false-tilaan, ja pienten muutosten jälkeen ohjelma saatiinkin toimimaan.

Tulevaisuudessa laitteistoa voisi kehittää integroimalla laitteistoon liukuhihnasto, jolloin robotilla voitaisiin tehdä useampia erilaisia harjoituksia. Tällöin turvalaitteistoa kannattaisi muuttaa lisäämällä toinen turvaloverho. Vaihtoehto voisi olla pienikokoisen liukuhihnan asennus, jolloin liukuhihna ei juuri lisäisi laitteiston tilantarvetta ja se olisi helpompikäyttöinen. Suurikokoinen liukuhihnasto ei ole kovin tarpeenmukainen yhdelle robotille. Laitteistoon olisi hyvä myös asentaa kiinteä paikka näytölle, hiirelle ja näppäimistöille.

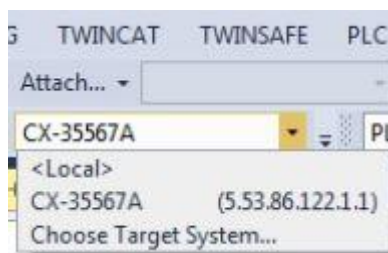
Lähteet


- 1 Rahkonen, Risto; Nousiainen, Miika & Leino, Juuso. 2018. Scaran Modernisointi. Loppuraportti. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Konetekniikka.
- 2 Nguyen, Khoa; Sarisalmi, Henrik; Nyman, Edvard; Rezai, Hashim & Ristaniemi, Eerik. 2018. SCARA-robotin virtuaalinen käyttöönnotto. Projektiraportti. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Konetekniikka.
- 3 SCARA. Verkkoaineisto. Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tf5110-tf5113_tc3_kinematic_transformation/18014400464958859.html&id=>. Luettu 5.5.2019.
- 4 Scara robot. Verkkoaineisto. ARS s.r.l. Socio Unico. <<http://www.flexibowl.com/scara-robot.html>>. Luettu 7.5.2019.
- 5 Scara Arm forward kinematic equation simulator. Verkkoaineisto. Ormonde, Shane. <<http://www.wattnotions.com/scara-arm-kinematic-simulator/>>. 12.1.2016. Luettu 7.5.2019.
- 6 Synchronous Servomotors AM8000 & AM8500. Verkkoaineisto. Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. <https://download.beckhoff.com/download/document/motion/am8000_am8500_ba_en.pdf>. 27.11.2017. Luettu 4.5.2019.
- 7 CX5130 Embedded PC with Intel Atom processor. Verkkoaineisto. Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. <<https://www.beckhoff.com/CX5130/>>. Luettu 1.5.2019.
- 8 AX52xx Digital Compact Servo Drives (2-channel). Verkkoaineisto. Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. <https://www.beckhoff.com/english.asp?drive_technology/ax52xx.htm?id=556736885092>. Luettu 2.5.2019.
- 9 Servo drive AX5000. Verkkoaineisto. Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. <https://download.beckhoff.com/download/document/motion/ax5000_startup_en.pdf>. Luettu 30.4.2019.
- 10 Safety-card AX5801. Verkkoaineisto. Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/ax5000_user_manual/html/AX5000_AX5801_OptionCard.htm&id=>. Luettu 21.4.2019.
- 11 ABL8RPM24200. Verkkoaineisto. Schneider Electric SE. <<https://www.schneider-electric.com/en/product/ABL8RPM24200/regulated-smmps---1-or-2-phase---100..240-v---24-v---20-a/>>. Luettu 5.5.2019.

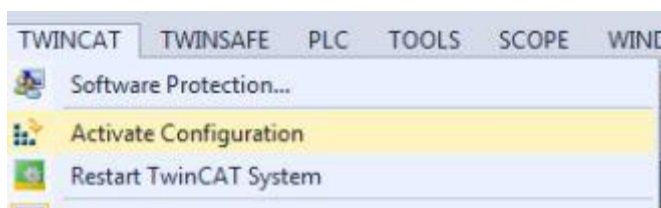
- 12 BES01C8 | Balluff | BES 516-325-S4-C. Verkkoaineisto. Nex Instrument. <<https://www.nexinstrument.com/BES01C8>>. Luettu 15.4.2019.
- 13 Vacuum Module: Series ZX. Verkkoaineisto. SMC Corporation. <http://www.scemosystems.fi/downloads/pdf/smc_zx-series_vacuum_ejector_technical_datasheet.pdf>. Luettu 7.5.2019.
- 14 FX3-CPU000000. Verkkoaineisto. SICK AG. <<https://www.sick.com/fi/fi/turvajaerjestelmaet-ja-ratkaisut/turvajaerjestelmaet/safe-efi-pro-system/fx3-cpu000000/p/p80477>>. Luettu 28.4.2019.
- 15 FX3-XTIO84002. Verkkoaineisto. SICK AG. <<https://www.sick.com/ag/en/safety-systems-and-solutions/safety-systems/safe-efi-pro-system/fx3-xtio84002/p/p80480>>. Luettu 28.4.2019.
- 16 STR1. Verkkoaineisto. SICK AG. <<https://www.sick.com/ag/en/safety-switches/non-contact-safety-switches/str1/c/g353451>>. Luettu 28.4.2019.
- 17 C2000 Standard. Verkkoaineisto. SICK AG. <<https://www.sick.com/fi/fi/valosaehkoeiset-turvalaitteet/turvalaloverhot/c2000-standard/c/g187267>>. Luettu 28.4.2019.

Malliohjelman käynnistysohjeet

1. Paina laitteiston ohjauspaneelista sinistä nappia kuitataksesi turvalogiikan errorit.
2. Avaa Twincatissa ohjelma Scara_1.
3. Varmista että Target System kentässä on valittuna CX-35567A. Jos näin on siirry kohtaan 12.

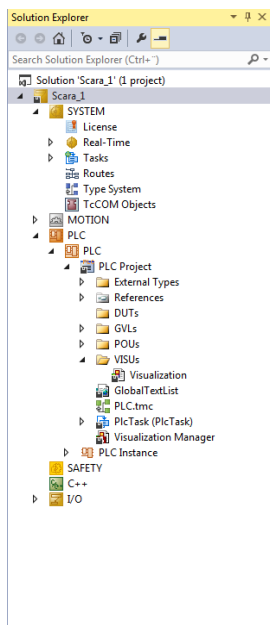


4. Mikäli näin ei ole valitse Choose Target System...
5. Valitse aukeavasta ikkunasta Search [Ethernet]
6. Paina seuraavasta ikkunasta . Mikäli laitteisto on kytketty oikein verkkoon pitäisi löytyä CX-35567A. Valitse ja paina Add route. Jos laitteisto kysyy salasanaa kirjoita "1".
7. Paina yläreunasta TWINCAT ja valitse Activate Configuration. Paina OK kaikkeen mitä ohjelma kysyy.



8. Paina yläpalkista Login jonka jälkeen paina Play.

9. Paina robotin ohjauspaneelista vihreää nappia kerran. Robotista pitäisi kuulua naksahdus. Tämä tarkoittaa että moottorit ovat päällä.
10. Mene vasemman reunan Solution Explorerissa kohteeseen Scara_1 \ PLC \ PLC \ PLC Project \ VISUs \ Visualization.



11. Nyt robottia voidaan ajaa lieriötelineen slotteihin painamalla käyttöliittymän näppäimiä tai syötettyihin koordinaatteihin. Muista syöttää myös nopeus mikäli ajat syötettyihin koordinaatteihin.

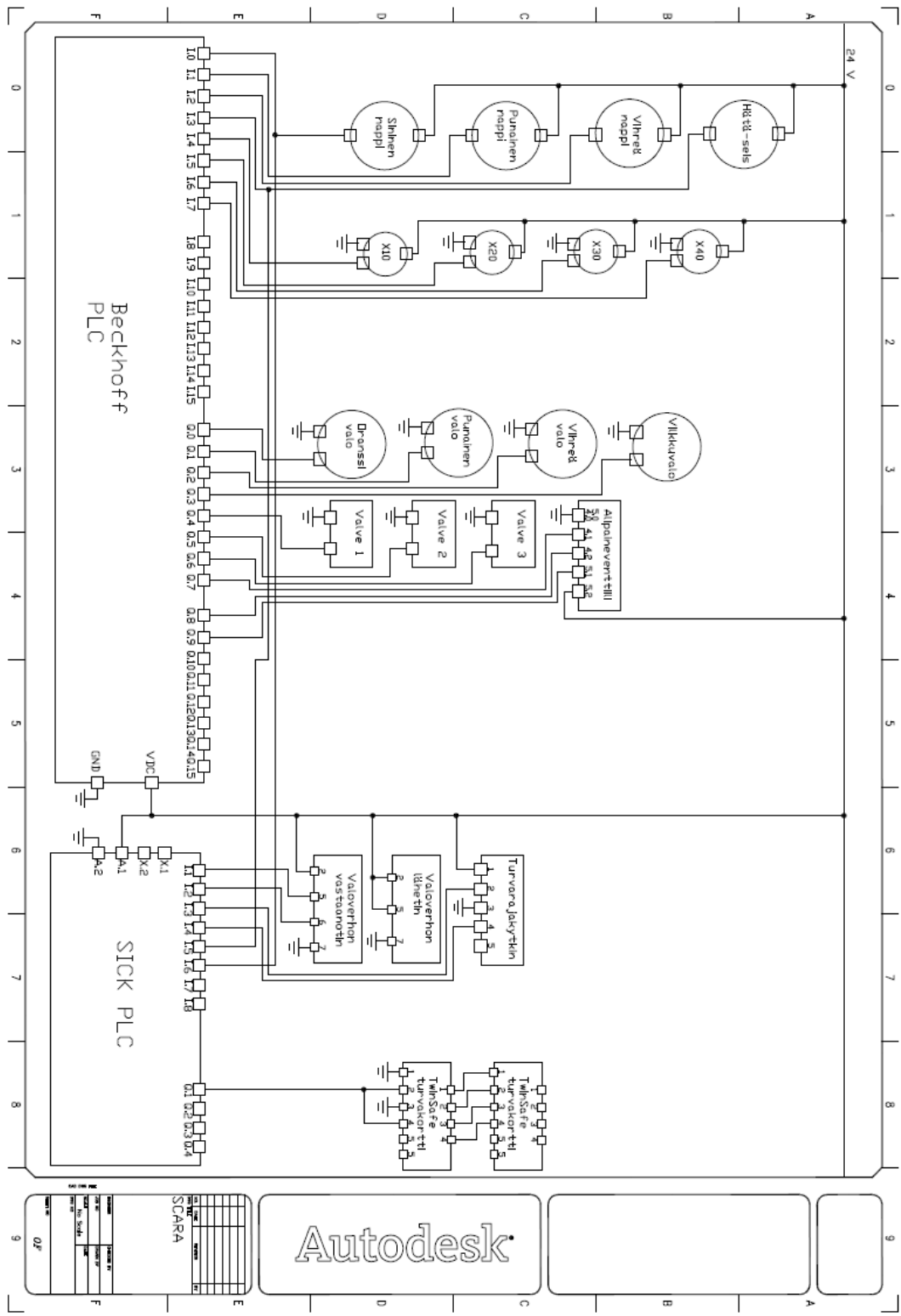
The screenshot displays the Flexi Soft Designer 1.90 SP2 interface for a PLC project named 'SICK Flexi Soft main module FX3-CPU0'. The main workspace shows a ladder logic diagram with the following components:

- Reset:** A reset coil (R) for the set coil, labeled 'Reset: XTIOQ1J16'.
- Set:** A set coil (S) for the motor coil, labeled 'Set: XTIOQ1J16'.
- Motor:** A motor coil (Q) labeled 'Motor: contactor: XTIOQ1'.
- Inputs:** Three normally open contacts labeled 'Input 1', 'Input 2', and 'Input 3', which are connected to 'E-Stop: ESZ1: XTIOQ1J15' and 'SIF1: XTIOQ1J15d'.
- Outputs:** A normally open contact labeled 'Output 0' connected to 'OR: 0'.

The status bar at the bottom indicates 'Machine Operator' and 'System online'. A warning icon shows 'Device configuration is not verified'.

The left sidebar contains a table of elements:

Title	Post...	Tag name
Mod...	XTIO	XTIOQ1
Mod...		Output Q4 is OK (no sh...
Mod...		Output Q4 is OK (no sh...
Mod...		Output Q3 is OK (no sh...
Mod...		Output Q3 is OK (no sh...
Mod...		Output Q2 is OK (no sh...
Mod...		Output Q2 is OK (no sh...
Mod...		Output Q1 is OK (no sh...
Mod...		Output Q1 is OK (no sh...
Mod...		Module power supply is...
Mod...		Module power supply is...
Mod...		Input I7 is OK: XTIOQ1J...
Mod...		Input I7 is OK: XTIOQ1J...
Mod...		Input I6 is OK: XTIOQ1J...
Mod...		Input I6 is OK: XTIOQ1J...
Mod...		Input I5 is OK: XTIOQ1J...
Mod...		Input I5 is OK: XTIOQ1J...
Mod...		Input I4 is OK: XTIOQ1J...
Mod...		Input I4 is OK: XTIOQ1J...
Mod...		Input I3 is OK: XTIOQ1J...
Mod...		Input I3 is OK: XTIOQ1J...
Mod...		Input I2 is OK: XTIOQ1J...
Mod...		Input I2 is OK: XTIOQ1J...
Mod...		Input I1/2 dual channel...
Mod...		Input I1/2 dual channel...
Mod...		Fast Shut Off control is...
Mod...		Fast Shut Off control is...
Mod...		Configuration is valid X...
Mod...		Configuration is valid X...
Mod...		E-Stop: A1 I5
Mod...		E-Stop: A1 I5
Mod...		Reset: A1 I6
Mod...		Reset: A1 I6
Mod...		Modo...: A1 Q1
Mod...		Modo...: A1 Q1



Autodesk

