



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Helmi Autio

Robottisolun käyttöönotto

Opinnäytetyö

Kevät 2025

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Helmi Autio

Työn nimi alaotsikoineen: Robottisolun käyttöönotto

Ohjaaja: Jarkko Pakkanen

Vuosi: 2025

Sivumäärä: 47

Liitteiden lukumäärä: 1

Opinnäytetyön tavoitteena oli ottaa käyttöön robottisolu osana Seinäjoen ammattikorkeakoulun IXFactory-konseptia. Soluun kuuluivat ABB:n yhteistyörobotti GoFa CRB 15000 ja teollisuusrobotti IRB 4600. Käyttöönotto sisälsi työkaluvaihtojärjestelmän ohjelmoinnin, Profinet-kenttäväylän konfiguroinnin ja RobotStudio-mallinnuksen toteuttamisen.

Työssä keskityttiin erityisesti työkalujen määrittelyyn 3D-malleista ja työkaluvaihto-ohjelman tekemiseen RobotStudiassa. Työkaluvaihto-ohjelma siirrettiin yhteistyörobotille suoritettavaksi. Mallinnukseen piti asettaa workobject-koordinaatisto solun layoutmuutosten varalle. Työssä tutustuttiin käytettävään kenttäväyläprotokollaan ja sen toimintaan. Laitteiden välinen kommunikointia varten konfigurointiin Profinet-kenttäväylä.

Lopputuloksena saatiin toimiva työkaluvaihtojärjestelmä yhteistyörobotille ja RobotStudio-mallinnus solusta, jota on mahdollista päivittää myöhemmin. Robottien välinen kommunikointi kenttäväylän kautta todettiin toimivaksi. Työn aikana ei ollut saatavilla kaikkia tarvittavia elementtejä, joten työtä on mahdollista jatkokehittää. Tehtyä työtä voi hyödyntää opetustilanteissa ja yritysten välisessä yhteistyötoiminnassa.

¹ Asiasanat: robotit, yhteistyörobotit, automaatiojärjestelmät, simulointi, ohjelmointi

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Automation Engineering

Specialisation: Electric Automation

Author: Helmi Autio

Title of thesis: Implementation of robotic cell

Supervisor: Jarkko Pakkanen

Year: 2025

Number of pages: 47

Number of appendices: 1

The aim of the thesis was to implement a robotic cell as part of the IXFactory concept at Seinäjoki University of Applied Sciences. The cell was equipped with two ABB robots: the collaborative robot GoFa CRB 15000 and the industrial robot IRB 4600. The implementation included programming a tool changing system, configuring the fieldbus, and creating a simulation using RobotStudio.

The focus was on creating a tool changing system in RobotStudio. First, the tools used had to be defined in RobotStudio using their 3D models. After that, the tool changing program was created and transferred to the collaborative robot. The simulation needed a workobject coordinate system for potential layout changes in the cell. Communication between devices was established by configuring the Profinet fieldbus.

As a result, a functional tool changing system for the collaborative robot was created. The results also included a RobotStudio-based simulation of the cell, which can later be updated to support layout changes. Communication between the robots was found to function successfully through the Profinet fieldbus. Due to the limited availability of equipment during the project, there may be a need for further development later on. The outcome can be utilized in training and education, as well as in collaboration between companies.

¹ Keywords: robots, cobots, automation systems, simulation, programming

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn rakenne	8
2 YLEISTÄ ROBOTTEISTA.....	10
2.1 Robottiikan turvallisuus	10
2.1.1 Konedirektiivi.....	10
2.1.2 Koneasetus.....	11
2.1.3 SFS-EN ISO 10218-1, 2	11
2.1.4 ISO/TS 15066	12
2.2 Perinteinen teollisuusrobotti	12
2.3 Yhteistyörobotti.....	14
2.4 Simulointi ja offline-ohjelmointi	15
2.4.1 RobotStudio	16
2.4.2 RobotWare ja OmniCore-ohjausjärjestelmä.....	16
3 ROBOTISOLUN RAKENNE	17
3.1 Robottisolun malli	17
3.2 Yhteistyörobotti GoFa™ CRB 15000 12 kg.....	18
3.3 Teollisuusrobotti IRB 4600 40 kg / 2,55 m.....	19
3.4 Työkalut.....	21
3.4.1 Yhteistyörobotin lisäosat	21
3.4.2 Teollisuusrobotin lisäosat.....	25
4 TIEDONSIIRTO.....	27
4.1 Kommunikointi robottien välillä	27
5 TYÖN KULKU	29

5.1	Yhteistyörobotin työkalujen ja lisäosien luonti	29
5.2	Teollisuusrobotin lisäosien luonti.....	36
5.3	Työkaluvaihto	38
5.4	Ohjelman luominen RobotStudiossa	39
5.5	Ohjelman siirtäminen robotille	41
5.6	Kenttäväylien konfigurointi	41
6	TULOKSET	43
7	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	44
	LÄHTEET	45
	LIITTEET	47

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Tekoälyn ja graafisen suunnitteluohjelmiston avulla luotu 6-akselinen teollisuusrobotti ja ohjausyksikkö.....	13
Kuva 2. RobotStudio-mallinnus.....	17
Kuva 3. Yhteistyörobotti GoFa CRB 15000.....	18
Kuva 4. FlexPendant käsiohjain.....	19
Kuva 5. Teollisuusrobotti IRB 4600.....	20
Kuva 6. Työkaluvaihtaja Zimmer MATCH LWR50F-13-01-A.	21
Kuva 7. OnRobot ja Zimmer työkaluvaihtajat.....	22
Kuva 8. OnRobotin vaihtajat.	23
Kuva 9. OnRobot ruuvinsyöttölaite.	23
Kuva 10. Schmalz ECBPMi alipainetarttuja.	24
Kuva 11. Zimmer LWR50L-03-00003-A sormitarttuja.	24
Kuva 12. Yhteistyörobotin työkaluteline.	25
Kuva 13. Teollisuusrobotin työkaluvaihtaja TC120-8 ja sähkömoduuli.	26
Kuva 14. Työkaluliitin TA120-8, sähkömoduuli, tukilevy ja teline.	26
Kuva 15. IO-Link Master AL1300 kytkennät.....	27
Kuva 16. Suunnittelutyökalulla piirretty kuva kenttäväylälaitteesta kytkettynä robottien ohjausyksikköihin.	28
Kuva 17. Työkaluvaihtajan asento, orientaatio ja määritelty työkalupiste (TCP).	29
Kuva 18. Alipainetarttuja oikeassa asennossa ja orientaatioissa työkalupisteen kanssa. Työkaluvaihtajaa käytetty apuna sijoittelussa ja osien kohdentamisessa.	30

Kuva 19. Ruuvaustyökalu valmiina, jossa työkalupiste kärjessä.....	30
Kuva 20. Sormitarttujan runko 3D-mallina, jossa osat ovat ”body” -muodossa.....	31
Kuva 21. Rakenteen luominen osiksi Empty Part -toiminnolla.....	32
Kuva 22. Component Group -toiminnolla luotu ryhmät Base, Finger1 ja Finger2, joihin jokaiseen jaoteltu juuri tehdyt osat.....	33
Kuva 23. Valmis työkalu, jolle lisätty mekanismi sen sormien liikutteluun.....	34
Kuva 24. Työkaluasema kolmelle työkalulle.....	34
Kuva 25. Adapterilevy ja ruuvinsyöttölaite.....	35
Kuva 26. IRB 4600 työkaluvaihtajalle määritelty työkalupiste ja sähkömoduuli.....	36
Kuva 27. Työkaluliittimeen kiinnitetty tukilevy ja määritelty työkalupiste (TCP) sekä sähkömoduuli.....	37
Kuva 28. Työkaluvaihtajien osat yhdessä.....	37
Kuva 29. Tukilevy telineessään.....	38
Kuva 30. Toimintalohkokaavio Smart Componentille.....	39
Kuva 31. Polku ruuvaustyökalun noutoon ja palauttamiseen.....	40
Kuva 32. RAPID-koodi työkaluun tarttumisesta.....	41

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Seinäjoen ammattikorkeakoulun robotiikan laboratorion kalusto ja laitteet tarvitsevat modernisointia, minkä vuoksi sinne on päätetty toteuttaa IXFactory-konsepti (Seinäjoen ammattikorkeakoulu, i.a.). IXFactoryn tarkoituksena on tarjota monipuolinen, mukautuva ja älykäs tuotantoympäristö, jota voidaan hyödyntää opetuksessa ja yhteistyössä yritysten kanssa. Älykkään tuotannon mahdollistavia teknologioita ovat muun muassa konenäkö, automaatio, robotiikka ja teollinen internet (*IoT, Internet of Things*). IXFactory koostuu automatisoiduista tuotantosoluista, mobiiliroboteista ja valmistuksen ohjausjärjestelmistä (MES). Tuotantosoluissa suoritetaan erilaisia valmistusprosesseja, mobiilirobotit kuljettavat tuotteita solujen välillä, ja MES-järjestelmä vastaa kommunikoinnista mobiilirobottien ja solujen kanssa hyödyntäen rajapintoja.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on tehdä robottisolun käyttöönotto, joka sisältää kaksi ABB:n valmistamaa robottia. Yhteistyörobotin malli on CRB 15000 GoFa™ 12 kg ja teollisuusrobotin malli on IRB 4600 40 kg / 2,55 m. Käyttöönottoon sisältyy työkaluvaihtojärjestelmän ohjelmointi, joka pitää sisällään muun muassa työkalupisteiden ja workobject-koordinaatistojen opetukset sekä itse työkaluvaihto-ohjelmien tekemisen. Workobject-koordinaattijärjestelmät helpottavat mahdollisten layoutmuutosten tekemistä solussa. Laitteiden välinen kommunikointi toteutetaan konfiguroimalla kenttäväylät, joissa käytetään Profinet- ja EtherNet/IP-menetelmiä. Lisäksi mallinetaan solu ABB RobotStudio -ohjelmointityökalulla. Robottiohjaukseen käytetään ABB Omnicore -alustaa.

1.3 Työn rakenne

Työn teoriaosiossa käsitellään robotiikan turvallisuutta, yleistä tietoa yhteistyö- ja teollisuusroboteista sekä kerrotaan niiden simuloinnista ja ohjelmoinnista. Tämän jälkeen luvussa 3 esitellään robottisolun rakenne, työssä käytettävät robotit ja niiden lisäosat. Luku 4 käsittelee robottien välistä tiedonsiirtoa ja niissä käytettäviä protokollia, jotka toteutetaan käyttöönoton

yhteydessä. Työn käytännön osuus esitellään luvussa 5, jossa määritellään työkalut, workobject-koordinaatitot ja työkaluvaihto-ohjelman toteutus.

1.4 Tekoälyn käyttö opinnäytetyössä

Luvussa 2.2 esitetty kuva 1 on luotu hyödyntämällä OpenAI ChatGPT:n tekoälypohjaista kuvanluontityökalua. Kuvan tarkoituksena on tukea tekstin sisältöä. Työssä on päätetty käyttää tekoälyä, koska haluttiin esitellä pelkistetty kuva 6-akselisen robotin rakenteesta ja ohjausyksiköstä.

2 YLEISTÄ ROBOTEISTA

2.1 Robotiikan turvallisuus

Robottien turvalliseen toimintaan on määritelty direktiivejä, erilaisia standardeja ja asetuksia. Tässä työssä käsitellään Euroopan unionin konedirektiiviä, valtioneuvoston koneasetusta, standardia SFS-EN ISO 10218-1, 2 (2011) ja teknistä spesifikaatiota ISO/TS 15066, jotka esitellään seuraavissa luvuissa.

2.1.1 Konedirektiivi

Koneita koskevat turvallisuusvaatimukset määritellään Euroopan unionin konedirektiivissä 2006/42/EY (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 42/EY/2006). Direktiiviä sovelletaan EU-jäsenvaltioiden lisäksi myös ETA-maissa. Direktiivin tavoitteena on yhdenmukaistaa turvallisuusvaatimukset näillä alueilla, jotta varmistetaan tuotteiden vapaa liikkuvuus sekä korkea turvallisuustaso.

Konedirektiivin (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 42/EY/2006) mukaan 1 artiklan 1 kohdan a–f-alakohdissa määritellään tuotteet, jotka luokitellaan koneiksi. Direktiivin 1 artiklan 1 kohdan a alakohdassa 'koneella' tarkoitetaan:

- osista tai komponenteista koostuvaa yhdistelmää, jossa vähintään yksi osa on liikkuva ja joka on kokoonpanttu tiettyä toimintoa varten, ja se on varustettu voimansiirtojärjestelmällä, joka ei käytä suoraa ihmis- tai eläinvoimaa,
- lähes valmista yhdistelmää, josta puuttuvat vain ne komponentit, joilla se liitetään tai kytketään voimanlähteeseen,
- asennettavaksi valmista yhdistelmää, joka vaatii toimiakseen kiinnityksen liikennevälineeseen tai asennuksen rakennelmaan tai rakennukseen,
- puolivalmisteiden yhdistelmiä, jotka on järjestetty ja ohjattu tiettyjä toimintoja varten yhtenä kokonaisuutena,

- osista tai komponenteista koostuvaa yhdistelmää, jossa on vähintään yksi liikkuva osa, ja jonka kokoonpano on kuorman nostoa varten, jossa voimanlähteenä käytetään ainoastaan ihmisvoimaa.

2.1.2 Koneasetus

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008 saattaa konedirektiivin voimaan Suomessa (Latokartano, 2023, s. 92). Tätä asetusta kutsutaan nimellä koneasetus. Siinä määritellään koneiden suunnitteluun ja rakentamiseen liittyvät olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset, soveltamisalat ja sen rajaukset, valmistajan velvollisuudet markkinoille saattamisessa ja käyttöönottossa (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008).

Koneen tulee olla asetuksen vaatimusten mukainen, joista vähimmäisvaatimuksia ovat muun muassa: ”Koneen on oltava suunniteltu ja rakennettu koneasetuksessa määriteltyjen olennaisien terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukaisesti. Koneessa pitää olla CE-merkintä ja tietyt, koneasetuksessa määritellyt muut merkinnät, kuten koneen nimi, valmistajan nimi ja osoite sekä koneen yksilöintimerkinnät. Koneen mukana pitää toimittaa asianmukaiset käyttö- ja huolto-ohjeet sekä EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus, Suomessa suomen- ja ruotsinkielisinä.” (Tukes, i.a.)

2.1.3 SFS-EN ISO 10218-1, 2

Teollisuusrobottien ja robottijärjestelmien turvallisuusvaatimukset on esitetty SFS-EN ISO 10218 -standardissa, joka kuuluu C-tyyppin standardeihin (Suomen Standardisoimisliitto (SFS), 2011a, s. 8). Standardi kuvaa teollisuusrobottien ja robottijärjestelmien erityiset vaarat ja keskittyy niiden riskien arviointiin vaaratilanteiden poistamiseksi tai vähentämiseksi.

Standardi on jaettu kahteen osaan: SFS-EN ISO 10218-1, joka koskee yksittäisen teollisuusrobotin turvallista suunnittelua ja asennusta, ja SFS-EN ISO 10218-2:2011, joka käsittelee robottijärjestelmien turvallista yhteen liittämistä robottisoluihin (SFS, 2011a, s. 8; 2011b, s. 5). Edellä mainitut standardit koskevat kaikkia teollisuusrobotteja, tähän määritelmään kuuluvat myös yhteistyörobotit (Latokartano, 2023, s. 104).

Robotin käytössä voi ilmetä useita vaaratilanteita, joiden seuraamukset voivat olla erittäin vakavia. Siksi vaarojen tunnistamiseen on tehtävä riskiarviointi niiden poistamiseksi tai vähentämiseksi turvalliselle tasolle. Latokartano (2023, s. 101) esittelee standardin määrittelemän kolmen askeleen menetelmän riskien pienentämisessä. Ensisijaisena toimenpiteenä on poistaa riskit tai vähentää niitä suunnitelmamuutoksilla. Mikäli tämä ei ole mahdollista, lisätään turvalaitteita tai suojuksia. Jos edeltävät vaiheet eivät riitä riskien poistamiseen tai vähentämiseen, lisätään ohjekilpiä ja erilaisia varoituskylttejä.

2.1.4 ISO/TS 15066

Yhteistyöroboteille on olemassa tekninen spesifikaatio (*Technical Specification, TS*) ISO/TS 15066, joka käsittelee turvallisuusvaatimuksia robottisoluissa, joissa yhteistyörobotti ja ihminen työskentelevät yhdessä samassa tilassa (Latokartano, 2023, s. 105). ISO/TS 15066 ei ole virallinen standardi, vaan se on tekninen spesifikaatio, joka tarjoaa neuvoja ja esimerkkejä standardien SFS-EN ISO 10218-1 ja 2 tulkintaan. Se ei aseta sitovia turvallisuusvaatimuksia, mutta on tärkeä käytännön ohjeistus turvalliseen toimintaan yhteistyörobotin ja ihmisen välillä.

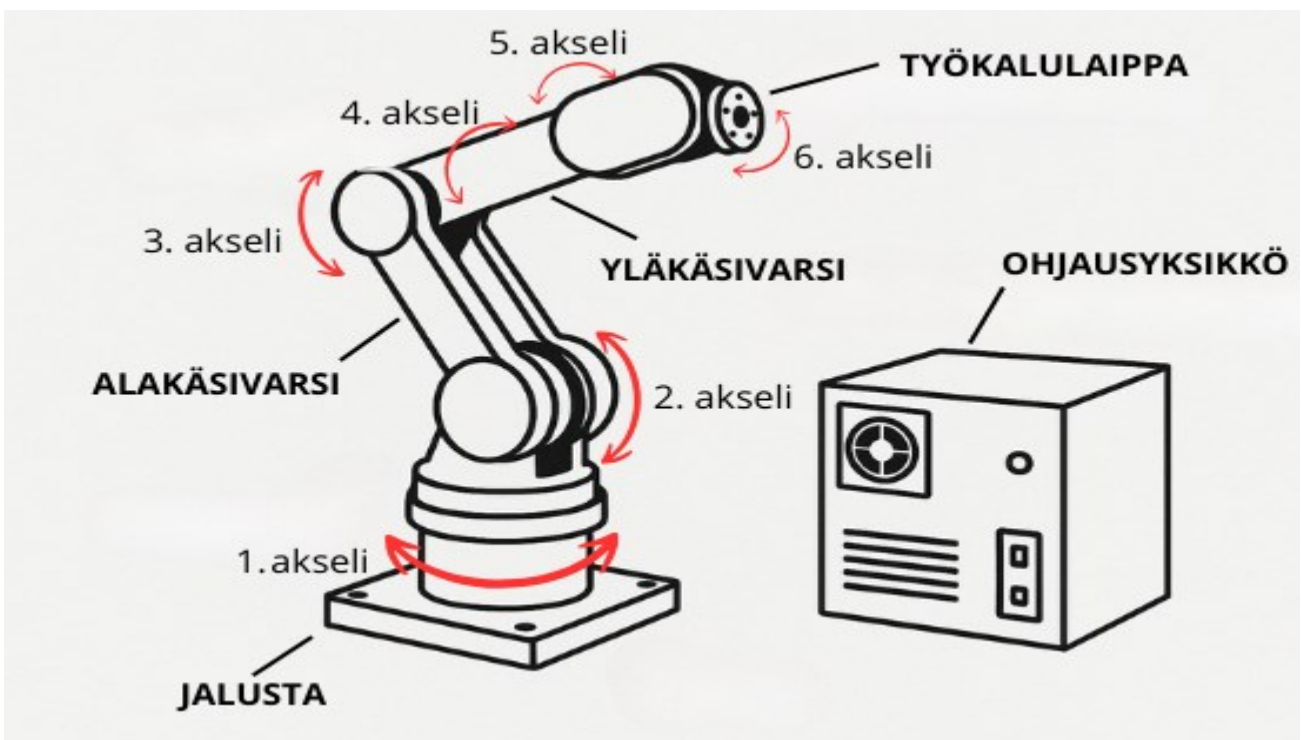
2.2 Perinteinen teollisuusrobotti

Teollisuusrobotit ovat uudelleenohjelmoitavia ja yleiskäyttöisiä laitteita (Lempiäinen, 2023, s. 17). Niissä on vähintään kolme vapaasti ohjelmoitavaa vapausastetta sekä työkalu, jolla voidaan suorittaa erilaisia tehtäviä. Vapausasteella tarkoitetaan robotin tukivarsien ja nivelten muuttuvia keskinäisiä asentoja (mts. 19). Teollisuusroboteista lähes 90 % on käsivarsirobotteja, jotka tavallisesti sisältävät kuusi vapausastetta (mts. 17). Riippuen mallista, käsivarsirobotin hyötykuormat vaihtelevat 0,5 kg kappalepainosta 2000 kg:aan asti, mutta yleisesti se käsittelee 10 kg – 100 kg kappalepainoa. Hyötykuorma tarkoittaa enimmäispainoa, jonka robotti pystyy käsittelemään varmistaen turvallisen ja tarkan liikkumisen (Borunte, 2024).

Teollisuusrobotit ovat koneita, jotka ovat tarkoitettu voimaa vaativiin, nopeiden ja tarkkojen liikkeiden suorituksiin (Probot, 2022). Näiden ominaisuuksien vuoksi niitä hyödynnetään erityisesti toistuvissa työprosesseissa tai tehtävissä, jotka ovat ihmiselle vaarallisia. Teollisuusrobotti sijoitetaan solussa harkitusti huomioiden sen ulottuvuus. Lisäksi robotin sijoittelulla on tärkeä rooli sen liikekomentojen singulariteettiongelmien välttämässä, jotta robotti suorittaa

liikkeensä hallitusti ja vakaasti (Billing, 2023, s. 130). Tällaisia ongelmia syntyy, kun robotin nivelet ovat yhdensuuntaisia. Tavallisesti robotti sijoitetaan lattialle jalustalle, mutta joissain sovelluksissa robottia voidaan liikuttaa myös ulkoisten akseleiden avulla, jolloin robotti voi olla missä asennossa tahansa (Pakkanen, 2025).

Teollisuusrobotin päätehtävä on suorittaa ohjelmoitu liike käyttämällä työkalulaippaan kiinnitettyä työkalua (Billing, 2023, s. 117). Tyypillinen käsivarsirobotti koostuu jalustasta, alakäsivarresta, yläkäsivarresta, työkalulaipasta ja ohjauskaapista (mts. 118). Kuvassa 1 esitellään 6-akselinen robotti ja ohjausyksikkö, jotka on luotu tekoälyn ja graafisen suunnitteluohjelmisto Canvan avulla.



Kuva 1. Tekoälyllä luotu 6-akselinen teollisuusrobotti ja ohjausyksikkö (OpenAI, 2025).

Pääsääntöisesti robotteja käytetään käsiohjaimella, josta kullakin robottivalmistajalla on oma versionsa (Billing, 2023, s. 121). Käsiohjaimella voidaan muun muassa luoda ja testata ohjelmia, tehdä työkalu- ja käyttäjäkoordinaatistoja ja liikuttaa robottia (mts. 122). Sen näytölle luodaan usein käyttöliittymä eli HMI (*Human Machine Interface*), jonka avulla käyttäjä voi hallita edellä mainittuja toimintoja. Käsiohjaimella ohjelmointi tapahtuu aina samalla tavalla, mutta ohjainten toiminnoissa sekä ohjausjärjestelmissä on eroja. Käsiohjaimen näytön koon rajallisuuden vuoksi paikoituspisteiden opettaminen käsiohjaimella ja ohjelman kirjoittaminen robottiin, siihen liitetyn tietokoneen avulla, on usein tehokkain tapa ohjelmoida robottia.

Tähän liittyy offline-ohjelmointi ulkoisessa ohjelmointiympäristössä, josta kerrotaan lisää luvussa 2.4.

Käsiohjaimella robottia liikutetaan joko sauvaohjaimella (joystick) tai painonapeilla (Billing, 2023, s. 121). Useimmissa ohjaimissa on myös kosketusnäyttö. Ohjain sisältää hätäseis-painikkeen ja turvastandardin mukaisen sallintalaitteen, joka tunnetaan myös nimellä ”kuolleen miehen kytkin” (*dead man's switch*). Kolmiasentoisen painikkeen ollessa keskiasennossa robottia on mahdollista liikuttaa käsiajolla turvanopeudella 250 mm/s. Sallintalaite aktivoituu ja asettaa robotin turvapysäytystilaan, kun käyttäjä puristaa kytkintä pohjaan tai irrottaa otteensa siitä. Poikkeuksellisesti yhteistyörobotit liikkuvat aina käyttäen turvallista nopeutta ja voimaa, joten niiltä ei vaadita sallintalaitteita (mts. 122).

Ohjauskaappi sisältää servo-ohjaimet ja ohjaustietokoneen, jotka vastaavat robotin toiminnan hallinnasta (Billing, 2023, s. 120). Tätä kokonaisuutta kutsutaan nimellä ohjausyksikkö. Robottisolun asennusvaiheessa laiteliitännät ja kommunikointiyhteydet liitetään ja konfiguroidaan ohjauskaapissa. Ohjausyksikön tärkeimmät tehtävät ovat robotin liikkeiden ohjaaminen, turvajärjestelmän toiminnan varmistaminen ja kommunikointi käsiohjaimen ja muiden rajapintojen, kuten kenttäväylien ja fyysisen I/O:n, kautta kulkevan tiedon hallinnasta.

2.3 Yhteistyörobotti

Käsite yhteistyörobotti (*cobot*) esiteltiin 1990-luvun puolivälissä ja sillä tarkoitettiin robotin ja ihmisen välistä fyysistä vuorovaikutusta (Yamaguchi & Inaba, 2023, s. 345). Lempiäisen (2023, s. 28) mukaan yhteistyörobotti on pienempi, kevyempi ja edullisempi versio perinteisestä teollisuusrobotista ja se on suunniteltu ihmisen ja robotin työskentelyyn samassa työtilassa ilman fyysisiä aitauksia. Yhteistyörobotin ohjelmointi toteutetaan yleensä robottia opettamalla. Yhteistyörobotteja käytetään esimerkiksi laadunvalvonnassa, laboratoriotiloissa, pakkaamoissa sekä kokoonpanoissa (Probot, 2022).

Toisin kuin perinteiset teollisuusrobotit, jotka sijoitetaan yleensä harkiten tiettyyn paikkaan tiettyä tehtävää varten, yhteistyörobottien sijoittaminen on joustavampaa, sillä ne ovat kevytrakenteisia ja niitä voidaan tarvittaessa siirtää tehtävästä toiseen (Lempiäinen, 2023, s. 29). Yhteistyörobotit havaitsevat ihmisen etäisyyden useiden anturien avulla ja ne liikkuvat turvallisella, rajoitetulla nopeudella. Jos ihmisen ja robotin välillä tapahtuu törmäys, robotti pysäyttää liikkeensä välittömästi. Vaikka yhteistyörobottien käyttö on turvallista, on siitä huolimatta

jokaiselle sovellukselle suoritettava aiemmin mainittu (ks. 2.1.3) riskiarviointi, jonka avulla varmistetaan standardin mukainen turvallinen toiminta ihmisten lähellä.

Ihminen ja yhteistyörobotti voivat työskennellä turvallisesti samassa tilassa ilman fyysisiä aiheutuksia, suorittaen eri tehtäviä eri työpisteissä tai samassa työpisteessä tehden työtehtävät peräkkäin (Lempiäinen, 2023, s. 28). Lisäksi robotti voi havaita ihmisen suorittaman työn ja muuttaa tarvittaessa omaa työtehtäväänsä sen perusteella. Näiden ominaisuuksien vuoksi yhteistyörobotit eroavat rakenteeltaan ja turvaratkaisuiltaan perinteisistä teollisuusroboteista (mts. 29).

2.4 Simulointi ja offline-ohjelmointi

Ennen robotin käyttöönottoa sille luodaan työkierto simulointiympäristössä, joka toimii turvallisesti ja halutulla tavalla. Simulointi ja ohjelmointi tapahtuvat tietokonepohjaisella ohjelmistolla, jossa ohjelmia voidaan testata ja ajaa.

Ohjelmistoympäristöt on jaettu yleiskielisiin ja merkkikohtaisiin ohjelmistoihin (Pöysäri & Kytöharju, 2023, s. 262). Yleiskieliset ohjelmistoympäristöt tukevat useiden eri robottivalmistajien robottien simulointia ja ohjelmointia (esim. Visual Components), kun taas merkkikohtaiset ohjelmistoympäristöt on suunniteltu tietyn robottivalmistajan roboteille. Esimerkkeinä merkkikohtaisista ohjelmointiympäristöistä ovat RobotStudio ABB:n roboteille ja MotoSim Yaskawan roboteille. Tässä työssä luonnollisin valinta ohjelmistoympäristölle on RobotStudio, koska käytössä on ABB:n robotit. RobotStudiosta kerrotaan lisää luvussa 2.4.1.

Offline-ohjelmointi, joka tunnetaan myös nimellä etäohjelmointi, tarkoittaa robotin ohjelmointia tietokoneella virtuaalisessa ympäristössä ilman fyysistä robottia. Kun ohjelma on testattu ja todettu toimivaksi ohjelmistossa, se voidaan siirtää fyysiselle robotille. ABB:n robotteja ohjelmoidaan ABB:n kehittämällä RAPID-ohjelmointikielellä (ABB, 2004, s. 2).

Seuraavissa luvuissa esitellään työssä käytettävä ohjelmisto RobotStudio, ohjelmistoalusta RobotWare ja Omnicore-ohjain.

2.4.1 RobotStudio

ABB on kehittänyt robottien simuloimiseen ja offline-ohjelmointiin RobotStudio-ohjelmiston. RobotStudio on yksi suosituimmista robottijärjestelmien simulointi- ja offline-ohjelmointityökaluista, joka on tarkoitettu erityisesti ABB:n roboteille (ABB, i.a.-a). Sen avulla käyttäjä voi luoda monipuolisen virtuaalisen ympäristön, joka vastaa todellista.

RobotStudio käyttää virtuaaliohjainta (ABB Virtual Controller), joka mahdollistaa tarkan ja realistisen simuloinnin, koska se vastaa robottien todellista ohjausjärjestelmää (ABB, i.a.-b). Tämä tarkoittaa sitä, että virtuaaliohjaimen asetukset ja ohjelmat ovat täydellinen kopio todellisesta ohjausyksiköstä.

2.4.2 RobotWare ja OmniCore-ohjausjärjestelmä

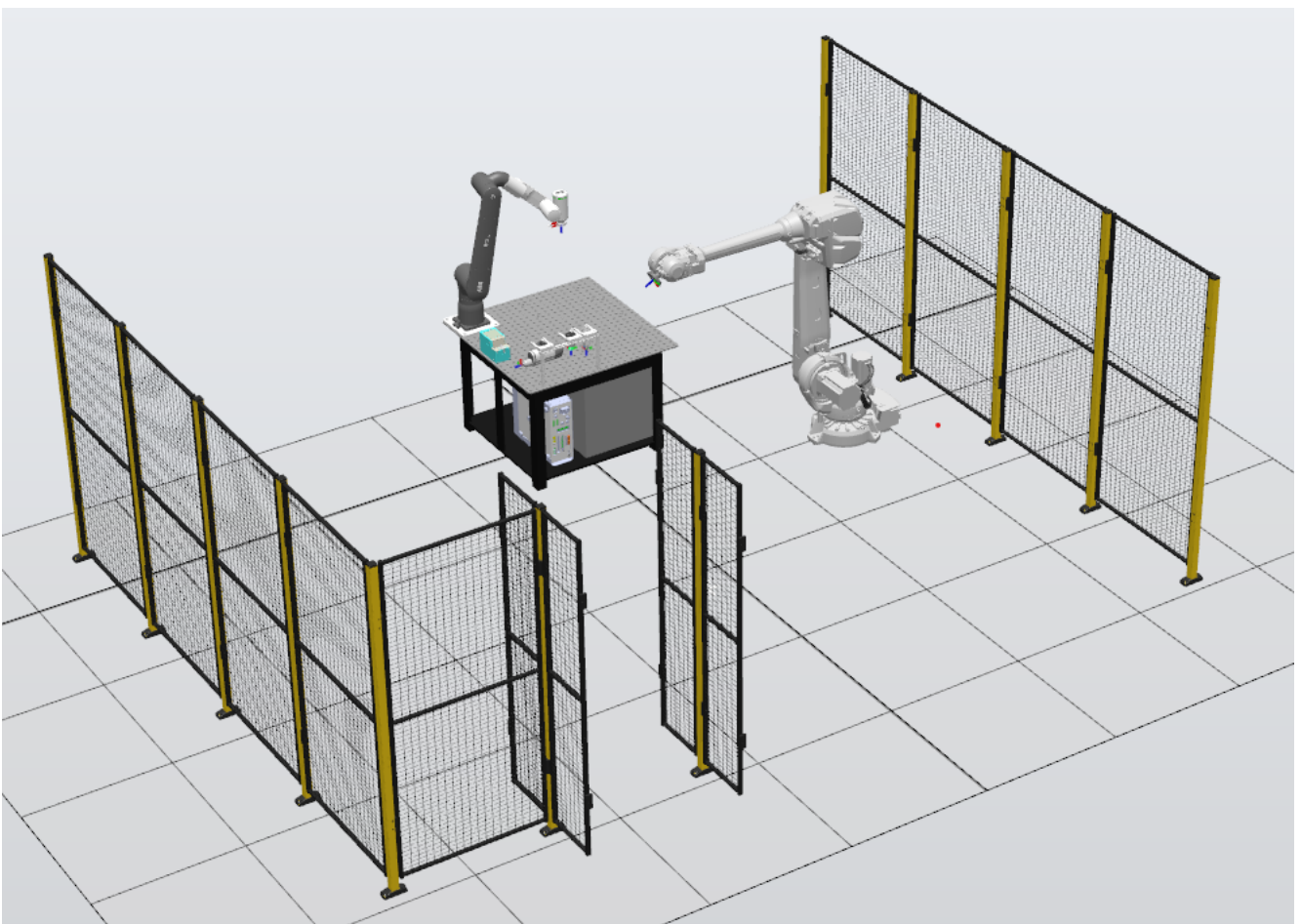
RobotWare on ABB:n robottien ohjelmistoalusta ja se toimii osana robotin ohjausyksikköä, joka tässä työssä on teollisuusrobotin ja yhteistyörobotin OmniCore C30. RobotWare tarjoaa käyttäjälle lisäosia ja toimintoja, jotka tehostavat robotin käyttöä (ABB, 2004, s. 2). Se käyttää tarkkaa liikkeenhallintaa TrueMove™- ja QuickMove™ -toiminnoilla. RobotWaren ominaisuuksiin kuuluvat lyhyet syklijat, korkea tarkkuus, turvallisuus ja laajat mahdollisuudet integroitua muihin järjestelmiin ja niiden ohjaukseen (mts. 1).

OmniCore C30 on uusi ohjausyksikkö, joka on nopeampi ja tarkempi liikkeenohjauksessa kuin aiempi IRC5 (ABB, 2024b). Lisäksi se on helpompi integroida muihin automaatiojärjestelmiin, koska se tukee useita kenttäväyläprotokollia (esimerkiksi ProfiNet ja EtherCAT), mikä vähentää kaapelointia ja parantaa yhteensopivuutta muiden laitteiden kanssa.

3 ROBOTTISOLUN RAKENNE

3.1 Robottisolun malli

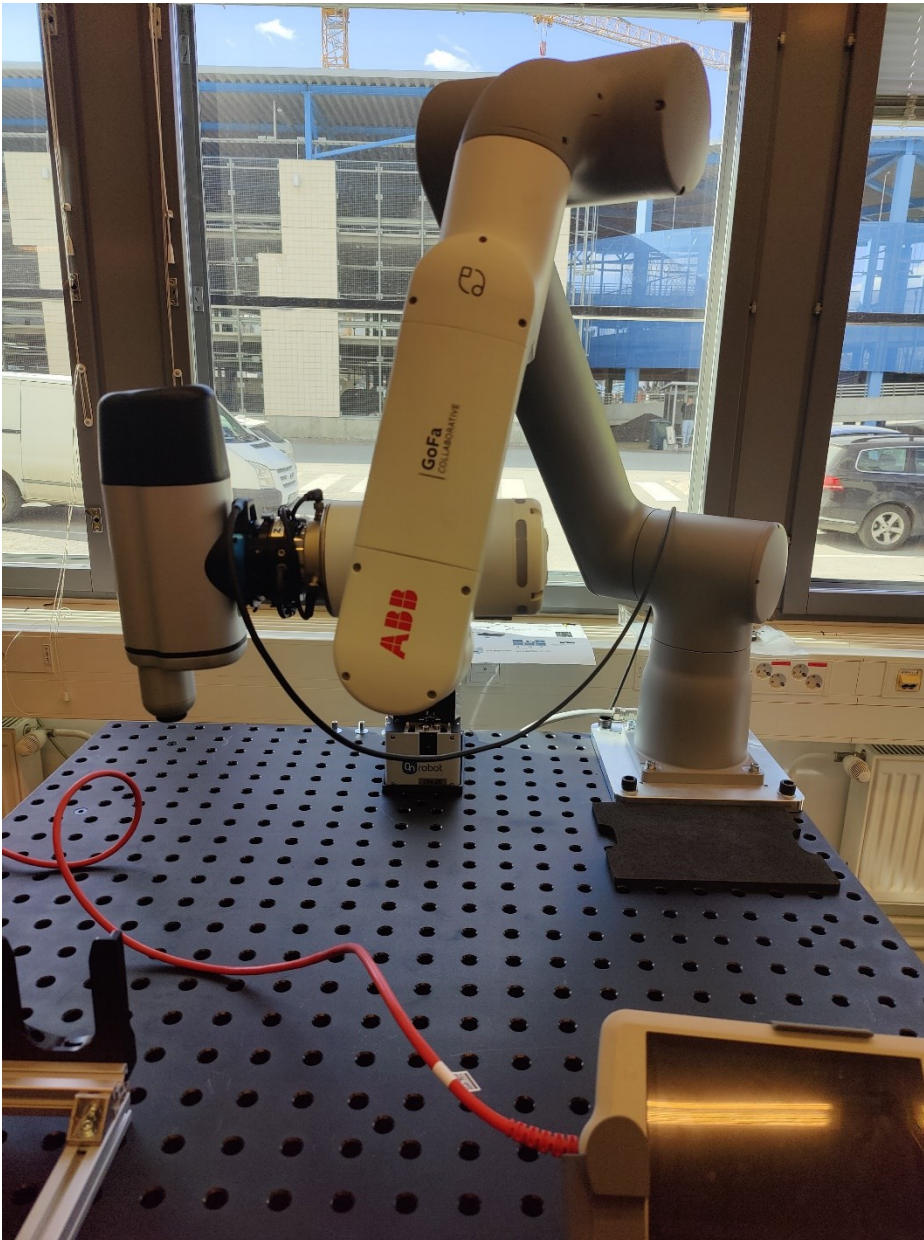
Solussa on yhteistyörobotti GoFa CRB 15000 ja teollisuusrobotti IRB 4600. Yhteistyörobotti ja sen työkaluteline on kiinnitetty pöytään ja teollisuusrobotti asennetaan lattiaan jalustalle. Teollisuusrobotin työkaluteline kiinnitetään lattiaan robotin viereen tai sen taakse. Kuvassa 2 esitetyn RobotStudio-mallin kalustoon ja niiden sijoitteluun tulee vielä muutoksia.



Kuva 2. RobotStudio-mallinnus.

3.2 Yhteistyörobotti GoFa™ CRB 15000 12 kg

ABB:n GoFa-yhteistyörobotteja on saatavilla eri hyötykuormakapasiteeteilla, vaihtoehtoina 5 kg, 10 kg ja 12 kg. Tässä työssä on käytetty suurimman hyötykuorman tarjoavaa mallia ja robotti on kiinnitetty pöytään, joka esitetään kuvassa 3.



Kuva 3. Yhteistyörobotti GoFa CRB 15000.

Yhteistyörobotin kaikissa kuudessa nivelessä on voima-anturit, mikä mahdollistaa tarkan voiman hallinnan ja sen rajoittamisen (ABB, 2024a, s.12). Robotissa on turvallisuustoimintoja, kuten SafeMove Collaborative -toiminto sekä muita robottiohjelmiston turvallisuusominaisuuksia, kuten liikkeen valvonta. Nämä edellä mainitut ominaisuudet yhdessä estävät

loukkaantumisriskin, joten robotti pysähtyy välittömästi havaitessaan kosketuksen ihmiseen. Tämä ominaisuus takaa robotin ja ihmisen yhteistyön turvallisen ja luotettavan toiminnan.

Robottia ohjataan FlexPendant-ohjaimella (ABB, i.a.-c). Ohjaimessa on lead-through-toiminto, joka mahdollistaa liikkeiden opetuksen manuaalisesti liikuttamalla robotin käsivartta haluttuun asentoon (ABB, 2024a, s. 37). Kuvassa 4 esitellään FlexPendant-ohjain.



Kuva 4. FlexPendant-käsiohjain.

Yhteistyörobotteja voi hyödyntää monenlaisissa tarkkuutta vaativissa tehtävissä. Tässä työssä robottia hyödynnetään koulutuskäytön lisäksi erilaisissa kokoonpanotehtävissä liittyen SeAMK:n TKI-toimintaan.

3.3 Teollisuusrobotti IRB 4600 40 kg / 2,55 m

IRB 4600 on 6-akselinen teollisuusrobotti, joka on suunniteltu lyhyisiin työsykleihin ja tiiviisiin tuotantosoluihin (ABB, i.a.-d). Robotilla on laaja työalue ja riippuen mallista hyötykuorma on 20–60 kg ja käsivarren ulottuvuus noin 2–2,5 metriä (ABB, i.a.-e, s. 2). Tässä työssä on käytetty mallia, jonka hyötykuorma on 40 kg ja ulottuvuus 2,55 m.

Tässä työssä teollisuusrobotin tehtävänä on poimia mobiilirobotin kuljettama kappale ja nostaa se yhteistyörobotin käsiteltäväksi pöydälle. Robotti odottaa asennusta lattiaan, tällä hetkellä se on lavan päällä, kuten kuvasta 5 havaitaan.



Kuva 5. Teollisuusrobotti IRB 4600.

Robotti kykenee suorittamaan tehtäviä nopeasti ja tarkasti sen kevyen rakenteen vuoksi (ABB, i.a.-d). Sen kiihtyvyyt ja nopeus mahdollistavat esteiden väistämisen ja liikeratojen tarkkan seuraamisen. Robotti voidaan asentaa lattiaan, kaltevalle pinnalle tai ylösalaisin, mikä mahdollistaa sen käytön monenlaisissa tehtävissä eri asennoissa. Sitä hyödynnetään muun muassa hitsauksessa, kokoonpanossa ja materiaalinkäsittelyssä.

3.4 Työkalut

Yhteistyörobotille on ruuvaustyökalu ja sen lisäksi kaksi tarttujatyypistä työkalua. Robotit sisältävät omat työkalunvaihtajat, tarvikkeet ja työkaluvaihtoasemat. Seuraavissa luvuissa esitellään työssä käytettävät lisäosat. Koska teollisuusrobotin työkaluja ei käsitellä tässä työssä, niitä ei esitellä.

3.4.1 Yhteistyörobotin lisäosat

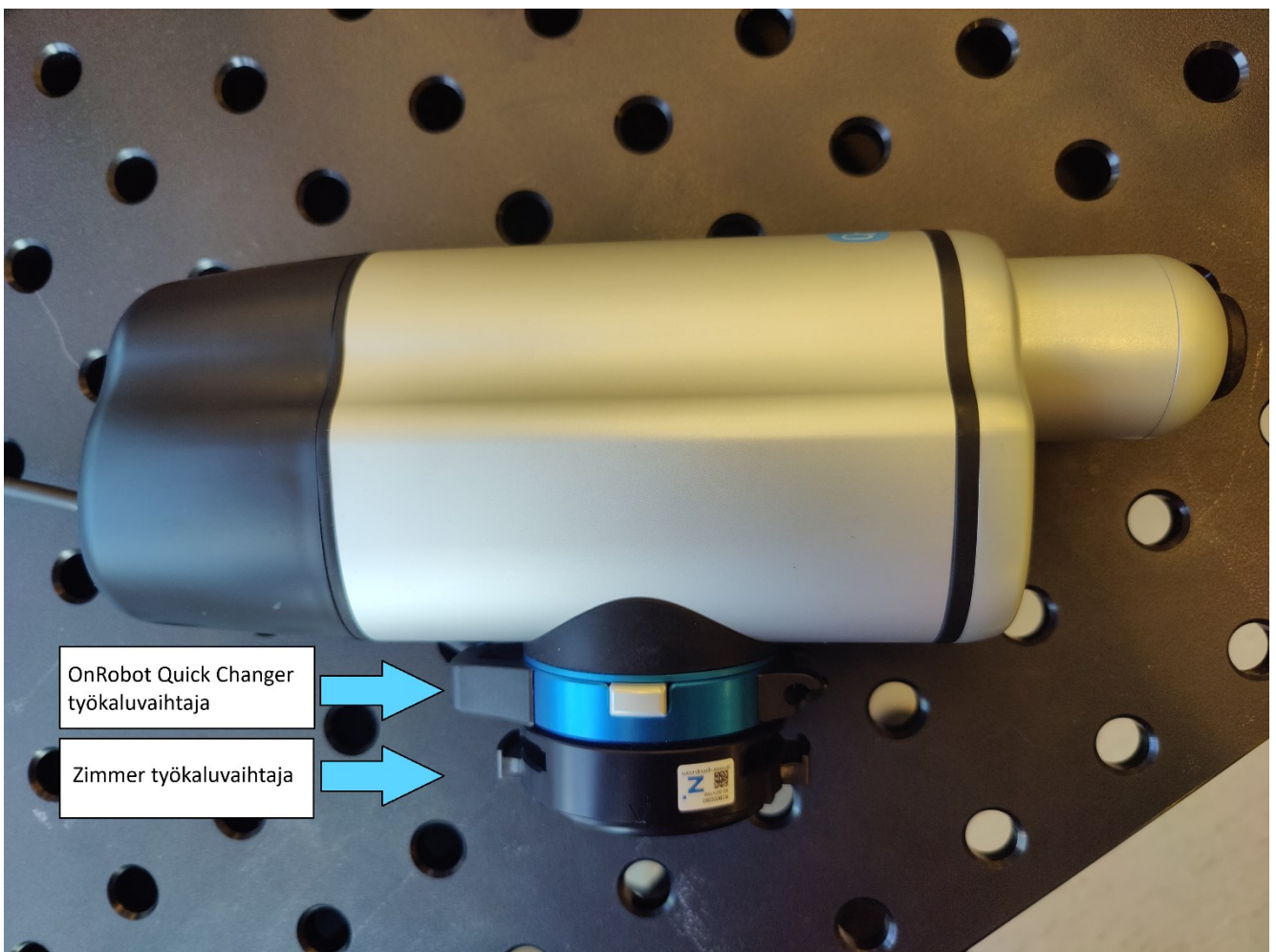
Yhteistyörobotin työkaluvaihdot halutaan automatisoida ja yhtenä työn tavoitteena on luoda työkaluvaihtojärjestelmä. Tämä voidaan toteuttaa kuvassa 6 esitellyllä Zimmer Group MATCH -sarjan LWR50F-13-01-A -työkalunvaihtajalla, joka kiinnitetään robotin laippaan. Siinä on johdotukset robotille, joita ovat sähköliitäntä ja pneumaattinen liitäntä paineilmalle (Zimmer Group, 2025, s. 10). Työkaluvaihtaja käyttää sähköä tai paineilmaa työkalujen toimintaan, lukitsemiseen ja vapauttamiseen. Lisäksi siinä on ympyrän muotoinen LED-näyttö, joka kertoo vaihtajan ja työkalun yhteyden tilasta. Kun tarttuja on yhdistetty työkaluun, LED:n väri muuttuu vihreäksi. Muussa tapauksessa väri on punainen.



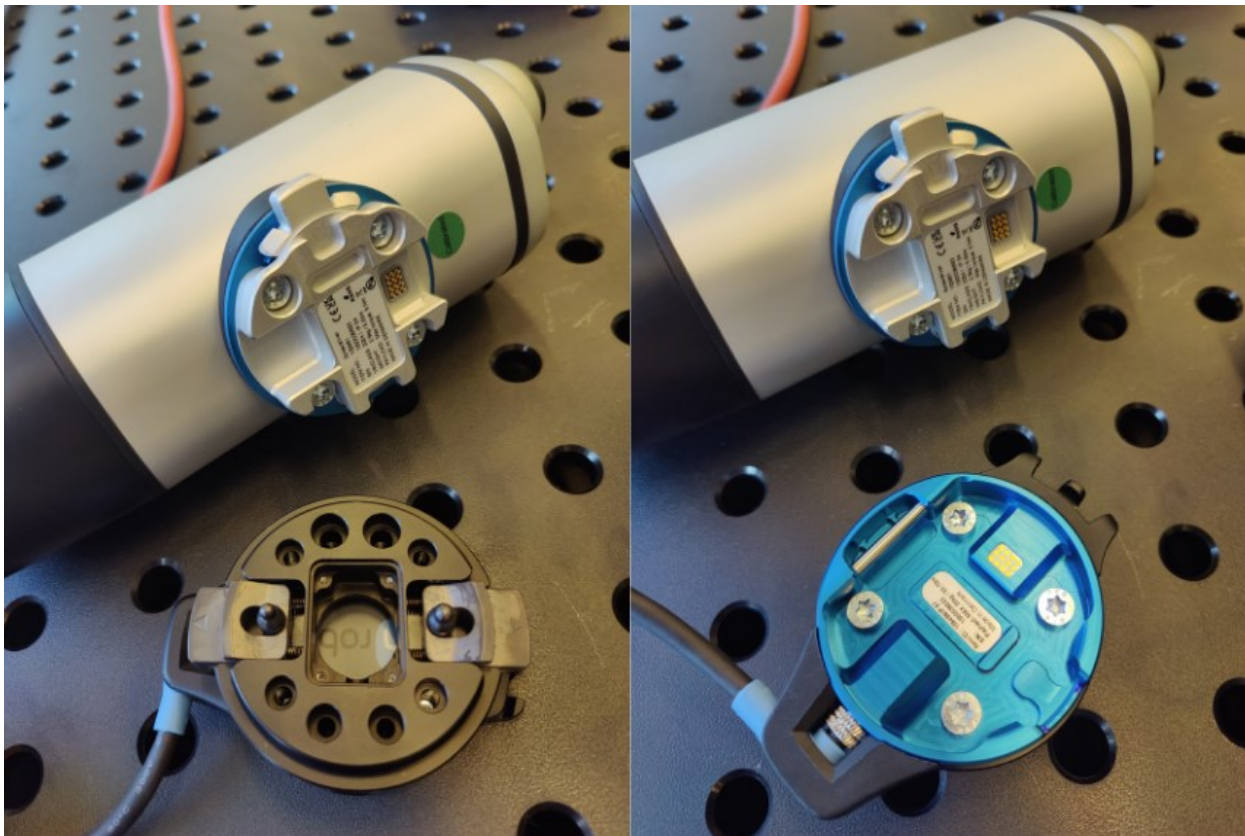
Kuva 6. Työkaluvaihtaja Zimmer MATCH LWR50F-13-01-A.

Työkaluvaihtaja ja MATCH-sarjan yhteensopivat työkalut on suunniteltu siten, että ne voidaan kiinnittää vain tietyllä tavalla. Yhteen liittäminen on helppoa, koska osien pohjissa on kiinnityspinnit, jotka liittyvät toisiinsa yhdensuuntaisesti. Lisäksi osiin on merkitty nuolet, joiden kärjet osoittavat toisiaan osien ollessa oikeassa asennossa.

Robotin ruuvaustyökalu ja ruuvinsyöttölaite ovat OnRobotin valmistamia, niihin sopii M1.6–M6 kierteiset ja enimmillään 50 mm:n pituiset ruuvit. Työkalussa on OnRobotin sininen työkaluvaihtaja, jossa kulkee sähkö, mutta se ei ole yhteensopiva Zimmerin MATCH-sarjan kanssa. Tämän vuoksi siihen on liitetty MATCH-sarjan mekaaninen työkalunvaihtaja, joka toimii ilman sähkövirtaa (kuva 7). Tässä kappaleessa ei ole kiinnityspinnejä, mutta kiinnitysmekanismi on muuten sama kuin muissa työkaluissa (kuva 8).

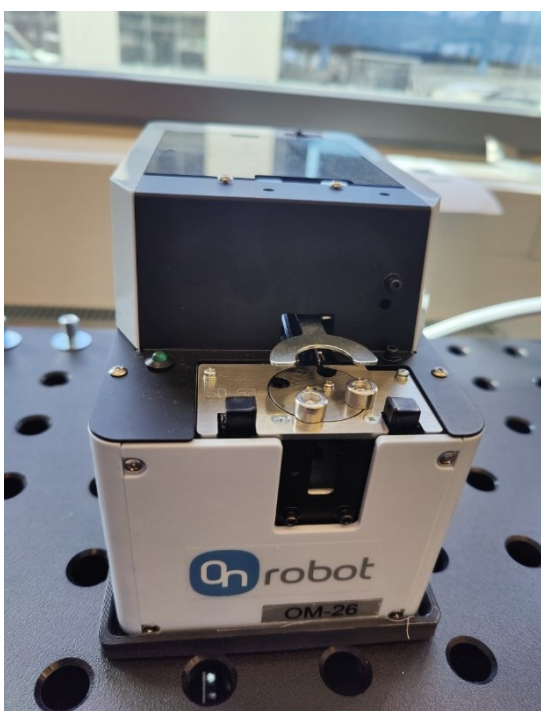


Kuva 7. OnRobot- ja Zimmer-työkaluvaihtajat.



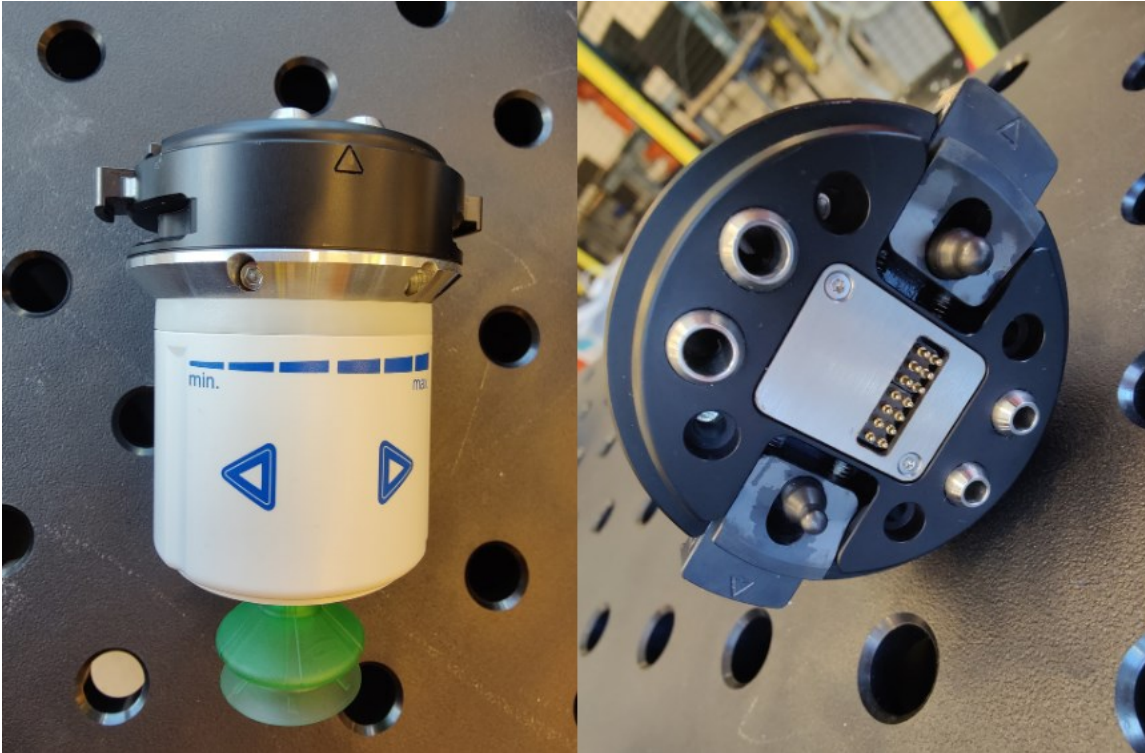
Kuva 8. OnRobotin vaihtajat.

Ruuvinsyöttölaitteen sisälle syötetään kisko, jossa tietyn sarjan ruuvit ovat. Robotti hakee työkalun kärjellä ruuvin laitteen pyörivästä ruuviasemasta (kuva 9).

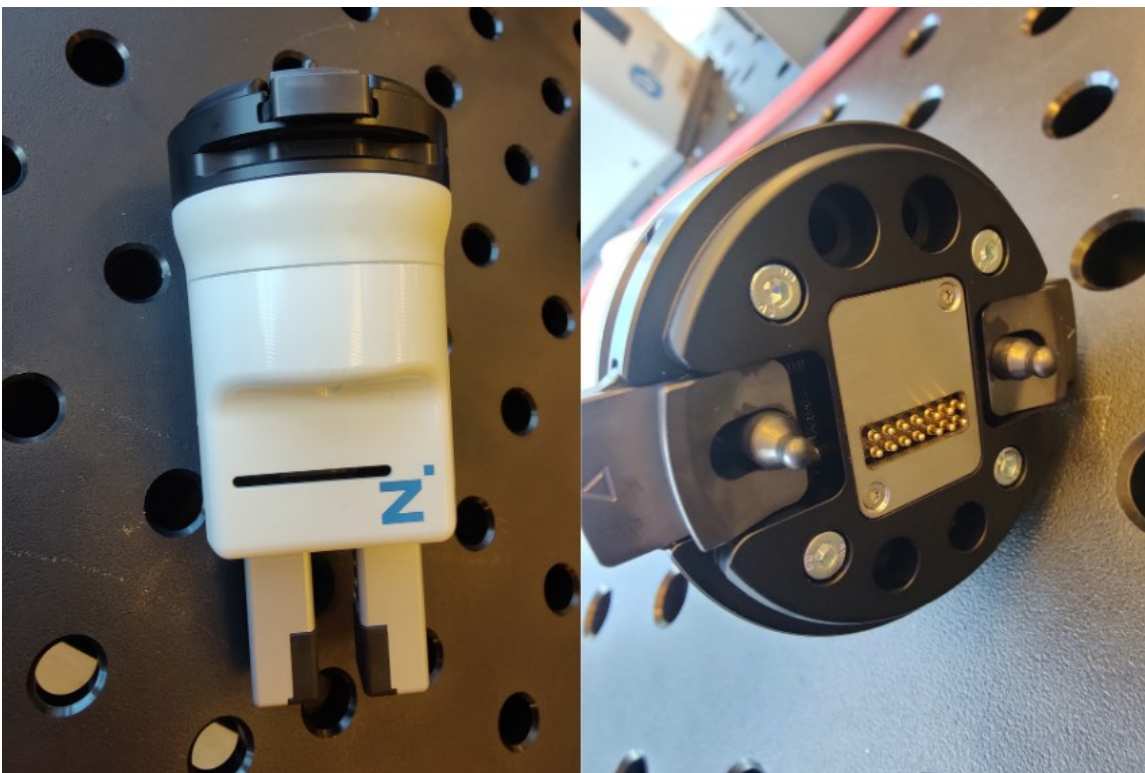


Kuva 9. OnRobot-ruuvinsyöttölaite.

Yhteistyörobotille on kaksi muuta työkalua, jotka ovat yhteensopivia Zimmerin MATCH-sarjan kanssa. Nämä työkalut ovat sähköinen alipainetarttuja Schmalz ECBPMi (kuva 10) ja sormitarttuja Zimmer LWR50L-03-00003-A (kuva 11).

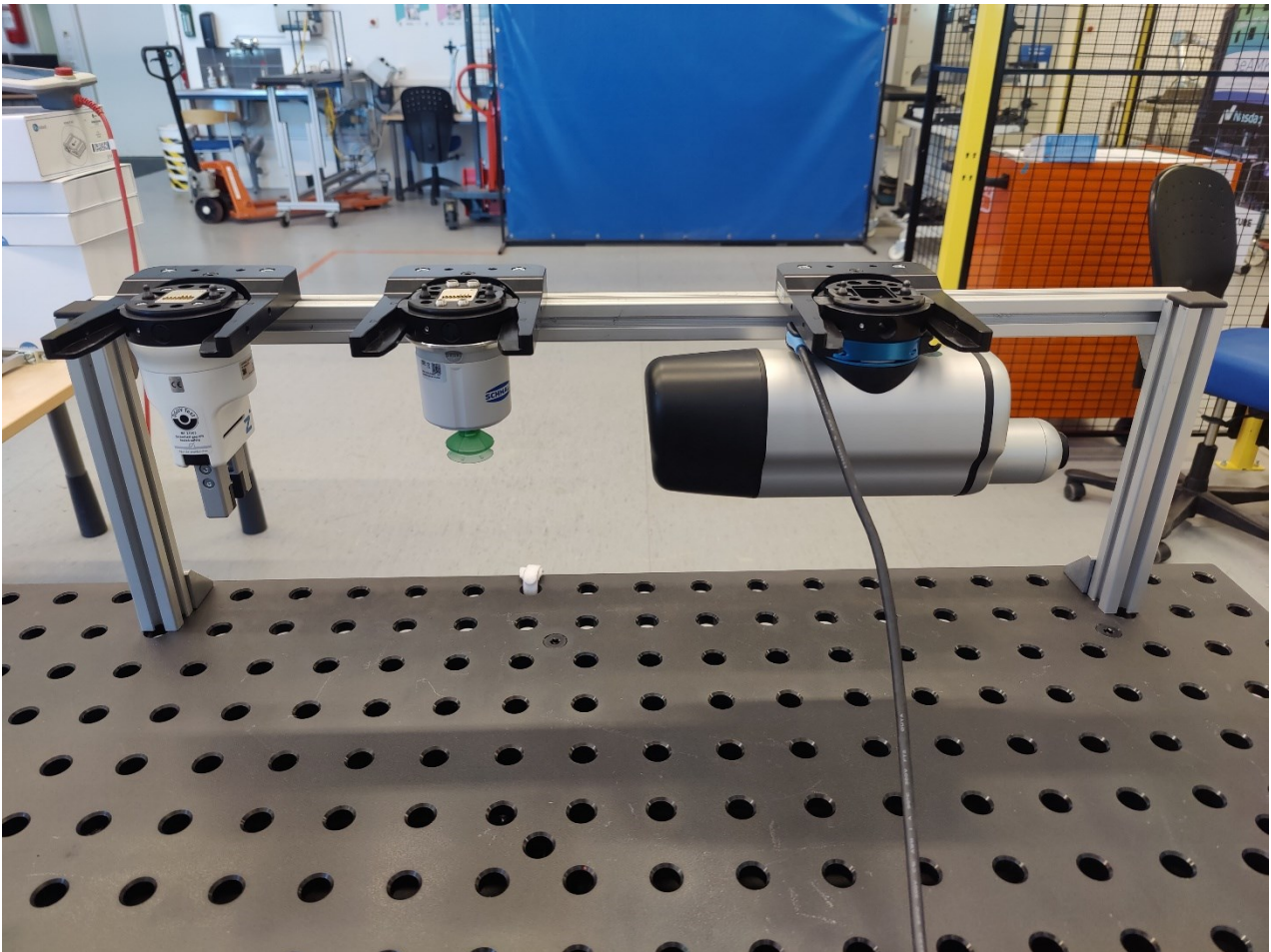


Kuva 10. Schmalz ECBPMi -alipainetarttuja.



Kuva 11. Zimmer LWR50L-03-00003-A -sormitarttuja.

Alumiiniprofiileista on koottu teline, johon on kiinnitetty jokaiselle työkalulle oma varastointiasema, joka soveltuu hyvin työkaluvaihtojärjestelmiin. Varastointiasema on Zimmer Groupin ALWR1-50-A ja se on yhteensopiva MATCH-sarjan kanssa. Työkalut menevät vain yhdessä suunnassa asemaan. Kuvassa 12 esitellään työkaluteline, jossa on kaikki kolme työkalua asemissaan.



Kuva 12. Yhteistyörobotin työkaluteline.

3.4.2 Teollisuusrobotin lisäosat

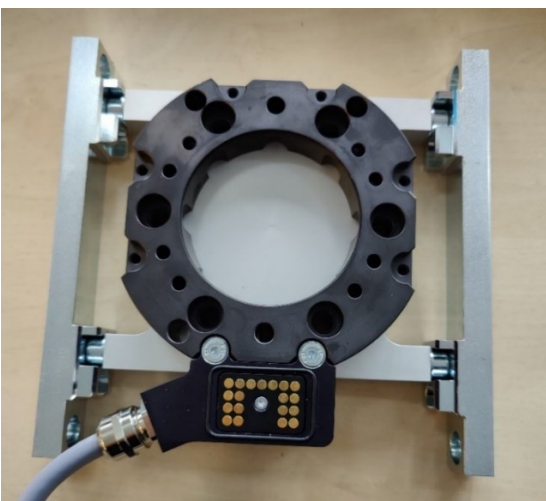
Teollisuusrobotin työkaluvaihtojärjestelmä sisältää robotin työkalulaippaan kiinnitettävän Robot System Products TC120-8 -työkaluvaihtajan, työkaluvaihtajan vastakappaleen TA120-8, josta käytetään jatkossa termiä työkaluliitin, tukilevyn ja työkalutelineen. Tukilevy kiinnitetään työkaluliittimeen. Järjestelmään on asennettu sähkömoduulit TA60-180 (17x signaalia) työkaluvaihtajaan ja työkaluliittimeen työkalujen toimintoja varten.

Työkaluvaihtaja kiinnitetään pysyvästi robotin työkalulaippaan kiinni. Työkaluliittimen kiinnitys- ja vapautusmekanismiin se käyttää paineilmaa. Kuvassa 13 esitellään työkaluvaihtaja sähkömoduulin kanssa kiinnitettynä robotin laippaan. Tässä vaiheesta työkaluvaihtajasta puuttuvat paineilimaliittimet, joita on yhteensä kahdeksan kappaletta.



Kuva 13. Teollisuusrobotin työkaluvaihtaja TC120-8 ja sähkömoduuli.

Työkalun tukirakenne sisältää työkaluliittimen ja siihen kiinnitetyn sähkömoduulin ja tukilevyn. Työkaluliitin sisältää vastaavat pneumaattiset liitännät kuin työkaluvaihtaja, johon se kiinnittyy. Tukilevy mahdollistaa työkalun asettamisen työkalutelineeseen. Kuvassa 14 on esitelty työkaluvaihtokokonaisuuden rakenne. Jokaiselle työkalulle on oma vastaava kokonaisuutensa, ja ne kiinnitetään pysyvästi tukilevyihin. Työkaluteline tullaan asentamaan profiilitelineeseen, joka sijoitetaan lattialle teollisuusrobotin läheisyyteen.



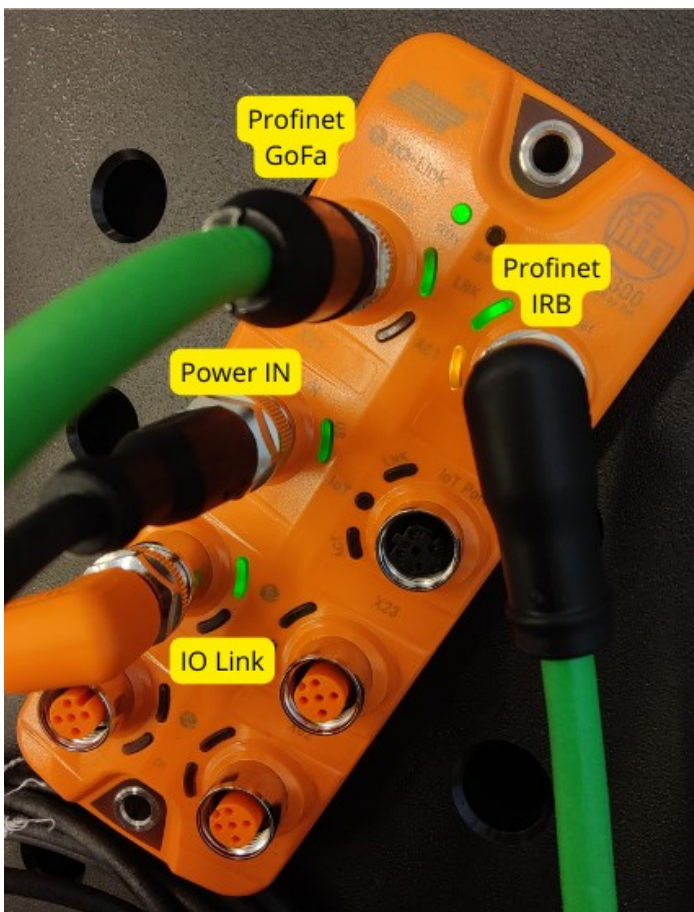
Kuva 14. Työkaluliitin TA120-8, sähkömoduuli, tukilevy ja teline.

4 TIEDONSIIRTO

4.1 Kommunikointi robottien välillä

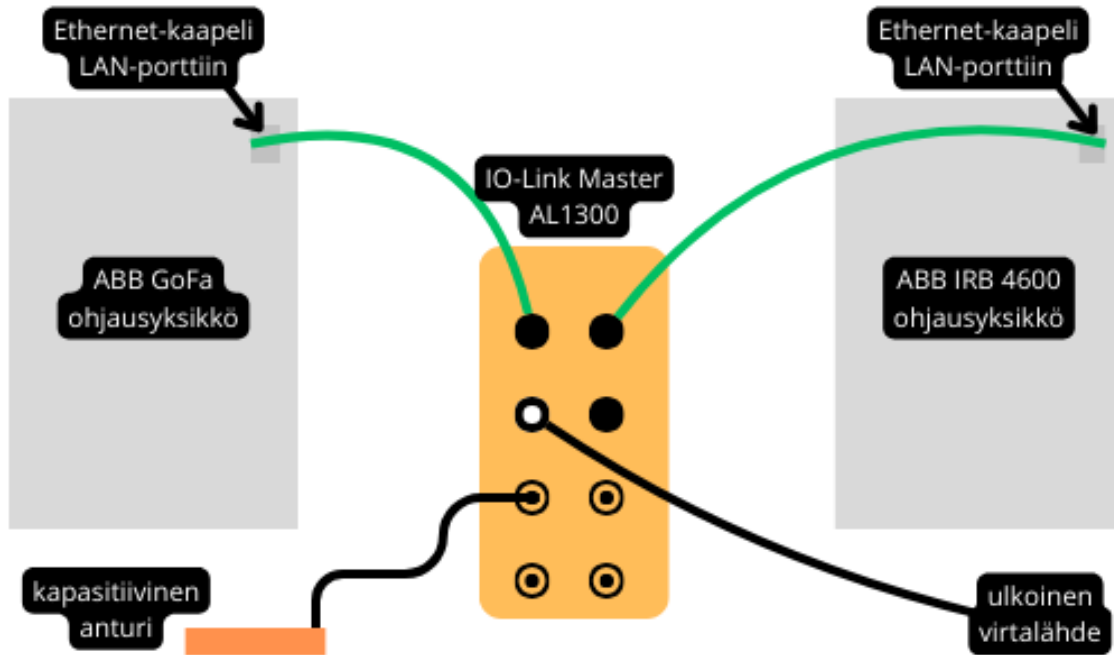
Robottien GoFa CRB 15000 ja IRB 4600 välinen kommunikointi toteutetaan Profinet-kenttäväylällä. Järjestelmä tukee myös muita kenttäväyläprotokollia, mutta tässä työssä päädyttiin käyttämään Profinet-menetelmää. Profinet toimii Ethernet-pohjaisten kentälaitteiden välillä ja se vastaa niiden välisestä nopeasta tiedonsiirrosta ja parametrien asetuksista (OEM, i.a.).

Työssä käytettävä kenttäväylälaitte on ifm electronicin valmistama IO-Link Master AL1300. Siinä on yhteensä kahdeksan liitäntää: kaksi porttia Profinet-liitäntää varten, yksi virransyöttöportti (+24 V DC-jännite), neljä IO-Link-porttia IO-laitteiden liittämiseen sekä yksi IoT-portti Ethernet-pohjaiseen datansiirtoon (Ifm, 2024). Tässä työssä laitteeseen on kytketty virransyöttö, Profinet-liitännät molemmille roboteille ja kapasitiivinen anturi yhteen IO-Link-porttiin (kuva 15).



Kuva 15. IO-Link Master AL1300 -kytkennät.

Ohjausyksiköiden fyysinen etäisyys toisistaan vaikeutti kenttäväylälaitteen kytkentöjen esittämistä yhdessä kuvassa, joten kuva päätettiin piirtää graafisella suunnitteluohjelmistolla. Kuvassa 16 on piirretty graafisen suunnitteluohjelmisto Canvan avulla kenttäväylälaitte IO-Link Master AL1300, jossa Profinet-kenttäväylä kulkee kummankin robotin ohjausyksikön kautta. Kenttäväyläkytkentää varten on lisätty Ethernet-kaapelit ohjausyksiköiden LAN-portteihin.



Kuva 16. Suunnittelutyökalulla piirretty kuva kenttäväylälaitteesta kytkettynä robottien ohjausyksikköihin.

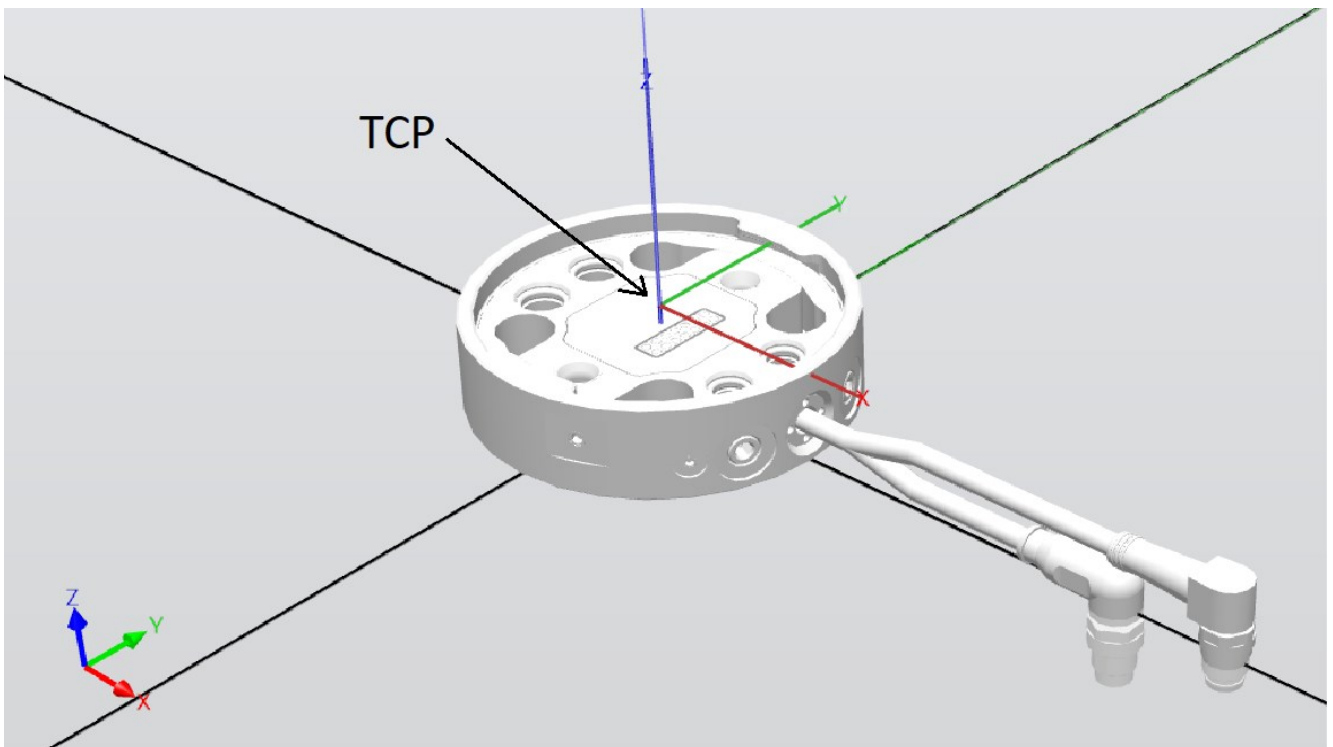
Yhteistyörobotin ohjausyksikön Omnicore C30 tiedonsiirtomenetelmät esitellään laajasti liitteessä 1, jossa kokoonpano- ja ruuvaussolun soluohjain / turvalogiikka tullaan lisäämään myöhemmin, mutta sitä ei käsitellä tässä työssä tarkemmin. Liitteessä esitellään myös OnRobot-ruuvaustyökalu, joka yhdistetään ohjaimeen EtherNet/IP-protokollan avulla.

5 TYÖN KULKU

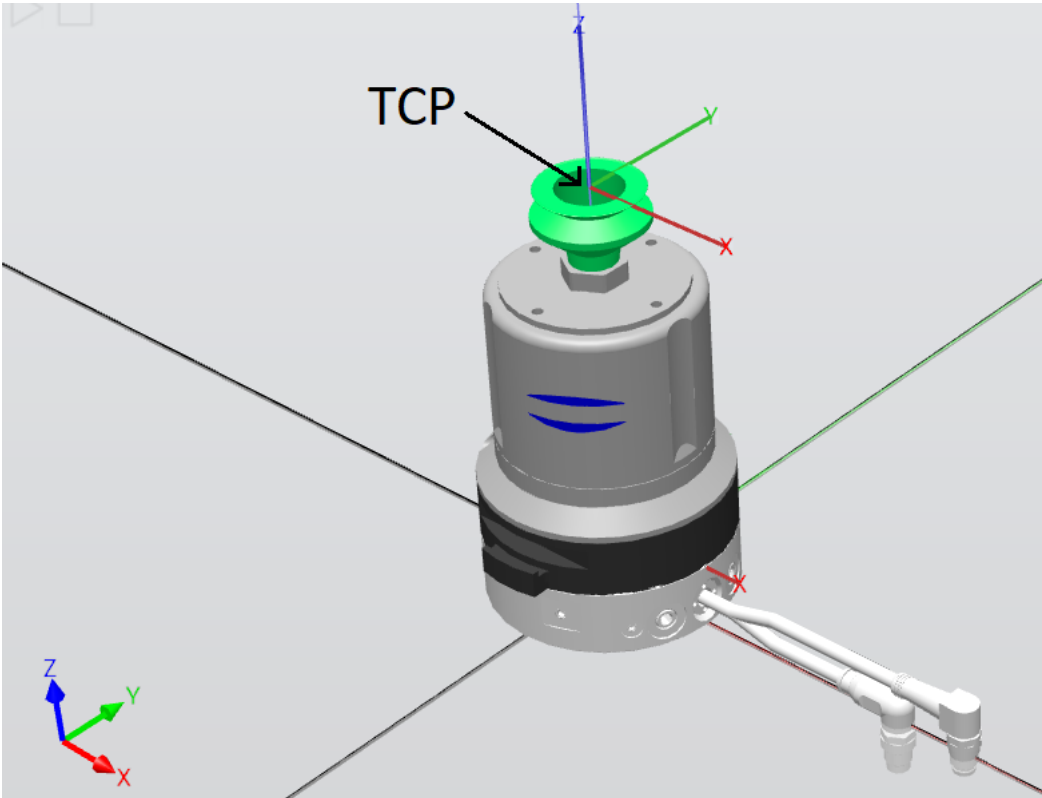
5.1 Yhteistyörobotin työkalujen ja lisäosien luonti

Yhteistyörobotin työkaluille oli saatavilla valmiit 3D-mallit, jotka tuotiin RobotStudioon sat-tiedostona. Työkalujen luominen aloitettiin työkaluvaihtajasta, joka tuntui loogisimmalta ratkaisulta, koska sen jälkeen siihen oli helppo määrittellä muut työkalut kiinni (kuva 17, kuva 18 ja kuva 19).

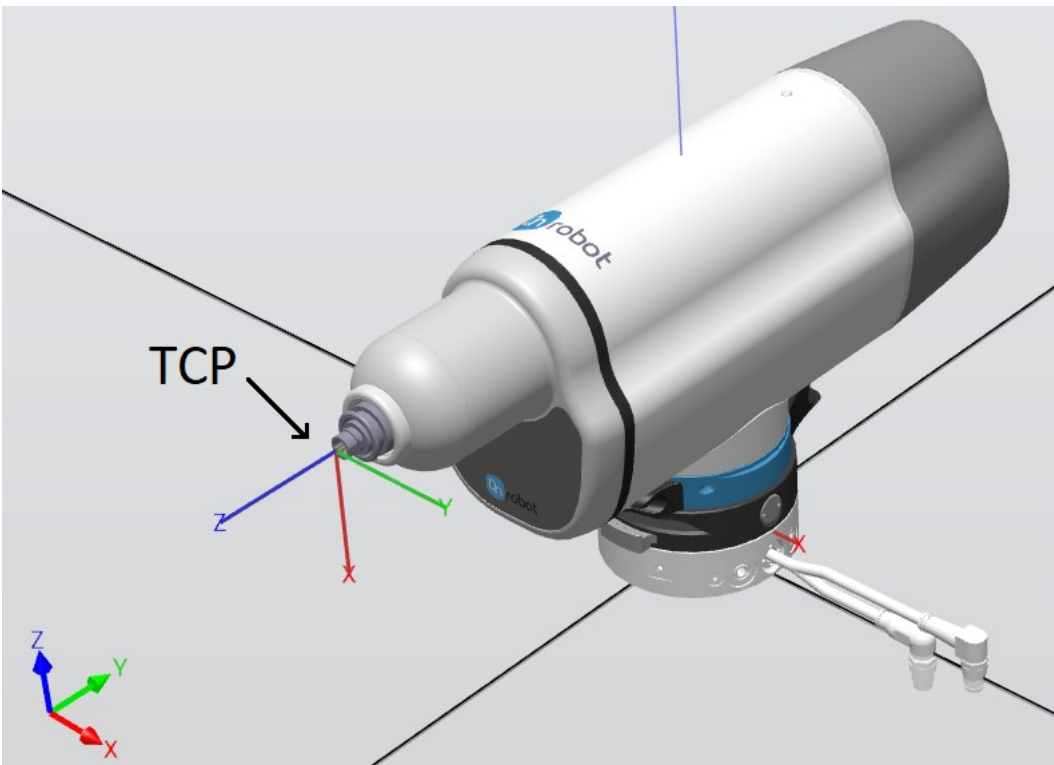
Ennen kuin osista luotiin työkalu, niiden asento ja orientaatio määriteltiin *Set Position* -kohdasta. Työkalun luominen RobotStudioissa tehtiin *Create Tool* -toiminnolla. Työkalulle asetettiin sen massa ja painopiste. Jokaiselle työkalulle tuli määrittellä työkalupiste (*TCP*) niiden geometrian ja toiminnan perusteella. Esimerkiksi alipainetarttujassa työkalupiste on määriteltävy siihen kohtaan, jossa kappale tarttuu siihen kiinni, ja vastaavasti ruuvaustyökalussa työkalupiste on työkalun kärjessä. Robotti suorittaa liikkeensä valitun työkalupisteen mukaisesti. Työkalujen 3D-malleille oli valmiit työkalukoordinaatistot (*Tool Frame*), mutta joihinkin niistä tehtiin RobotStudioissa vielä pieniä muutoksia, jotta ne ovat varmasti työkalun keskikohdassa.



Kuva 17. Työkaluvaihtajan asento, orientaatio ja määritetty työkalupiste (TCP).

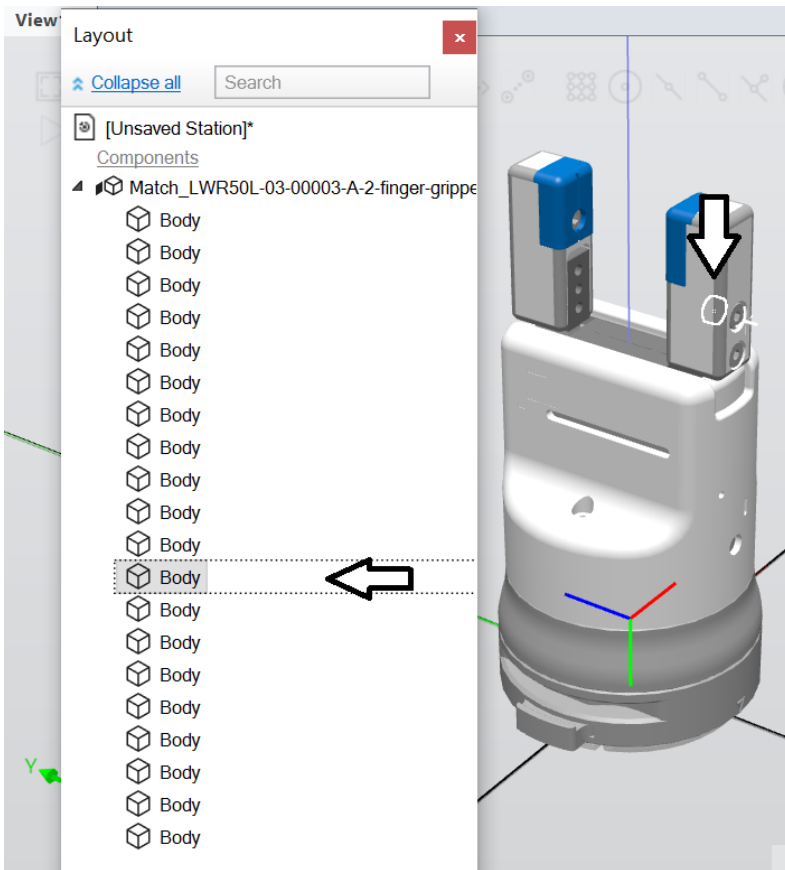


Kuva 18. Alipainetarttuja oikeassa asennossa ja orientaatiossa työkalupisteen kanssa. Työkaluvaihtajaa on käytetty apuna sijoittelussa ja osien kohdentamisessa.



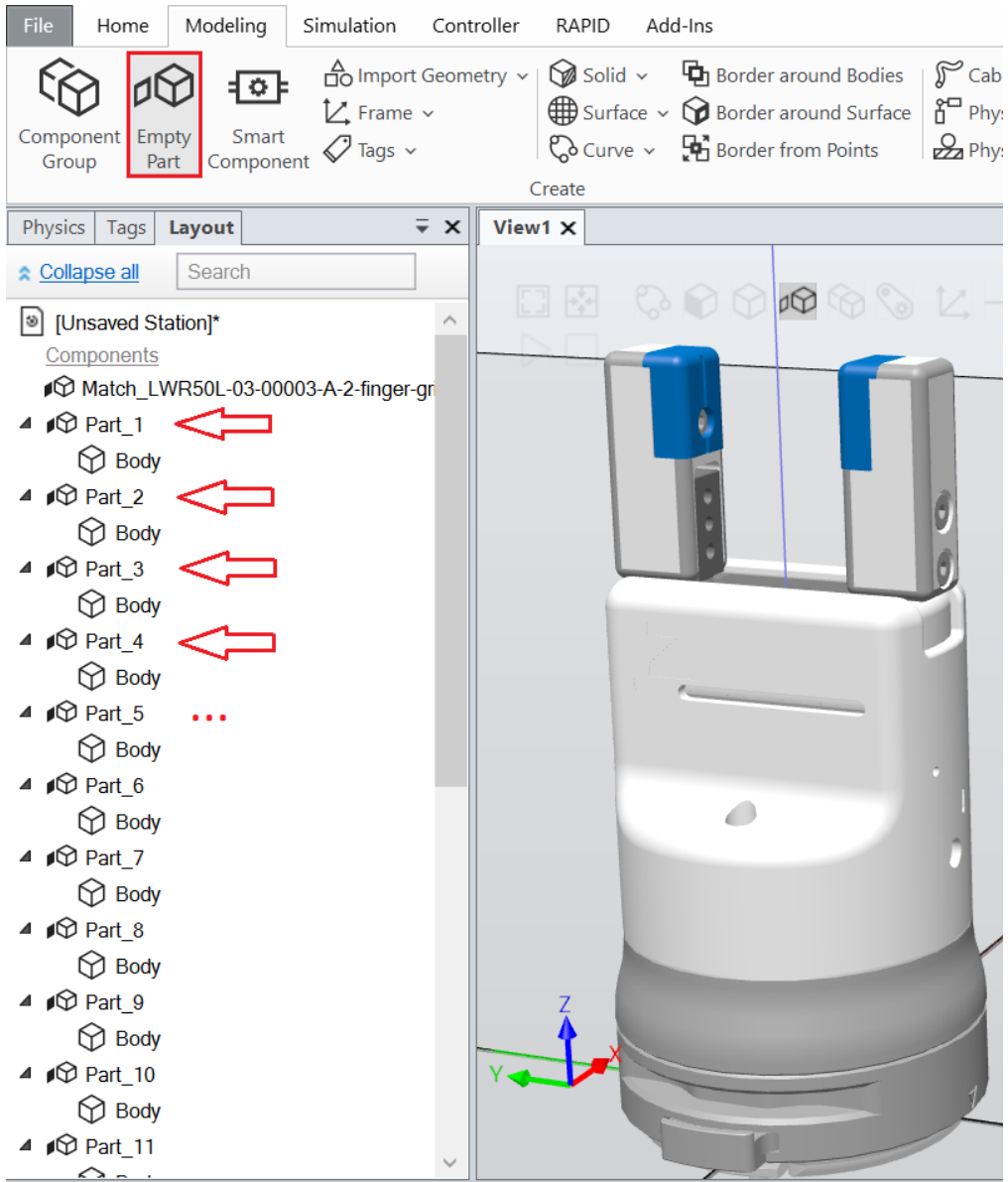
Kuva 19. Ruuvaustyökalu valmiina, työkalupiste on kärjessä.

Sormitarttujan rakennetta tuli muokata, ennen kuin siitä voitiin tehdä työkalu, koska se sisältää mekanismia. Kuvasta 20 havaitaan, että kaikki 3D-mallin osat ovat erillisiä eivätkä ole sidottuina mihinkään.

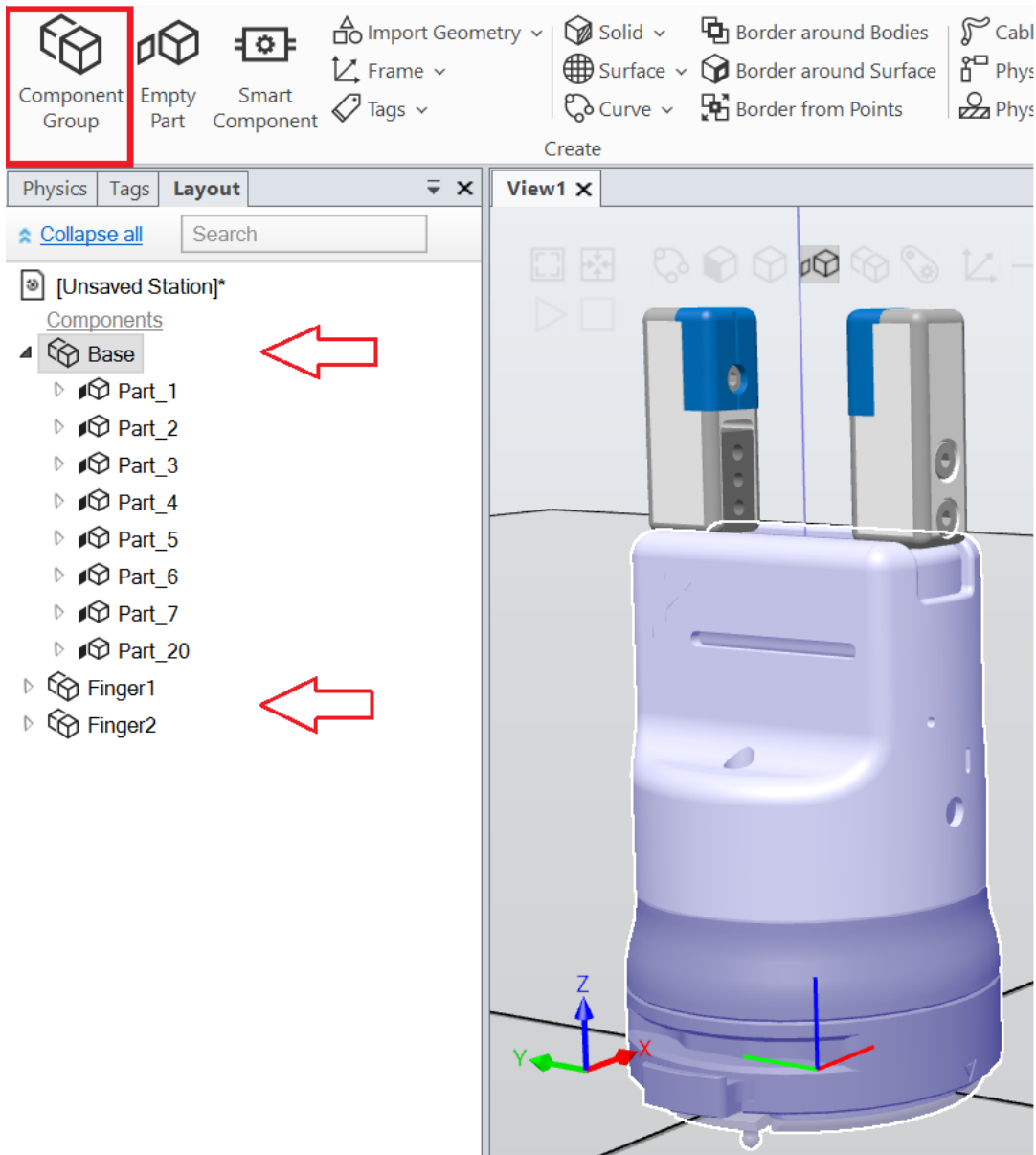


Kuva 20. Sormitarttujan runko 3D-mallina, jossa osat ovat "body"-muodossa.

Mallin "body"-osat pitää ensin muokata kappaleiksi (*Empty part*), jonka jälkeen ne ryhmitellään osien mukaisesti (*Component Group*) ja nimetään ryhmät loogisesti Base, Finger1 ja Finger2. Kuvissa 21 ja 22 esitellään nämä vaiheet. Vasta näiden muokkausten jälkeen mekaniityökalun luominen on mahdollista.



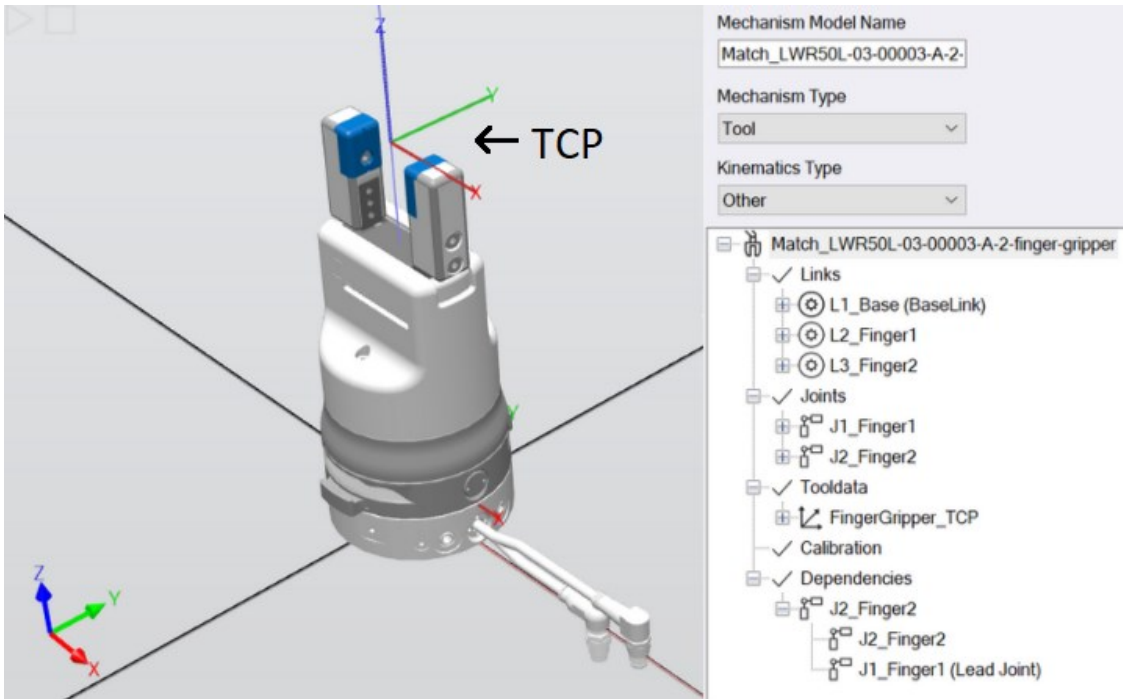
Kuva 21. Rakenteen luominen osiksi Empty Part -toiminnolla.



Kuva 22. Component Group -toiminnolla luodut ryhmät Base, Finger1 ja Finger2, joihin jokaiseen on jaoteltu juuri tehdyt osat.

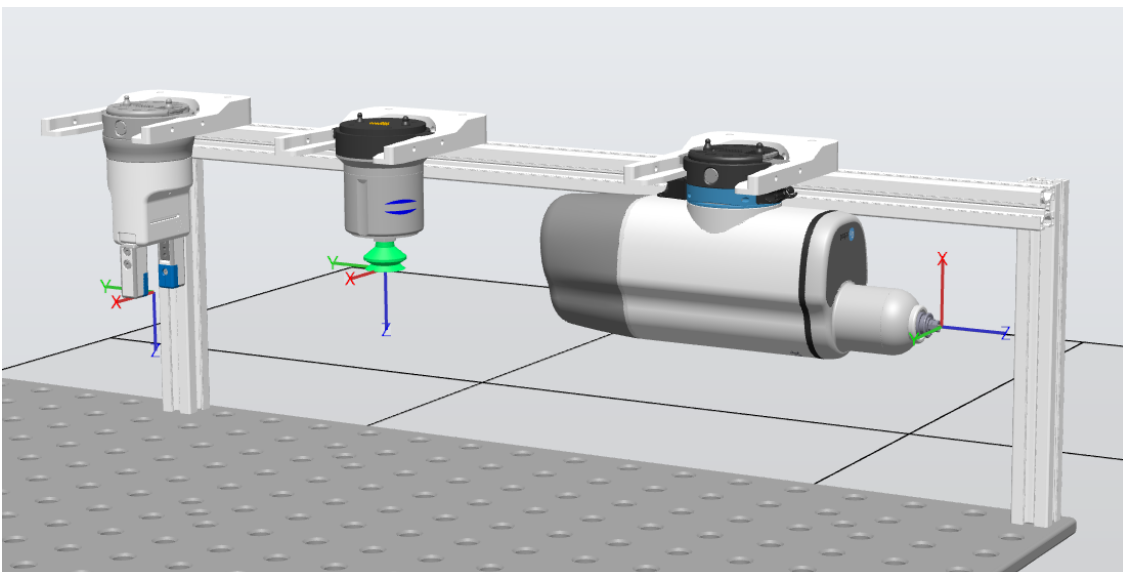
Sormitarttujatyökalun määrittely tapahtui eri tavalla kuin muille työkaluille, koska tälle tarttujalle tuli luoda mekanismi sormien liikutteluun. Siihen ei käytetty *Create Tool*- vaan *Create Mechanism* -toimintoa, joka samalla luo siitä työkalun, kun valitaan *Mechanism Type* -valikosta vaihtoehto *Tool*. Kuvasta 23 näkyy työkalulle määriteltävät toiminnot ja ominaisuudet, joita ovat: *Links*, *Joints*, *Tooldata*, *Calibration* ja *Dependencies*. *Links*-kohtaan lisätään kappaleen fyysiset osat, jotka ovat tässä tapauksessa pohjaosa *Base* ja sormet *Finger1* ja *Finger2*. *Joints*-kohdassa lisätään nivelliikkeit osille. Se kertoo, kuinka osat liikkuvat toisiinsa nähden. Tässä tapauksessa sormet ovat liukuvia niveliä, joten nivelliikkeeksi valittiin *Prismatic* ja pohjarakenteeksi valittiin *Base*. Toinen vaihtoehto olisi pyörivä nivel (*Rotational*). *Tooldata* on työkalupiste, joka luotiin samalla tavalla kuin aiemmat. Tässä kohtaa lisättiin työkalun

massa ja painopiste. Viimeisenä lisätään osien riippuvuudet (*dependencies*). Tässä työssä *Finger2* on riippuvainen osasta *Finger1*, eli aina kun *Finger1* liikkuu, *Finger2* liikkuu myös.



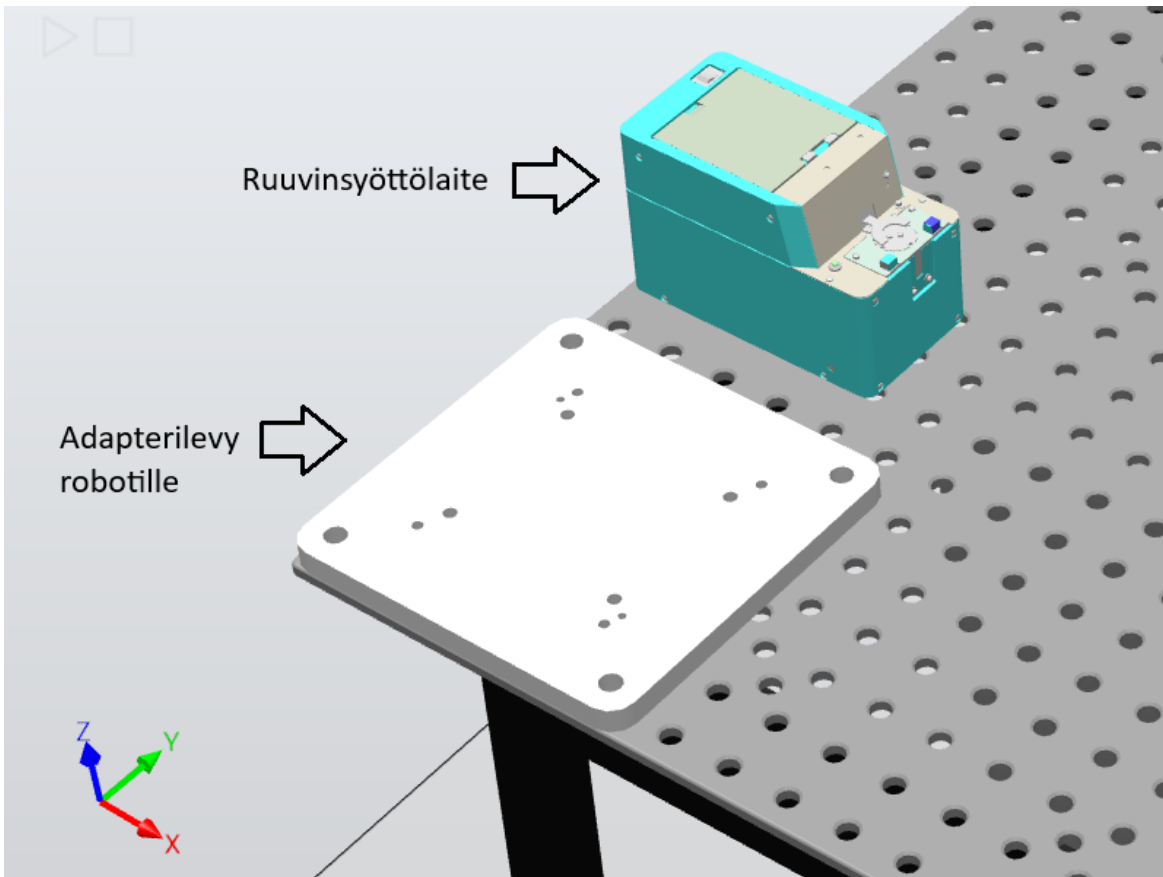
Kuva 23. Valmis työkalu, jolle on lisätty mekanismi sen sormien liikutteluun.

Työkaluille piti mallintaa säilytyspaikka eli työkaluasema. Verkosta ladattiin alumiiniprofiilit CAD-muodossa ja ne tuotiin Solid Edge -sovellukseen kokoonpantavaksi. Solid Edge on Siemensin suunnitteluohjelmisto ja sitä käytettiin työssä vain tässä tehtävässä. Telineeseen lisättiin kolme varastointiasemaa työkaluille. Kun mallinnus oli valmis Solid Edgessä, se tallennettiin sat-tiedostona ja tuotiin RobotStudio-projektiin (kuva 24).



Kuva 24. Työkaluasema kolmelle työkalulle.

Kuvassa 25 on esiteltyä pöytään kiinnitettävä adapterilevy, johon robotti ruuvataan kiinni ja ruuvaustyökalun ruuvinsyöttölaite. Nämä olivat valmiiksi mallinnettuja, niille piti vain määrittellä sijainnit ja orientaatiot.



Kuva 25. Adapterilevy ja ruuvinsyöttölaite.

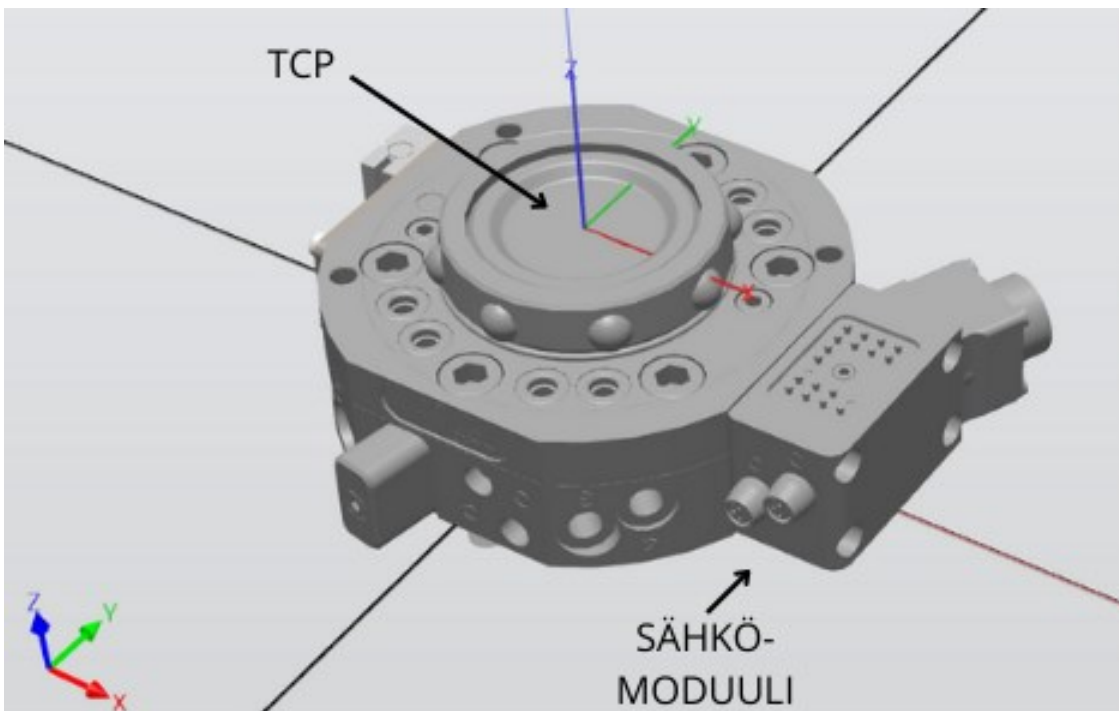
Työkalujen teko vei yllättävän paljon aikaa, koska vastaan tuli ennalta arvaamattomia tilanteita. Tästä esimerkkinä on se, että sormitarttujan valmista 3D-mallia ei voitu käyttää sellaisenaan, vaan sen rakenteeseen piti tehdä muutoksia. RobotStudiassa ilmeni olennainen puute työkalun työkalupistettä määritettäessä, nimittäin sen orientaatiota ei voinut mitenkään esikatsella. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että orientaatiota ei voinut jälkikäteen muokata, kun työkalu oli valmis. Sen vuoksi *Create Tool* -toiminto piti suorittaa useita kertoja jokaisen työkalun kohdalla, jotta orientaatio työkalupisteelle tulee oikein.

Kun työkalut oli tehty ja tallennettu, niiden 3D-mallinnuksiin tulikin vielä muutoksia, mikä tarkoitti sitä, että kaikki työkalut piti luoda uudelleen RobotStudiassa. Tämä kuitenkin tapahtui nopeasti, koska taustalla oli jo useiden päivien kokemus tästä prosessista. Lisäksi vasta viikkoja työkalujen luomisen jälkeen huomattiin, että sormitarttujatyökalussa oli virheellinen ryhmittely yhden osan kohdalta, joten koko työkalu piti tehdä uudestaan.

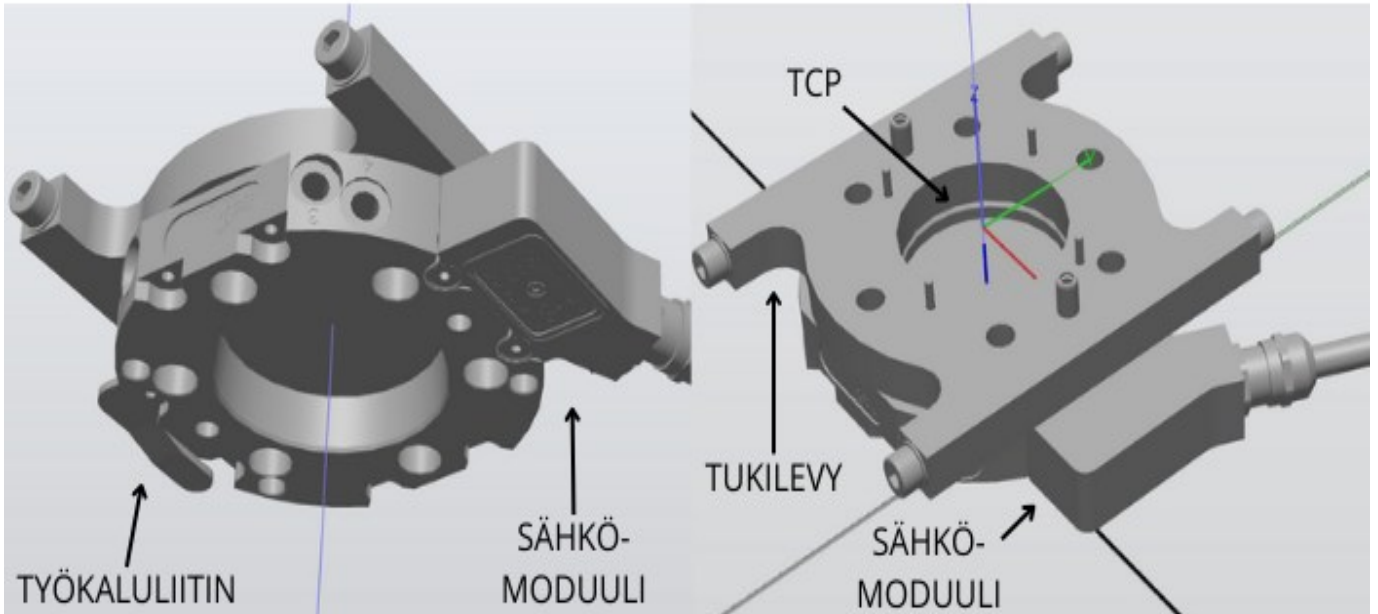
5.2 Teollisuusrobotin lisäosien luonti

Teollisuusrobotille on neljä työkalua, mutta niille ei ole saatavilla 3D-mallinnuksia, joten näiden määrittelemisen työkaluiksi RobotStudiassa jää tekemättä. Robotin työkaluvaihtajalle, työkaluliittimelle ja työkalutelineelle on olemassa mallinnukset, joten nämä sisältyvät työhön.

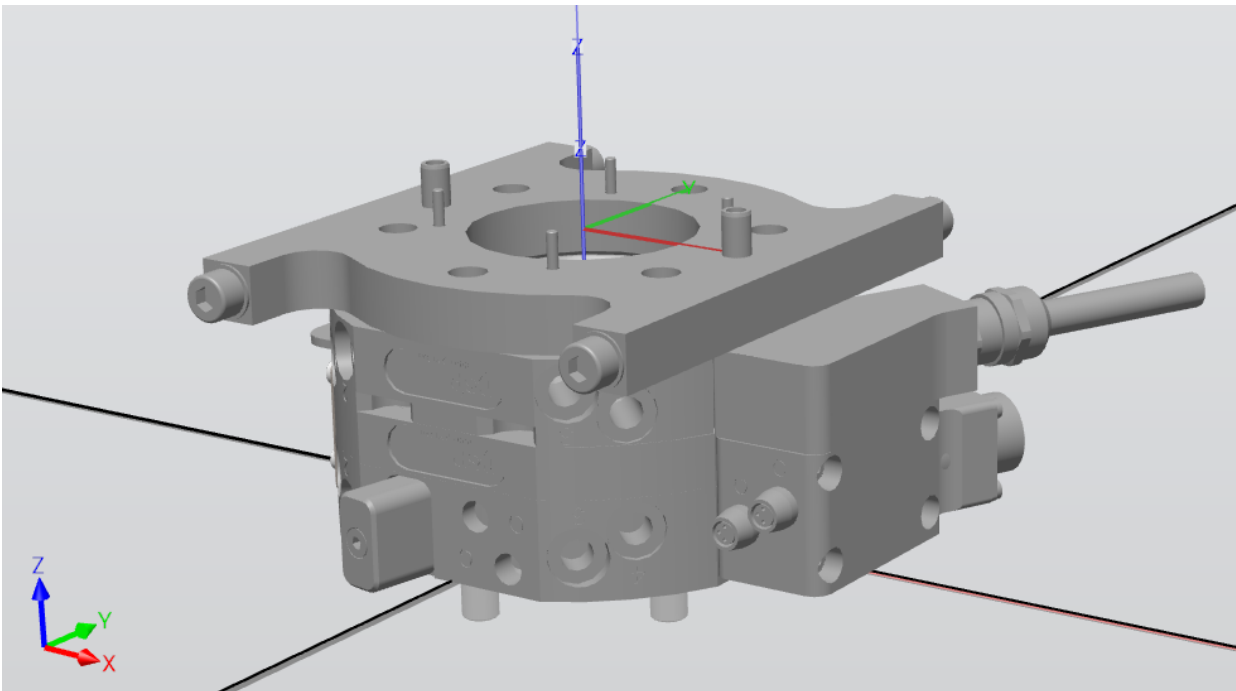
Robotin laippaan kiinnitetään työkaluvaihtaja kuten yhteistyörobottiin. Sille määritellään positiio ja työkalupiste (TCP). Työkaluvaihtaja kiinnittyy työkaluliittimeen, jossa on kiinni tukilevy työkalutelineelle ja sen päässä työkalu. Kuvassa 26 esitellään työkaluvaihtaja ja kuvassa 27 on työkaluliitin tukilevyn kiinnitettynä ylä- ja alasuunnasta. Näiden jälkeen esitellään komponentit yhdessä toisiinsa liitettyinä kuvassa 28.



Kuva 26. IRB 4600 -työkaluvaihtajalle määritelty työkalupiste ja sähkömoduuli.

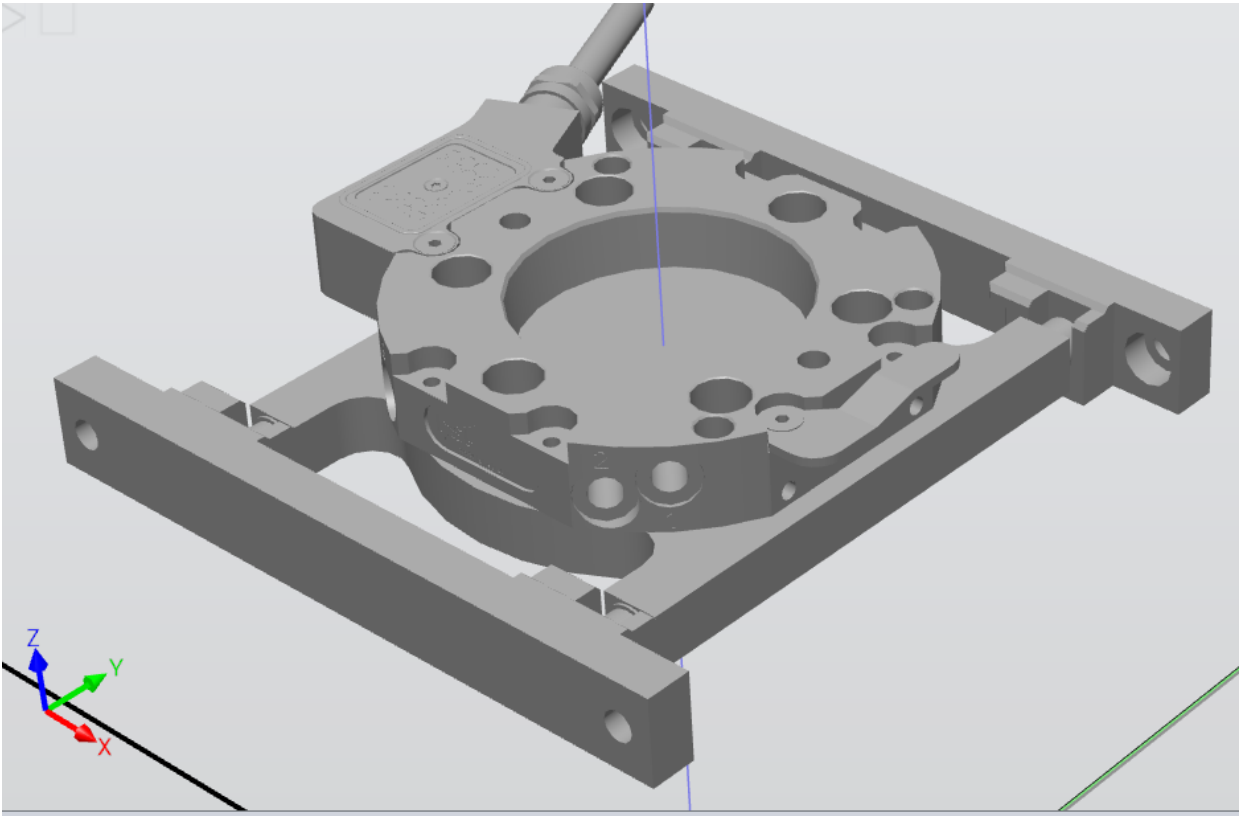


Kuva 27. Työkaluliittimeen kiinnitetty tukilevy ja määritelty työkalupiste (TCP) sekä sähkömoduuli.



Kuva 28. Työkaluvaihtajien osat yhdessä.

Tukilevy sijoitetaan kuvan 29 mukaisesti sille yhteensopivaan telineeseen, joka lopulta kiinnitetään profiilitelineeseen. Profiilitelineelle ei ole vielä luotu mallinnusta.



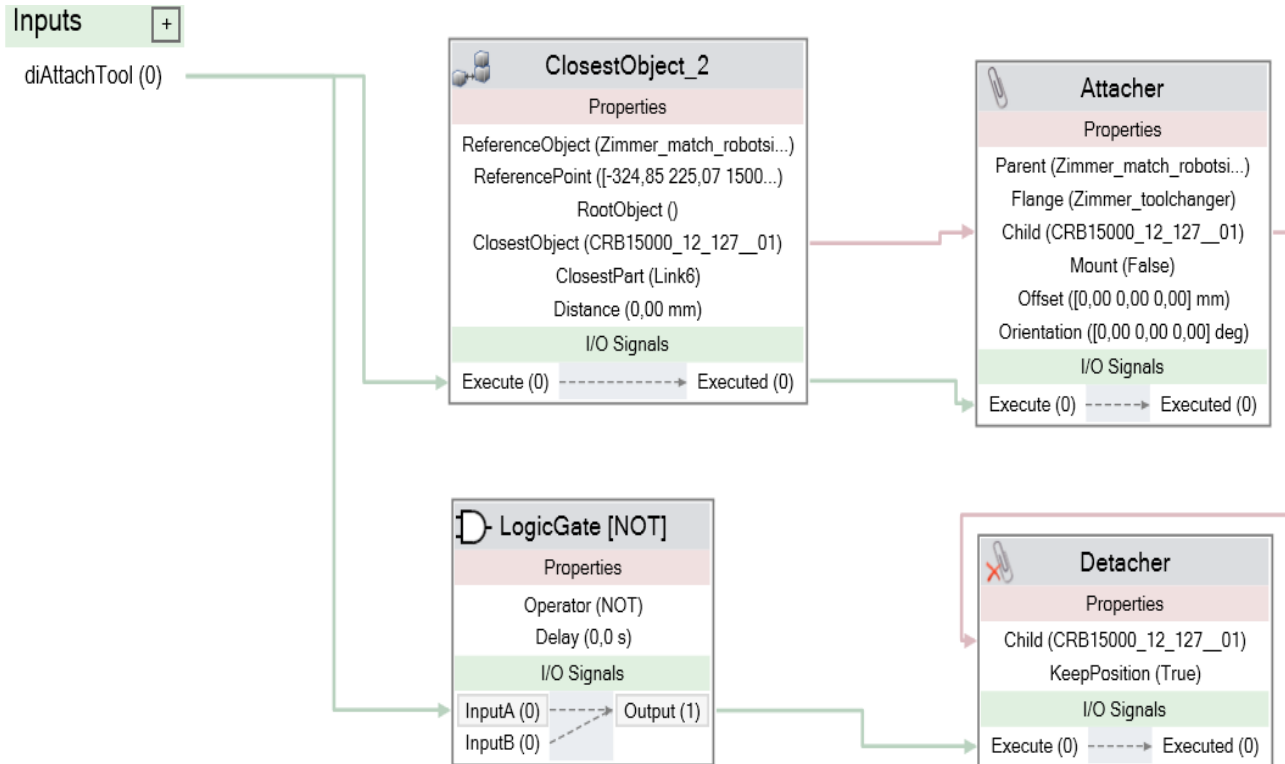
Kuva 29. Tukilevy telineessään.

5.3 Työkaluvaihto

Yhteistyörobotin työkaluvaihtajasta tehtiin RobotStudiassa *Smart Component*, jotta työkaluvaihtojärjestelmä saatiin toteutettua. *Smart Component* on nimensä mukaisesti älykäs komponentti, joka sisältää erilaisia toiminnallisuuksia. Tässä työssä sen tarkoitus on tarttua työkaluihin ja irrottaa ne käyttämällä IO-signaaleja ja logiikkatoimintaa.

Smart Componentin komponenteiksi valittiin *Attacher*, *Detacher*, *LogicGate (NOT)* ja *ClosestObject*. Työkalujen kiinnitys ja irrotus simuloidaan *Attacher*- ja *Detacher*-komponenttien digitaalisten IO-signaalien ohjauksella. *ClosestObject*-komponentti etsii lähimmän objektin (työkalun) sen referenssipisteen perusteella, joka on se kohta työkaluvaihtajassa, johon työkalu kiinnittyy. *LogicGate (NOT)* kääntää luodun signaalin *diAttachTool*-arvon, jolloin kiinnityksestä ja irrotuksesta vastaavat komponentit *Attacher* ja *Detacher* aktivoituvat oikeassa järjestyksessä.

Tämän jälkeen *Smart Componentille* luotiin *Design*-välilehdelle visuaalinen toimintalohkokaa-
vio, jossa yhdistyy kaikki aiemmin valitut komponentit (kuva 30).



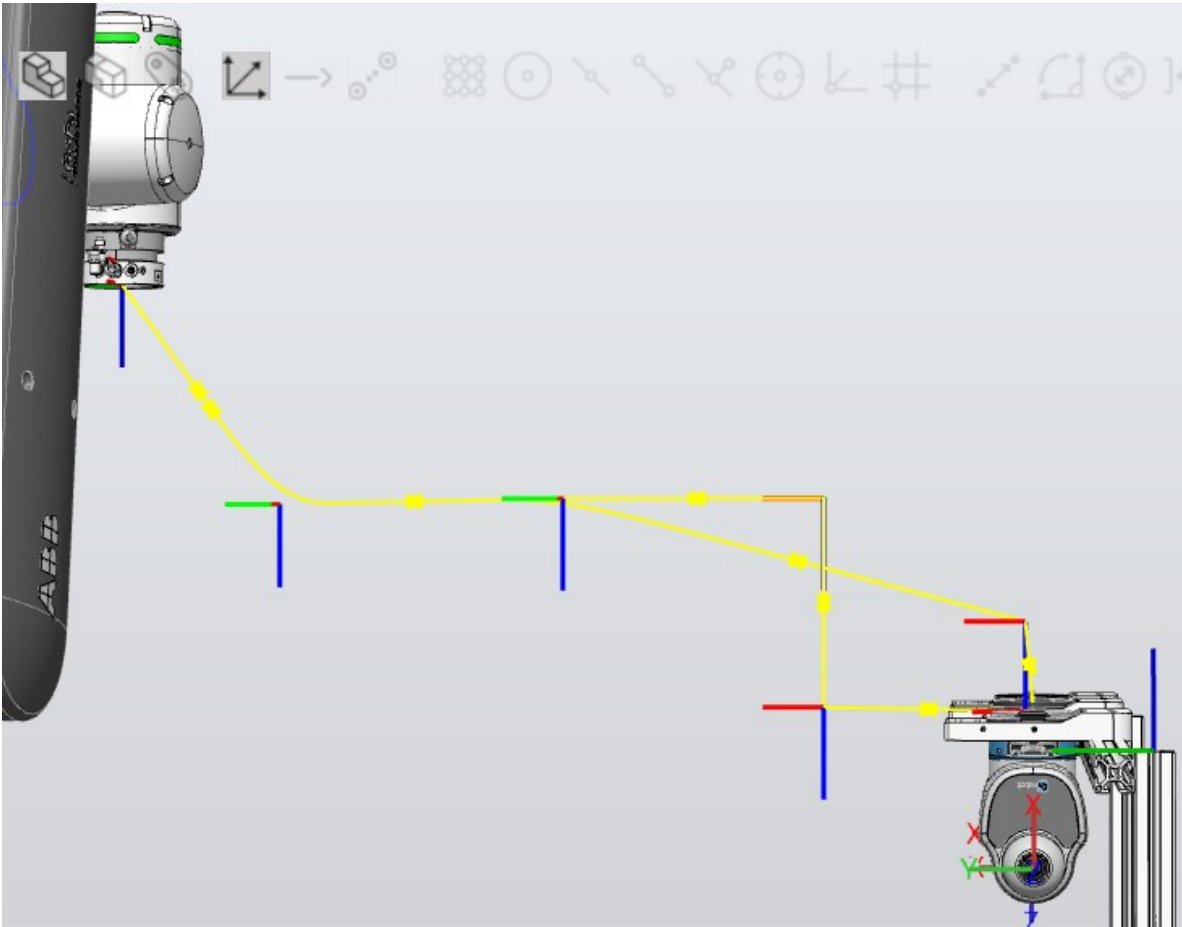
Kuva 30. Toimintalohkokaavio Smart Componentille.

Työkaluvaihto *Smart Componentilla* toteutettiin YouTube-materiaalia hyödyntäen. Ongelmia ilmeni ohjeista huolimatta, koska *ClosestObject* etsi lähimmäksi objektiksi aina robotin, eikä työkalua. Tämä johtui siitä, että robotin '*Detectable by Sensors*' -valintaruutu oli oletuksena aktiivisena, joten se piti deaktivoida. Tämän jälkeen työkalujen kiinnitys työkaluvaihtajaan onnistui.

5.4 Ohjelman luominen RobotStudiassa

Työn alussa luotiin uusi workobject-koordinaatisto, joka sijoitettiin yhteistyörobotin työkalutelineen kulmaan. Tämä mahdollistaa opetettujen pisteiden säilymisen oikeassa suhteessa työkalutelineeseen mahdollisista layoutmuutoksista huolimatta, jolloin pisteiden uudelleenopetusta ei tarvitse tehdä.

Workobject-koordinaatistoon luotiin pisteet (*Target*) ja kulkureitit (*Path*) jokaista työkaluvaihtoa varten. Kuvassa 31 esitellään pisteet ja kulkureitit ruuvaustyökalun noutoon ja sen palauttamiseen takaisin asemalle, josta kulkureitit etenevät käänteisessä järjestyksessä.



Kuva 31. Polku ruuvaustyökalun noutoon ja palauttamiseen.

Jotta työkaluvaihtaja tarttuu työkaluun ja irrottautuu siitä simulaatioympäristössä, RAPID-ohjelmakoodiin piti lisätä signaalitoiminnot "*SetDO doAttachTool,0;*" ja "*SetDO doAttachTool,1;*", jossa 0 signaali on pois päältä ja 1 signaali on päällä. *DoAttachTool* on lähtösignaali aiemmin luodulle tulolle *diAttachTool*, jota käsiteltiin edellä liittyen *Smart Componentiin*. Koodiin lisättiin myös toiminto *WaitTime*, jossa odotetaan puoli sekuntia työkalun tarttumiseen ja irrottamiseen. Kuvassa 32 on esimerkkinä osio ruuvaustyökalun nouto-ohjelmasta, jossa ensimmäisellä rivillä robotti suorittaa tarkan (*Fine*) lineaariliikkeen työkalun kiinnityspisteelle (*Target_110*) nopeudella 100 mm/s, minkä jälkeen tarttujasignaali menee päälle ja odottaa puoli sekuntia työkalun tarttumista. Viimeisellä rivillä robotti liikkuu tarkalla lineaariliikkeellä pois työkalutelineestä nopeudella 50 mm/s. Koodissa *Zimmer_toolchanger* on työkaluvaihtajan työkalupiste ja *Wobj_Tool_Station* on workobject-koordinaatisto.

```
MoveL Target_110,v100,fine,Zimmer_toolchanger\WObj:=Wobj_Tool_Station;  
SetDO doAttachTool,1;  
WaitTime 0.5;  
MoveL Target_170,v50,fine,Zimmer_toolchanger\WObj:=Wobj_Tool_Station;
```

Kuva 32. RAPID-koodi työkaluun tarttumisesta.

5.5 Ohjelman siirtäminen robotille

Kun yhteistyörobotin työkaluvaihto-ohjelma todettiin toimivaksi simulaatioympäristössä, se siirrettiin robotille yhdistämällä tietokone robotin huoltoporttiin Ethernet-kaapelilla. Tässä vaiheessa täytyi kuitenkin tehdä pieniä muutoksia opettamalla työkaluvaihtopisteet fyysiselle robotille, jotta työkaluvaihtaja tarttuisi varmasti oikeaan kohtaan työkalussa. Tämä tehtiin käsin opettamalla FlexPendantin joystickilla. Sen avulla robotti siirrettiin haluttuun asentoon, minkä jälkeen RobotStudiassa tallennetun pisteen paikka tallennettiin uudelleen.

Pisteiden sijainneissa oli pieniä poikkeamia simulaatioon verrattuna, joten edellä mainittu työvaihe oli tärkeä suorittaa. Kun työkaluvaihtopisteiden opetus oli tehty, robotin työkaluvaihto-ohjelma pystyttiin ajamaan onnistuneesti. Muuttuneiden kohdepisteiden avulla voitiin myös päivittää simulointimallin tarkka layout vastaamaan todellista solua.

5.6 Kenttäväylien konfigurointi

Laitteiden välinen kommunikointi toteutettiin Profinet-menetelmän avulla. RobotStudiassa asetettiin yhteys yhteistyörobotin ohjaimen, jonka jälkeen ohjaimelle konfiguroitiin yksilöllinen IP-osoite. Silloin se kykenee kommunikoimaan muiden laitteiden kanssa, jotka ovat tässä työssä teollisuusrobotti ja kenttäväylälaitte IO-Link-master AL1300. Näille laitteille laadittiin myös yksilöllinen IP-osoite, jolloin ne ovat samassa Profinet-verkossa. Yhteistyörobotti toimi ohjaavana laitteena (*Master*) teollisuusrobotille ja kenttäväylälaitteelle (*Device*).

Jokaisesta työssä käytettävästä IO-laitteesta on saatavilla valmistajan toimittamat GSD-tiedostot, jotka sisältävät laitekuvauksia ja ne ovat välttämättömiä konfigurointia varten (ABB, 2025, s. 34). Nämä GSD-tiedostot ladattiin RobotStudion I/O Engineering -työkaluun *Import Device Files* → *GSD Files* -kohdasta.

RobotStudio I/O Engineering -työkalussa ohjaimelle (*Controller*) lisättiin nimi, joka tässä tapauksessa oli abb-gofa. Tämän jälkeen etsittiin samassa verkossa olevia laitteita *Scan Network* -toiminnolla. Kenttäväyläkomponentin AL1300 GSD-tiedosto oli jo ladattu, jolloin laite löytyi. Tämän jälkeen kenttäväylälaite lisättiin ohjaimen alle konfiguroitavaksi ja sille määriteltiin laitteen tietojen mukaiset IO-Link-portit ja signaalit.

Robottien välisen kommunikoinnin kenttäväyläkonfigurointi toteutettiin edellä mainitun työn pohjalle, johon teollisuusrobotti lisättiin uutena laitteena vastaavalla tavalla kuin aiemmin. Robottien välistä kommunikointia kokeiltiin luomalla signaalit, jotka toimivat niin, että tulosignaali DI (*Digital Input*) oli yhteistyörobotilta ja lähtösignaali DO (*Digital Output*) teollisuusrobotille. Signaalien tilaa pystyi vaihtamaan myös RobotStudio kautta, kun robottiohjainten kirjoitusoi-keudet olivat aktiivisena ja signaalien *Access Level* muutettiin *Default* → *All*. Kun lähtösignaalin tila muutettiin toisella robotilla, se aktivoi toisen robotin vastaavan bitin tulosignaalin tilan. Näin todettiin robottien välinen kommunikointi kenttäväylän kautta toimivaksi. Jatkossa samaa kenttäväylää voidaan hyödyntää numeerisen tiedon siirtoon *Group I/O* -toiminnolla, jossa numeron siirto tapahtuu yhdistämällä useita bittejä yhteen viestiin.

6 TULOKSET

Työn tuloksena tehtiin robottisolun käyttöönotto, joka piti sisällään yhteistyörobotin työkaluvaihtojärjestelmän ohjelmoinnin ja kenttäväyläkonfiguroinnin Profinet-menetelmää käyttäen. Työkaluvaihtojärjestelmän ohjelmointiin kuului workobject-koordinaatiston määrittäminen ja työkalupisteiden opetus luoduille työkaluille RobotStudio-ympäristössä. Tämän jälkeen tehtiin työkaluvaihto-ohjelma, joka ensin simuloitiin ohjelmointiympäristössä ja ajettiin sen jälkeen onnistuneesti yhteistyörobotilla. Robotit saatiin kommunikoidaan keskenään konfiguroimalla kenttäväylät. Väylään lisättiin IO-kenttäväylälaitte, jolla todennettiin kommunikoinnin toimivuus. Robottisolu mallinnettiin RobotStudiolla, joka vastaa tämänhetkistä todellista robottisolua.

Työssä ei käsitelty ohjelmoitavan logiikan (PLC) toimintaa, koska sitä ei ole vielä hankittu. Jatkokehitystä varten ohjelmoitava logiikka voidaan lisätä samaan Profinet-kenttäväylään, jossa se toimii soluohjaimena (*Master*) roboteille ja kenttäväylälaitteelle (*Device*). Jatkossa on mahdollista käyttää myös muita kenttäväyläprotokollia esimerkiksi opetustilanteita varten. Kun teollisuusrobotin työkaluille on saatavilla 3D-mallit, sille voidaan toteuttaa työkaluvaihtojärjestelmä hyödyntäen yhteistyörobotin työkaluvaihto-ohjelmaa. Koska solun layoutiin on tulossa vielä muutoksia, RobotStudio-mallinnusta voidaan päivittää vastaavasti. Muita jatkokehityksen kohteita voisi olla esimerkiksi uusien työkalujen lisääminen.

7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tämän työn tavoitteena oli tehdä käyttöönotto kahdelle ABB:n robotille ja luoda mallinnus robottisolusta RobotStudio-ohjelmistolla. Käyttöönottoon sisältyi työkalujärjestelmän ohjelmointi ja kenttäväylän konfigurointi.

Työn tavoitteita määritettäessä ei ollut tietoa siitä, että kaikki solussa tarvittavat elementit, kuten logiikkaohjain (PLC) ja teollisuusrobotin työkalujen 3D-mallit, eivät olisi saatavilla työn aikana. Tämän vuoksi logiikan lisääminen soluun ja teollisuusrobotin työkaluvaihtojärjestelmä jäivät tekemättä, eikä niitä käsitelty työssä. Muuten työn tavoitteet toteutuivat ja lopputulokseksi saatiin toimiva työkaluvaihtojärjestelmä yhteistyörobotille, robottien välinen kommunikoinnin toimivuus Profinet-kenttäväyläprotokollan avulla ja RobotStudio-mallinnus solusta.

Työssä keskityttiin erityisesti työkalujen ja työkaluvaihto-ohjelman tekemiseen RobotStudio-ympäristössä. Vaikka RobotStudio oli jossain määrin tuttu ohjelmisto, joidenkin työkalujen määrittelyvaiheessa ilmeni ongelmia, joihin ei löytynyt suoraa vastausta verkosta. Näissä tilanteissa sovellettiin saatavilla olevaa tietoa ja saatiin hyödyllisiä neuvoja toimeksiantajalta, mikä mahdollisti työn etenemisen suunnitellusti. Työkalujen määrittely RobotStudiossa vei aluksi aikaa, koska niiden tekeminen 3D-malleista ei ollut entuudestaan tuttua. Haasteita ilmeni, kun 3D-malleihin tuli muutoksia ja kaikki työkalut piti luoda uudestaan. Tämä vaihe osoittautui kuitenkin tehokkaaksi oppimisprosessiksi työkalujen luomisesta, sillä kertyneen kokemuksen ansiosta työkalujen uudelleenmäärittely tapahtui suhteellisen nopeasti.

Robottien välisestä kommunikoinnin toteuttamisesta ei ollut aiempaa kokemusta, joten tämä osa-alue tarjosi täysin uuden oppimiskokemuksen. Pelkän teorian perusteella kenttäväyläkonfiguroinnin tarkoitus ja toiminta olivat aluksi vaikeita hahmottaa, mutta kun tehtävä suoritettiin käytännössä, asia oli helppo ymmärtää ja omaksua.

LÄHTEET

- ABB. (2004). *RobotWare: Industrial Robot Controller Software: IRC5*.
<https://library.e.abb.com/public/c351e246eeb20a19c12570b90039d5dc/RobotWare%20data%20sheet.pdf>
- ABB. (2024a). *Product specification: CRB 15000*.
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC077390-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB. (2024b). *More with OmniCore™*. <https://global.abb/group/en/innovation/news/more-with-omnicore>
- ABB. (2025). *Application manual: PROFINET Controller/Device*.
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC066558-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB. (i.a.-a). *RobotStudio® Suite*. <https://new.abb.com/products/robotics/software-and-digital/robotstudio>
- ABB. (i.a.-b). *RobotStudio®*. <https://new.abb.com/products/robotics/software-and-digital/robotstudio/robotstudio-desktop>
- ABB. (i.a.-c). *GoFa™ CRB 15000*.
<https://new.abb.com/products/robotics/robots/collaborative-robots/crb-15000>
- ABB. (i.a.-d). *IRB 4600*. <https://new.abb.com/products/robotics/robots/articulated-robots/irb-4600>
- ABB. (i.a.-e). *IRB 4600: Highly productive general purpose robot*. https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0109EN_G
- Billing, M. (2023). Teollisuusrobotti. Teoksessa K. Välimäki, & M. Niemelä (toim.), *Teollisuuden robotiikka* (s. 117–139). Suomen robotiikkayhdistys.
- Borunte. (2024). *Mikä on teollisuusrobottien hyötykuorma?* <http://fi.borunte.net/news/what-is-the-payload-of-industrial-robots-81631860.html>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (42/EY/2006). Direktiivi koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta (uudelleenlaadittu) (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti).
<http://data.europa.eu/eli/dir/2006/42/oj>
- Ifm. (2024). *IO-Link -master Profinet-liitännällä: AL1300*.
<https://www.ifm.com/fi/fi/product/AL1300#details>

- Latokartano, J. (2023). Teollisuusrobotiikan turvallisuus. Teoksessa K. Välimäki, & M. Niemelä (toim.), *Teollisuuden robotiikka* (s. 91–115). Suomen robotiikkayhdistys.
- Lempiäinen, J. (2023). Teollisuuden robotiikka Suomessa. Teoksessa K. Välimäki, & M. Niemelä (toim.), *Teollisuuden robotiikka* (s. 15–33). Suomen robotiikkayhdistys.
- OEM. (i.a.). *PROFINET*. <https://www.oem.fi/tuotteet/logiikat-ja-kaytot/teollisuusvayla-ja-verkot/profinet- -C34491>
- OpenAI. (2025). *ChatGPT* (versio 4o-mini) [suuri kielimalli]. <https://chatgpt.com/>
- Pakkanen, J. (2025). *Basic structure of industrial robot*. SEAMK Moodle.
- Probot Oy. (2022). *Yhteistyörobotti vai teollisuusrobotti?* <https://probot.fi/yhteistyorobotti-vai-teollisuusrobotti>
- Pöysäri, S. & Kytöharju, J. (2023). Simulointi ja mallipohjainen etäohjelmointi. Teoksessa K. Välimäki, & M. Niemelä (toim.), *Teollisuuden robotiikka* (s. 251–274). Suomen robotiikkayhdistys.
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu. (i.a.). *IXFactory*. Haettu 21.4.2025, <https://projektit.seamk.fi/alykkaat-teknologiat/ixfactory/>
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2011a). *Robotit ja robotiikkalaitteet: Turvallisuusvaatimukset: Osa 1: Teollisuusrobotit; Robots and robotic devices: Safety requirements for industrial robots: Part 1: Robots* (SFS-EN ISO 10218-1).
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2011b). *Robotit ja robotiikkalaitteet: Turvallisuusvaatimukset: Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät; Robots and robotic devices: Safety requirements for industrial robots: Part 2: Robot systems and integration* (SFS-EN ISO 10218-1:2011).
- Tukes. (i.a.). *Koneita koskevat vaatimukset*. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet#bd6cb6b2>
- Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. <http://data.finlex.fi/eli/sd/2008/400/ajantasa/2011-05-26/fin>
- Yamaguchi, K. & Inaba, K. (2023). Intelligent and Collaborative Robots. Teoksessa S.Y. Nof (toim.), *Springer Handbook of Automation* (2. p., s. 335–356). Springer Nature.
- Zimmer Group. (2025). *Installation and operating instructions: MATCH robot module: LWR50F* (DDOC01074). https://www.zimmer-group.com/fileadmin/pim/SOM/DOK/MON/SOM_DOK_MON_DDOC01074-LWR50F_SALL_APD_V17.pdf

LIITTEET

Liite 1. Tiedonsiirtokaavio

Liite 1. Tiedonsiirtokaavio

