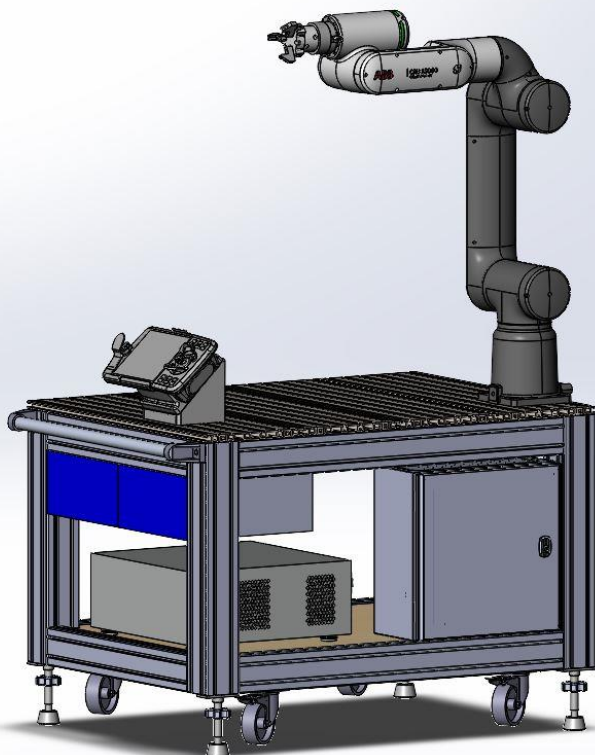


Veli Pekka Roivainen

Yhteistyörobottiaseman suunnittelu ja käyttöönotto



Opinnäytetyö

Konetekniikka

Kevät 2022



KAMK • University
of Applied Sciences

Tiivistelmä

Tekijä(t): Veli Pekka Roivainen

Työn nimi: Yhteistyörobottiaseman suunnittelu ja käyttöönotto

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), konetekniikka

Asiasanat: robotiikka, yhteistyörobotti

Tämän opinnäytetyön aiheena oli yhteistyörobottiaseman suunnittelu ja käyttöönotto. Valmista robottisolu käytetään yrityksen demolaitteena sekä tarvittaessa vuokrataan yritysten käyttöön. Kokeilun aikana asiakkaat voivat todentaa konkreettisesti, onko laitteesta hyötyä heidän tuotannossaan.

Aihe tuli lisälmen Sähkö- ja automaatio suunnittelu Oy:ltä, jossa suoritin kesällä 2021 työharjoittelun. Yritys laajentaa liiketoimintaansa robotiikan saralle, ja he ovat sopineet robottivalmistaja ABB:n kanssa yhteistyöstä. Sen takia yritys hankki ABB:n uuden yhteistyörobotin.

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin myös robotiikan teoriaa tutustumalla historiaan ja yleisimpiin teollisuudessa käytettyihin robottimalleihin sekä käytiin läpi myös robotiikkaan liittyviä standardeja. Työ rajattiin koskemaan aseman suunnittelua ja käyttöönottoa. Käsiteltäviä osa-alueita oli monia, minkä johdosta tässä työssä ei käsitellä CE-merkitsemistä.

Kartoitin lisälmen alueen konepajateollisuuden tarpeita robotiikan näkökulmasta. Tarpeiden selvittämisen jälkeen tein listan vaatimuksista, joiden pohjalta aloitin suunnittelutyön. Suunnittelin robotille helposti siirrettävän aseman sekä valitsin esittelykäyttöön tarvittavia oheislaitteita. Hyödynsin mekaniikkasuunnittelussa 3D-mallinnusohjelmaa. Suunnittelun pohjalta tein tarjouskyselyt tarvittavista komponenteista. Tilasin myös valitut tuotteet. Suunnittelun ja hankintojen päätteeksi asema valmistettiin yrityksen tiloissa. Kokoaamisen jälkeen käyttöönotossa määritettiin työkaluille vaadittavat arvot sekä päivitettiin robotin käyttöjärjestelmä.

Valmista asemaa robotiikasta kiinnostuneille yrityksille esiteltäessä tuli monia käyttökohde-ehtouksia sekä kysymyksiä yhteistyörobotiikan mahdollisuuksista. Näiden esille tulleiden asioiden pohjalta robottiaseman jatkokehityksen seuraava vaihe olisi konenäköjärjestelmän sekä turvaskannerin asennus ja niiden käyttöönotto.

Abstract

Author(s): Veli Pekka Roivainen

Title of the Publication: Design and commissioning of a collaborative robot station

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Keywords: collaborative robot, robots

The topic of this thesis was the design and commissioning of a collaborative robot station. The finished robot cell is used as a demo device for the company and if necessary, leased for the use of customers. During the experiment, customers can concretely verify whether the device is useful in their production.

The topic came from Iisalmen Sähkö- ja automaatio suunnittelu Oy, where I completed an internship in the summer of 2021. The company is expanding its business into the field of robotics, and they have agreed to work with the robot manufacturer ABB. As a result, the company acquired a new collaborative robot from ABB. This thesis also dealt with the theory of robotics by studying the history and the most common robot models used in industry, as well as the standards related to robotics. The work was limited to the design and commissioning of the station. There were many areas to be addressed, which is why this thesis does not address the CE marking.

I mapped the needs of the engineering industry in the Iisalmi area from the perspective of robotics. After identifying the needs, I made a list of the requirements based on which I started the design work. I designed an easy-to-move drive for the robot and selected the peripherals needed for demonstration use. For mechanical design, a 3D modeling program was used. Based on the design, I made tendering for the necessary components. I also ordered selected products. At the end of the design and procurement, the station was manufactured on the company's premises. After assembly, the required values for the tools were determined during commissioning and the robot's operating system was updated.

When the robot station was presented to the customers, there were many suggestions for purpose of use and questions about the possibilities of collaborative robotics. Based on the suggestions received from customers, the next step in the further development of the robot station could be the acquisition of a machine vision system and a safety laser scanner.

Sisällys

Symboliluettelo	1
1 Johdanto	1
2 Iisalmen sähkö- ja automaatio suunnittelu Oy	2
3 Robotiikka	3
3.1 Robotiikan historia.....	3
3.2 Robottityypit.....	4
3.3 Standardit	7
4 Koordinaatisto ja ohjelmointi	9
4.1 Koordinaatisto	9
4.2 Ohjelmointi.....	10
5 Robottien työkalut	12
6 Robottiaseman suunnittelu ja kokoonpano	15
6.1 Tarpeiden määrittäminen.....	15
6.2 3D-mallinnus.....	18
6.3 Suunniteltavat osat.....	22
6.3.1 Suojakuoren kiinnike.....	22
6.3.2 Pneumatiikka tarttuja	22
6.3.3 Alipainetarttuja	24
6.3.4 Tarttujan sovitelaippa	26
6.4 Pneumatiikka	27
6.5 Relekaappi	29
7 Käyttöönotto.....	32
7.1 Työkalumäärittäminen.....	32
7.2 DI/DO-liitäntöjen määrittäminen.....	35
7.3 OnRobot-tarraimen määrittäminen.....	37
7.4 SafeMove.....	39
8 Yhteenveto.....	43

Lähteet.....44

Liitteet

Symboliluettelo

Controller	Robotin ohjauskaappi
FlexPendant	Robotin käsiohjauslaite
Cobot	Yhteistyörobotti
RobotStudio	ABB:n ohjelmointi- ja simulointiohjelma
PETG	Polyetyleenitereftalaatti-muovi
Onyx	Mikrohiilikuidulla täytettyä nylonia

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on yhteistyörobottiaseman suunnittelu ja käyttöönotto sekä sen hyödyntäminen teollisuudessa. Aihe tuli lisälmen Sähkö- ja automaatio suunnittelu Oy:ltä, jossa olin työharjoittelussa kesällä 2021. Minulle aihe oli todella sopiva, koska robotiikka kiinnostaa ja suuntautumisopinnoissani opiskelin sitä. Pohjois-Savon alueella on monia metalliteollisuuden yrityksiä, joissa on jo teollisuusrobotteja suorittamassa hitsaustöitä.

Työ rajattiin koskemaan aseman suunnittelua ja käyttöönottoa. Käsiteltäviä osa-alueita on monia, jonka johdosta tässä työssä ei käsitellä esimerkiksi CE-merkitsemistä. Tavoitteena oli saada suunniteltua ja valmistettua yritykselle monikäyttöinen yhteistyörobotiasema. Työn valmistumisen jälkeen robottiasemaa ja sen sisältämiä työkaluja esitellään yrityksen toimitiloissa robotiikasta kiinnostuneille asiakkaille. Tarvittaessa robottiasema voidaan viedä asiakkaan omaan kohteeseen kokeiltavaksi. Yhteistyörobotiikka tuo ihmisen ja robotin työtehtävissä lähemmäksi toisiaan sekä robotin perusohjelmointi on helpompaa ja nopeampaa sovelluksien ansioista. Tämän johdosta asetusaikoihin ja työntekijöiden koulutuksiin tarvitsee käyttää vähemmän aikaa.

2 Iisalmen sähkö- ja automaatioasennus Oy

Yrityksen toimipiste on Iisalmissa ja se on toiminut vuodesta 2002 lähtien. Yrityksen omistaa Petri Kärkkäinen. Työntekijöitä on noin 20 ja tytäryhtiönä on Iisalmen LVI-säätö, jossa työskentelee neljä työntekijää. Yritys tekee töitä mm. sähkösuunnittelun, kiinteistö- ja teollisuusautomaation sekä kunnossapidon osa-alueilla.

Henkilökuntaan kuuluu noin 10 sähkö- ja automaatioasentajaa sekä 6 sähkö- ja kiinteistöautomaatioasennustekijää. Yritys myös tekee sähkökeskuksia alihankintana sekä Pohjois-Savon alueella ELY-keskukselle säännöstelypatojen ja pienvenekanavan ylläpitoa.

Yritykset, joiden kanssa on yhteistyötä ovat mm. Ponsse, Normet, Metallityö Vainio, Ipo-Wood, AnaikaWood, Nordlift ja Suomivalimo. Osassa yrityksissä on ISA:n sähköasentajia kunnossapidon mukana työvuoroissa. Teollisuuden kunnossapitoon kuuluu myös robottien huollot sekä Fronius-hitsauslaitteiden huollot ja validoinnit.

3 Robotiikka

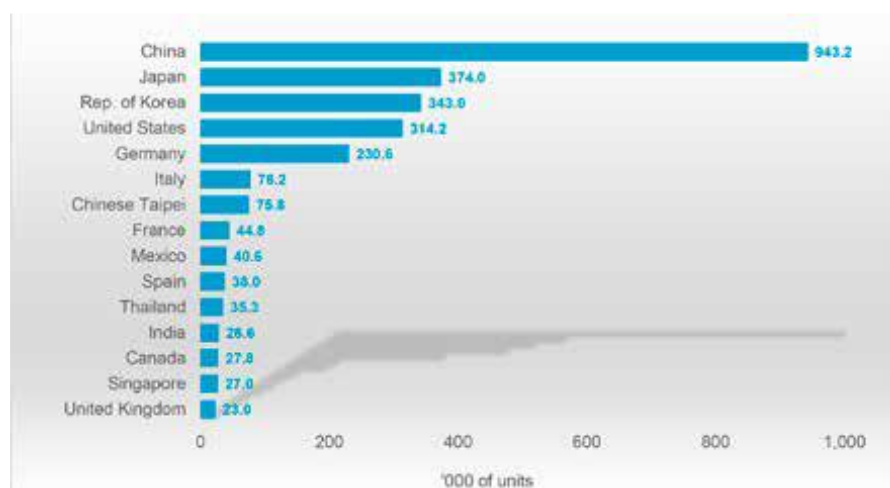
3.1 Robotiikan historia

Robotti sana tulee Tšekin kielen sanasta robota, joka tarkoittaa pakkotyötä. ABB (entinen Asea Ab) on kehittänyt 1970-luvun lopulla ensimmäisen sähköservoja käyttävän robotin IRB6.

Teollisuusrobotteja on alettu käyttää 1960-luvun alussa. General Motors otti robotiikkaa käyttöön ensimmäisenä autotehtaana. Autoteollisuus on nykyäänkin robotiikan suurin käyttäjäkunta. Suomessa robotteja on alettu käyttää 70-luvulla, jolloin ensimmäiset olivat maalausrobotteja. Hitsaus- ja kappaleenkäsittelyrobotit yleistyivät Suomessa 1980-luvulla, robottien kokonaismäärä kasvoi noin 500 kpl:seen, joista puolet oli hitsausrobotteja. Suomessakin Valmet Automotive käyttää tuotannossaan hitsaus- ja maalausrobotteja, niitä oli noin 500 kpl vuonna 2016. [2.]

Vuonna 1979 Hiroshi Makino kehitti SCARA-robotin, josta tuli yleisesti käytetty teollisuusrobottimalli. General Robotics kehitti vuonna 1985 ohjelmoitavan robotin, jossa oli infrapuna-anturit, kamera- ja ääniyhteys, törmäysanturit ja äänisyntetisaattori. Se pystyi toimimaan itsenäisesti ja oppimaan ympäristönsä. [3, s.3.]

Kansainvälinen robotiikkajärjestö IFR on julkaissut vuoden 2020 robottien käyttöä koskevat tilastonsa. Kiina on maailman johtava maa robotti-investoinnissa (Kuva 1).



Kuva 1. Suurimmat robotti-investoinnit maittain 2020 [4].

Suomessa robottien käyttö jakaantuu pääsääntöisesti teollisuuden tarpeisiin (taulukko 1). Vuonna 2020 on otettu käyttöön 430 robottia. [5.] Robottitiheydellä mitataan tuotantotekniikkantasa eri maiden välillä. Suomi on sijalla 21. Käytössä on 152 robottia 10 000 teollisuuden-työntekijää kohden. [4]

Taulukko 1. Robottiikan käyttö suomessa 2020, % ¹⁾

Toimiala	Yritys käyttää robotteja		
	Käytössä teollisuusrobotti	Käytössä palvelurobotti	Robotit käytössä yhteensä
Teollisuus	31	4	32
Rakentaminen	.. ²⁾	..	1
Tukkukauppa	6	2	7
Vähittäiskauppa	3	9	12
Kuljetus ja varastointi	1	1	2
Majoitus- ja ravitsemistoiminta	..	1	1
Informaatio ja viestintä	..	1	1
Ammatillinen, tieteellinen ja tekninen toiminta	3	4	7
Hallinto- ja tukipalvelut	0	7	7
Henkilöstön määrä			
10-19	4	2	6
20-49	8	4	11
50-99	13	5	18
100+	23	10	27
Kaikki yritykset	8	3	10

1) Osuus vähintään 10 henkilöä työllistävästä yrityksistä.

2) ..=Tieto ei ole julkaistavissa

3.2 Robottityypit



Teollisuusrobotti määritellään standardissa SFS-EN ISO 10218-1, että se on automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja joka voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva. Kun robotin turvalaitteisiin on saatu toteutettua tehon ja voiman rajoitukset, jos jokin parametreista ylittyy, seurauksena on oltava suojaus. Tämän johdosta se voidaan määritellä yhteistyörobotiksi. [2.]

Teollisuus- ja yhteistyörobotti eroavat toisistaan turvallisuuden kannalta. Yhteistyörobottia määrittelevä tekninen spesifikaatio ISO/TS 15066 julkaistiin vuonna 2016. Teollisuusrobotit vaativat suoja-aidat tai omat solut, johon ei ole pääsyä robottien toimiessa. Kulkuovia tai -aukkoja

valvotaan valoverhoilla tai skannereilla. Yhteistyörobotti ei vaadi normaaliolosuhteissa suojaamista, vaan se voi työskennellä ihmisen kanssa samassa tilassa yhtä aikaa. Yhteistyörobotit ovat myös yleensä helpommin ohjelmoitavissa sekä siirrettävissä tarvittaessa toisiin tehtäviin. Näin ollen niitä voidaan käyttää yrityksissä erilaisissa työtehtävissä. Yleisimmät työtehtävät ovat mm. Pick-and-Place sekä konepalvelu. [3.]

Tanskalainen Universal Robots tuli markkinoille vuonna 2005, minkä jälkeen monet robottivalmistajat ovat seuranneet perässä ja suunnitelleet omat yhteistyörobottimallinsa. Määrittelevä pääpiirre on robottien kapasiteetti, joka rajoittuu esimerkiksi Fanuc cobotilla 35 kg:aan ja tässä opinnäytetyössä käytetyllä ABB:n GoFa cobotilla 5 kg:aan.

Robottimalleja on monia, vapausasteita yleensä kuusi tai seitsemän. Teollisuusrobotteihin kuuluu mm. portaalirobotit, SCARA-robotit ja kiertyväniveliset sekä rinnakkaisrakenteiset robotit. Robottikonaisuuteen kuuluu manipulaattori, kontrolleri ja käsiohjain (kuva 2). Jokaisella merkillä on omanlaisensa ohjausyksiköt ja käyttöliittymät.

	E10 Ultra-slim	C30 Compact	C90XT Rugged yet compact	V250XT Versatile
Applicable robots:	 Articulated SCARA	 Cobot Delta Articulated SCARA	 Cobot Delta Articulated SCARA	 Articulated
Designed to power robots with payloads:	Up to 11kg (IRB 1300)	Up to 11kg (IRB 1600)	Up to 11kg (IRB 1600)	Up to 300kg (IRB 6700)
Width x Depth x Height:	449 x 338 x 89 mm	449 x 443 x 170 mm	500 x 355 x 520 mm	650 x 480 x 960 mm

Kuva 2. ABB OmniCore kontrolleri malleja.

Portaalirobotissa on kolme vapausastetta ja liikkeet tapahtuvat lineaarisesti johteilla. Yleisin käyttökohde on konepalvelu, kokoonpano- ja varastosovellukset. Ne kykenevät käsittelemään rakenteensa vuoksi 1–500 kg laajallakin liikealueella (kuva 3).

SCARA-robotti (Selective Compliance Assembly Robot Arm) eroaa rakenteellisesti normaalista kiertyvänivelisestä robotista. Niveliä on laitteesta riippuen 3–4 kpl. Kuormankantokyky ja ulottuvuus on pienempi kuin muilla teollisuusroboteilla. Laitteen tarkkuus, nopeus ja kiihtyvyydet ovat vastaavasti parempia. Käyttäjinä on yleensä elektroniikka-, lääke- ja ruokateollisuus. Käyttökohteina yksinkertaiset asennus-, pakkaus- sekä tarkastustyöt (kuva 4).



Kuva 3. Portaalirobotti [6]



Kuva 4. ABB IRB 910SC. [7]

Teollisuusrobotit eli kiertyväniveliset ovat teollisuuden yleisimmät robotit. Robottien kuormankantokyvyt vaihtelevat välillä 0,5 – 2300 kg ja ulottuvuudet välillä 0,35 – 4,2 m. Tyypillinen robotin paikoitustarkkuus $\pm 0,05$ mm (kuvat 5 ja 6). [8.]



Kuva 5. Motoman PL800 [8.]



Kuva 6. Motoman MotoMINI [8.]

Lähes jokainen robotti valmistaja on tuonut markkinoille yhteistyöhön perustuvia robottimalleja. Robotin muotoilussa on otettu huomioon yhteistyörobotiikan standardivaatimuksia esimerkiksi suunnittelemalla rakenne mahdollisemman vähän ihmistä vahingoittavaksi törmäystilanteissa (kuvat 7, 8 ja 9).



Kuva 7. ABB Dual-arm YuMI [7]



Kuva 8. ABB GoFa™ [7]



Kuva 9. FANUC CRX-10iA [26]

Rinnakkaisrakenteista robottia kutsutaan yleisimmin deltarobotiksi. Sen rakenne muodostuu runkoon kiinnitetystä tukivarsista ja tukivarsien päässä olevasta tarttujasta. Varret on yhdistetty servoihin, joita liikuttamalla saadaan tarttujaa liikuteltua (kuva 10). Robotti sijaitsee työkentelyalueen päällä, koska laitteen ulottuvuus on rajallisempi kuin muissa robottityypeissä. Robottia käytetään pakkaus- ja poimintasovelluksissa. Eduiksi lasketaan myös suuri liikenopeus.



Kuva 10. ABB IRB 360 Flexpicker [7]

3.3 Standardit

Yhteistyörobotteja koskevat standardit ovat:

-ISO 10218-1 (Teollisuusrobotit - Turvallisuusvaatimukset - Osa 1: Robotit)

- ISO 10218-2 (Teollisuusrobottien turvallisuusvaatimukset - Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhteen liittäminen.)

Tekninen spesifikaatio:

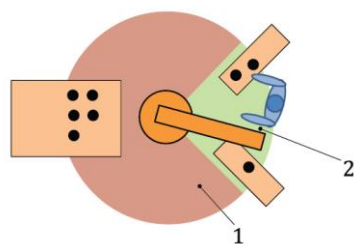
- ISO/TS 15066:2016 (Robotit ja robottilaitteet, yhteistyörobotit)

Standardi ISO 10218 on jaettu kahteen eri osioon:

- Osa 1: määrittää vaatimukset, jotka on otettava huomioon suunnittelussa ja rakenteissa.
- Osa 2: esittää ohjeita henkilöiden turvallisuuden varmistamiseksi robottijärjestelmän yhteen liittämisen, asennuksen, toiminnallisten testauksen, ohjelmoinnin, käytön, kunnossapidon ja korjausten aikana.

Järjestelmää suunnitellessa on käytävä läpi yleiset koneturvallisuuden periaatteet, minkä takia arvioidaan standardin mukaisesti riskit. Iteratiivisen prosessin myötä saadaan riskit pienennettyä halutulle tasolle. ISO 10218-1 standardissa määritetään kohdassa 5.10.4 ja 5.10.5 seuraavasti ”robotti on ainoastaan komponentti lopullisessa robottijärjestelmän yhteistoiminnassa ja se ei ole itsessään riittävä turvalliseen yhteistoimintaan. Yhteistoimintasovellukset ovat dynaamisia ja ne on määritettävä käyttäen riskien arviointia sovellusjärjestelmän suunnittelun aikana.” [2.]

Yhteistyörobottien on myös täytettävä Euroopan Unionin konedirektiivi 2006/42/EC koneiden turvallisuudesta. Myös muita turvallisuuteen liittyviä standardeja pitää ottaa huomioon suunniteltaessa yhteistyörobottisolua. Tekninen spesifikaatio ISO/TS 15066:2016 käsittelee tarkemmin yhteistyörobotiikkaa. Se täydentää ja antaa ohjeita yhteistyörobotin käyttöön sekä turvallisuus-suunnitteluun (kuva 11).



1. Toimintatila 2. Yhteistyöhön perustuva työtila

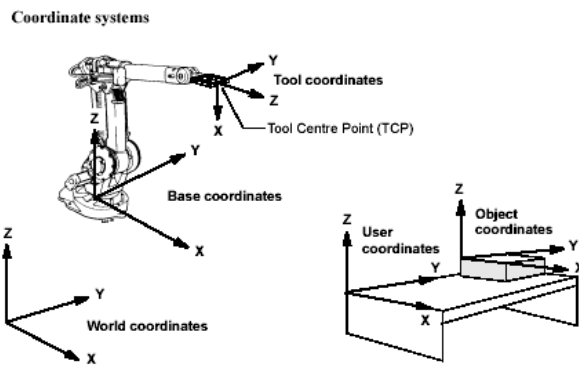
Kuva 11. Esimerkki yhteistyötilasta. [20.]

Muita yhteistyörobotiikkaan liittyviä standardeja on esimerkiksi: EN ISO 13855. (Koneturvallisuus, Suojausteknisten laitteiden sijoitus ottaen huomioon kehon osien lähestymisnopeudet). Edellä mainitussa standardissa käsitellään kehonosien lähestymisnopeuteen perustuva turvalaitteiden sijoittaminen. Standardi määrittää kehonosien lähestymisnopeuksien arvoihin perustuvat muuttujat ja esittää menetelmän, jolla määritetään suojausteknisten laitteiden havaitsemisvyöhykkeiden tai hallintalaitteiden vähimmäisetäisyys vaaravyöhykkeestä. [24]

4 Koordinaatisto ja ohjelmointi

4.1 Koordinaatisto

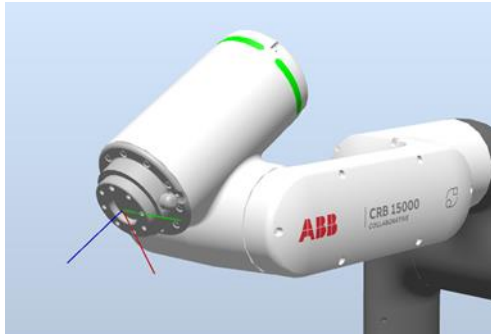
Robottijärjestelmä vaatii toimiakseen koordinaatiston, josta se voi laskea liikeradan määritettyyn paikoituspisteeseen. Maailmankoordinaatisto toimii koordinaatistona, jonka suhteen kaikki robottisolun muut laitteet on paikoitettu. Peruskoordinaattijärjestelmä (Base Coordinates) sijaitsee keskellä robotin jalustassa, joka näkyy kuvassa 11.



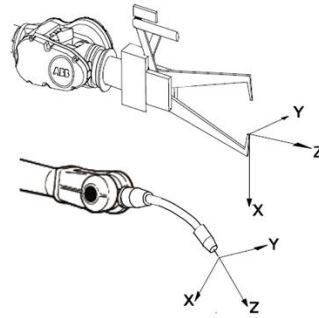
Kuva 11. Robottijärjestelmän koordinaatisto. [9]

Työkalukoordinaatisto on koordinaatisto, joka sidotaan työkalumäärittelyllä kiinni haluttuun kohtaan työkalua. Työkalun koordinaattijärjestelmän lyhenne on TCP (*Tool Center Point eli työkalukeskipiste*). TCP määritetään haluttuun kohtaan työkalua suhteessa robotin työkalulaipan keskipisteessä sijaitsevaan koordinaatistoon (TOOL 0). TCP-määrittelyyn kuuluu työkalun kärjen sijainnin lisäksi TCP:n orientaatio. (kuvat 12 ja 13).

TCP on se piste, joka siirtyy ohjelmoituihin paikkapisteisiin ohjelmaa suoritettaessa. Tämä mahdollistaa sen, että kun työkalua (ja työkalun koordinaattijärjestelmää) muutetaan, robotin liikkeet muuttuvat niin, että uusi TCP saavuttaa kohteen.

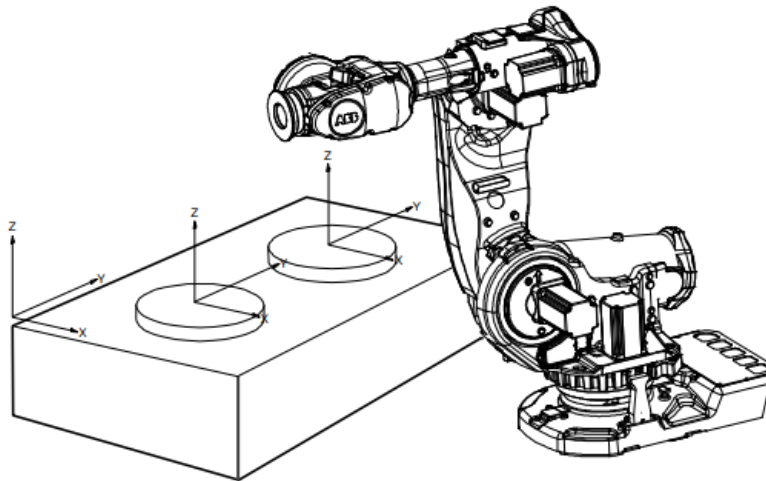


Kuva 12. Työkalulaipan TOOL 0



Kuva 13. Työkalukoordinaatisto [22]

Työkohteen koordinaattijärjestelmä vastaa työkalupalletta. Se määrittelee työkalun paikan suhteessa maailman koordinaattijärjestelmään. Työobjektin koordinaattijärjestelmä on määritettävä kahdessa kehyksessä, käyttäjäkehyksessä (liittyy maailman kehykseen) ja objektikehyksessä (liittyy käyttäjäkehykseen). Robotilla voi olla myös useita työkohteen koordinaattijärjestelmiä (kuva 14).



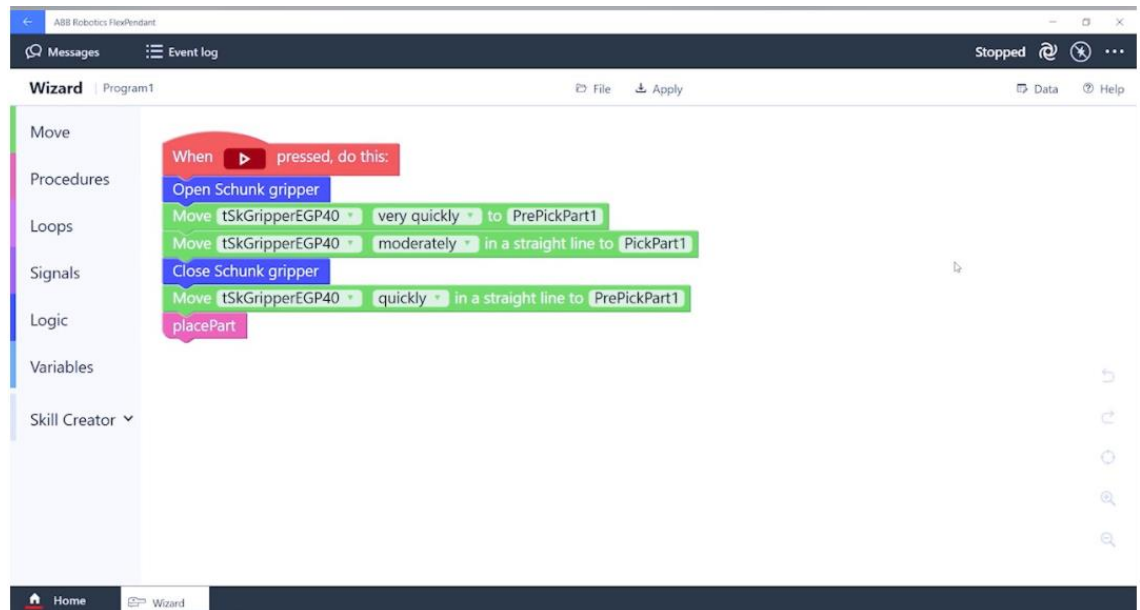
Kuva 14. Työkohteen koordinaattijärjestelmä [22]

4.2 Ohjelmointi

Robotteja ohjelmoidaan johdattamalla, opettamalla sekä etäohjelmoimalla (offline). Yleisin ohjelmointitapa on opettamalla ohjelmointi. Opettamalla ohjelmoinnissa robotin käsivarsi siirretään haluttuun paikoitukseen käsiohjaimesta ohjaussauvaa liikuttamalla tai voimaohjauksella, joka tapahtuu käsin siirtämällä robotin nivelet haluttuun asentoon/paikoitukseen.

Offline-ohjelmointi vaatii ohjelmiston sekä 3D-mallit robotista, solusta että työkaluista. Tämän ohjelmointitavan etuna on, että työkiertoa ei tarvitse keskeyttää. Se myös mahdollistaa simuloinnin, jossa voidaan ajaa ohjelmaa ja selvittää ongelmakohdat ennakkoon.

Jokaisella robottivalmistajalla on omanlaisensa ohjelmointikieli. Tässä opinnäytetyössä käytetään ABB GoFa -robotia, jota ohjelmoidaan RAPID-ohjelmointikielellä. ABB:llä on käytössä OmniCore -kontrollereissa Wizard Easy Programming -ohjelmointisovellus (Kuva 15). Käyttöliittymässä käsitellään yksinkertaisia graafisia blokkeja, joiden avulla robotin käyttäjät voivat tehdä ohjelman. Blokit vastaavat toimintoja, kuten ”aukaise tarttuja”, ”laske kappale” ja ”liiku paikkapisteeseen”. Omien blokkien tekemiseen käytetään ABB:n Skill Creator -ohjelmistoa. Ohjelmistolla RAPID-ohjelmarutiinit muutetaan Wizard-palkeiksi, valmiit ohjelmakäskyt ladataan kontrolleriin ja ne ovat heti käytettävissä.



Kuva 15. ABB Wizard-ohjelmointisovellus robotin käsiyhjäimessä. [14]

5 Robottien työkalut

Tarraimet mahdollistavat robotin käyttämisen tuotannossa. Tarttujen koko määräytyy käyttökohteen muodon ja käsiteltävän massan mukaan. Niitä ovat mm. servo-, sormi-, alipaine- ja magneettitarraimet (kuva 16). Tarraimien käyttövoima on yleensä sähkö tai paineilma. Sähköservo-tarttujen etuna on tarkempi ohjattavuus sekä voimanhallinta verrattuna pneumaattisiin tarttuihin.



Kuva 16. OnRobot -tarttuvia. [10]

Metalliteollisuudessa käytetään myös hitsausrobotteja. Yleisimmät käyttötavat robotilla ovat MIG/MAG-, TIG- ja laserhitsaus. Hitsauksen robotisoinnilla pyritään kasvattamaan tuottavuutta sekä parantamaan laatua. Hitsausjärjestelmät vaativat sekä robotin ohjaukselta ja hitsauslaitteelta enemmän ominaisuuksia, joiden avulla robotti ja hitsauslaite viestivät keskenään hitsausprosessin ajan. Järjestelmään sisältyy robotti, langansyöttöyksikkö, virtalähde, jäähdytysyksikkö sekä polttimon huoltoyksikkö (kuva 17).



Kuva 17. Kemppi A7 MIG Welder [11.] sekä Vectisautomation cobot -hitsausasema [12.]

Hiontatehtäviä robotisoidaan automaation lisääntyessä. Tämä vähentää työntekijän altistusta pölylle ja värinälle. Hiontakohteita ovat mm. valukappaleiden viimeistely, koneistuksessa syntyneiden purseiden poisto ja huonekalujen hiontaa.

Voimaohjauksen ja työkalun sisäänrakennetun joustomekanismin myötä robotteihin on tullut erilaisia hiontasovelluksia, jotka liitetään robotin käsivarteen kiinni (Kuva 18). Voimaohjauksen ohjelmassa määritetään liikeradat sekä voimat, jolla hiontaa suorittavaa konetta painetaan kappaleen pintaan kiinni. Tämä mahdollistaa työkalun liikkeen kaarevan kappaleen pinnassa.



Kuva 18. OnRobot -hiomakone. [10] Mirka AIOS -hiomakone. [13] BIAKS RWA 2-22 -kara.[15]

Konenäköä käytetään kappaleen paikoitukseen, tunnistukseen ja laadunvalvontaan (kuvat 19 ja 20). Kuvasta voidaan tunnistaa mm. 2D- ja 3D-muotoja, kirjaimia, numeroita, värejä, viiva- ja QR-koodeja (kuva 21). Kamera voi sijaita robotin käsivarressa tai kiinteästi kuvattavan kohteen päällä. Järjestelmässä on oltava myös käyttökohteen ominaisuuksien mukaan valittu tasalaatuinen pysyvä valaistus.

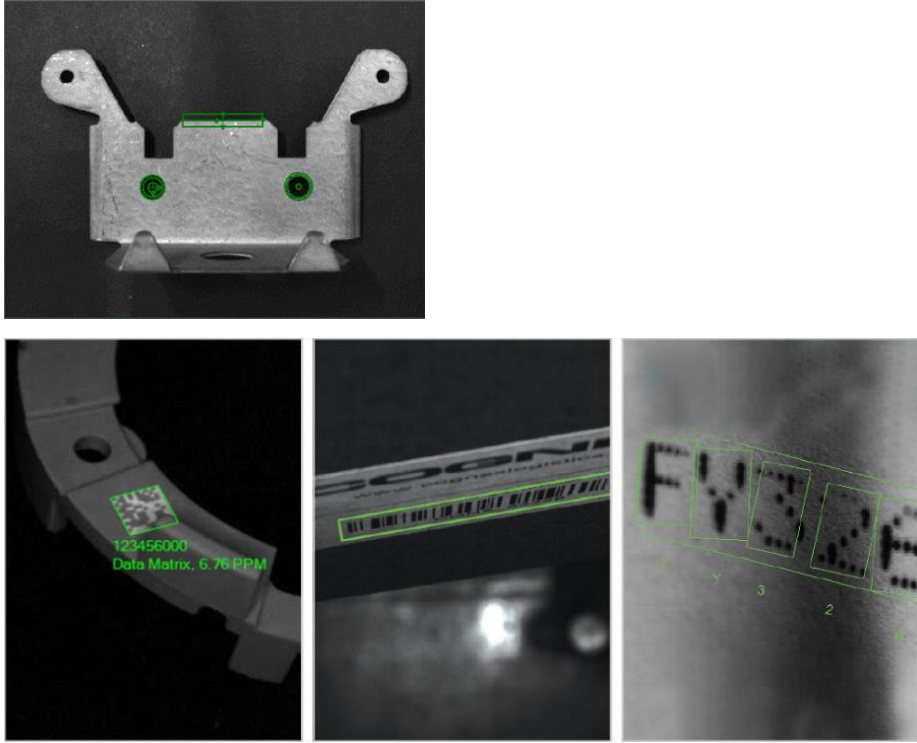
Kuvat käsitellään ohjelmallisesti kuvan ottamisen jälkeen ja ennalta määritettyä tietoa käytetään robotin ohjelmassa. Se voi olla mm. paikkatietoa kappaleen poimintaa varten, laskentaa, virheiden havaitsemista tai kappaleen lajittelua muotojen mukaan.



Kuva 19. OnRobot -kamera [10]



Kuva 20. Cognex In-Sight D900 2d -kamera [14]



Kuva 21. Cognex-kuvatunnistustyökalu [14]

6 Robottiaseman suunnittelu ja kokoonpano

6.1 Tarpeiden määrittäminen

Robotti oli jo valmiiksi hankittu ennen suunnittelun aloitusta. Robotin malli on ABB Gofa CRB 15000 (Kuva 22). Robotin ulottuvuus on 950 mm ja kuormankantokyky 5 kg. Robotissa on SafeMove -turvallisuusoptio vakiona sekä jokaisessa nivelessä voimantunnistus. Antureita ja releitä varten on 16 digitaalista input- ja 16 digitaalista output- liitäntää.



Kuva 22. ABB Gofa CRB 15000 -yhteistyörobotti. [7]

Esittelin robottia toimeksiantajan tuotantotiloissa Hanza Toolfac Oy:n, RD Group Oy:n ja Hydro-line Oy:n edustajille sekä kävin haastattelemassa muutamaa Pohjois-Savon metalliteollisuuden yritystä. Samalla kartoitin erilaisia yhteistyörobotin käyttötarpeita sekä kohteita, joita olivat mm. kappaleen poiminta, konepalvelu, hitsaus, hionta, lasermerkkäus.

Näiden ja toimeksiantajalta saaneiden ehdotuksien pohjalta tein listan vaatimuksista, joiden pohjalta aloitin aseman suunnittelun.

Yleiset vaatimukset

- Helposti liikuteltavissa sekä lukittavissa paikoilleen
- Mahtuu liikkumaan ovista. Max. leveys 800 mm

- Sähköliitäntä (230 V.)
- Paineilmaliitäntä
- Robotin paikoituksen muunneltavuus pöydällä
- Tilat käyttöohjeille sekä robotin käsivarteen liitettävälle työkaluille
- Pöytätason laajennettavuus
- Käsiohjaimen paikka ja siirrettävyys
- Tila kontrollerille
- Useita tarttujamalleja
- I/O-Liitännät erilliseen kaappiin

Pöytätaso

- Alumiiniprofiilista
- Mahdollistaa osien kiinnityksen helposti sekä on muunneltavissa

Renkaat

- Kääntyvät ja lukittavat

Korkeudensäätö

- Säädettävät tukijalat

Paineilma ja sähköliitäntä

- Sähköliitäntä, johtokela
- Sulkuventtiili sekä huoltoyksikkö. Painetieto robotin I/O:hon
- I/O-liitäntä robottiin
- Riviliittimet
- Virtalähde

–Releet magneettiventtiileille

Tarttumat

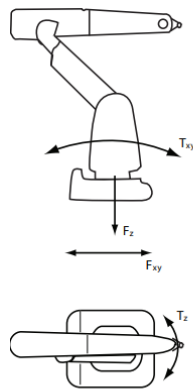
–Alipaine (toteutetaan ejektorilla) Painetieto robotin I/O:hon

–2-leukainen

–3-leukainen

–Servotarttuja

Robotin jalustaan tulee käytössä rasituksia ja sen täytyy myös kestää täydessä kuormassa ja vauhdissa tapahtuva hätäpysäytys. Valmistaja ilmoittaa käyttöohjeessa kuormitusarvot (Kuva 23).



xx1100000521

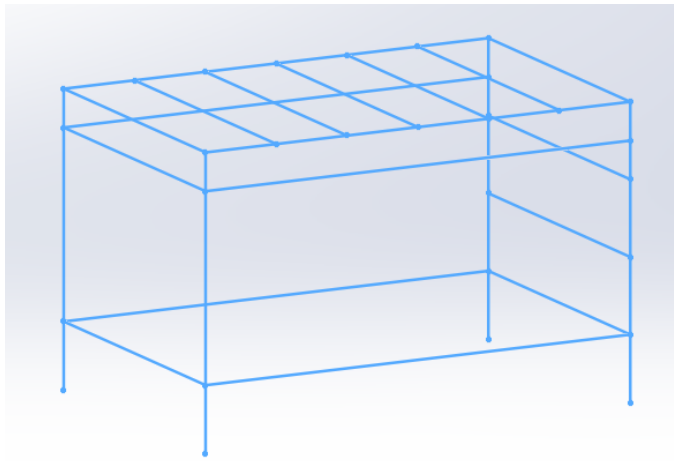
F_{xy}	Force in any direction in the XY plane
F_z	Force in the Z plane
T_{xy}	Bending torque in any direction in the XY plane
T_z	Bending torque in the Z plane

Force	Endurance load (in operation)	Maximum load (emergency stop)
Force xy	±303 N	±1113 N
Force z	+280 ±147 N	+280 ±857 N
Torque xy	±246 Nm	±711 Nm
Torque z	±145 Nm	±334 Nm

Kuva 23. Kuormitusarvot [7]

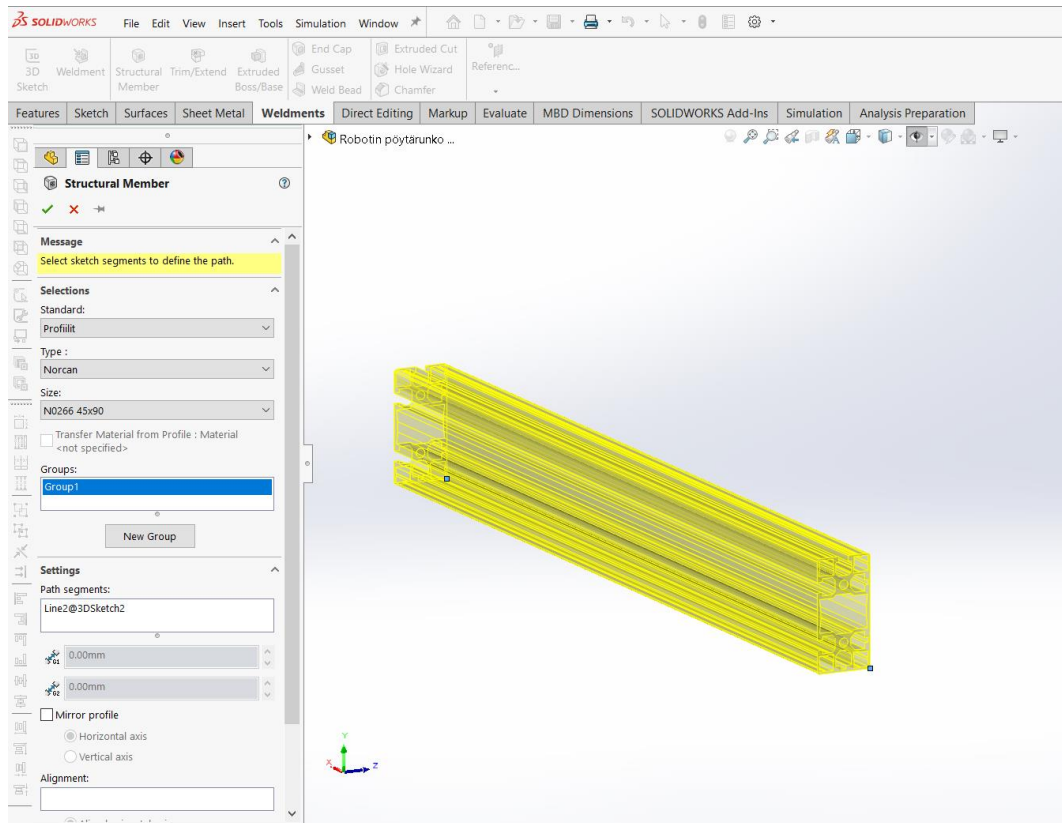
6.2 3D-mallinnus

Aloitin suunnittelun tekemällä 3D-mallinnusohjelmalla rautalankamallin 3D-sketsinä robotin jaluustan mallista (Kuva 24). Käytin SolidWorks 3D -mallinnusohjelmaa tämän työn suunnitteluun, koska olin saanut jo siitä kokemusta koulussa. Ohjelmistoon voi ladata erilaisia komponenttikirjastoja tarviketoimittajilta. Tämä mahdollistaa kokonaisvaltaisen suunnittelun loppuun asti, jolloin välttyään sopivuusvirheiltä kokoonpanossa.

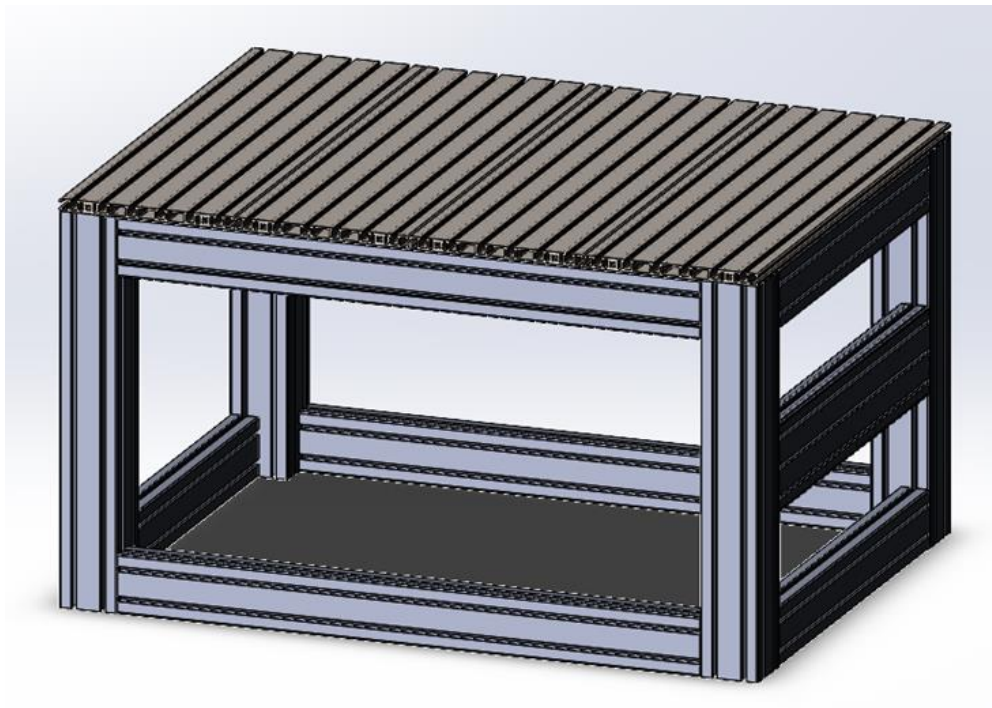


Kuva 24. Rautalankamalli pöydästä.

Kun 3D-viiva sketsi on valmis, valitaan Weldment -välilehdeltä, Structural Member -osio, jossa määritetään halutun profiilin malli ja mitat. Jokainen viiva 3D-sketsissä käydään läpi ja tehdään tarvittavat määrittäykset (Kuva 25). Profiilien pituusmitat seuraavat 3D-viiva mallia, jos suunnittelun edetessä täytyy muuttaa esimerkiksi, mallin korkeutta, pituutta tai leveyttä (Kuva 26).

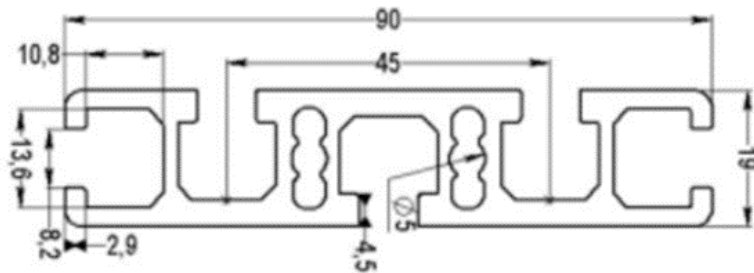


Kuva 25. Profiilin määrittämiset



Kuva 26. Valmis 3D-malli, profiilit paikoitettuna.

Pöydän tasoksi valitsin 19x90 mm alumiiniprofiilin, jonka seinämäpaksuus on 4,5 mm (kuva 27). Profiili kiinnitetään ylimmäisen kehän päälle, tällä asennustavalla saadaan profiilin päät avoimeksi ja se mahdollistaa profiilin uriin työnnettävien kierrevastakappaleiden jälkeempään asentamisen. Pöydän pituudeksi tuli 1080 mm, ja siihen tarvittiin 12 kappaletta profiilia. Pyysin kahdesta eri profiilia toimittavista yrityksistä tarjoukset. Profiilit olisi ollut myös mahdollista hankkia metritavarana. Tarpeeksi hyvän sahauslaitteiston puuttuessa, päädyimme hankkimaan tuotteet valmiiksi sahattuina ja rei'itettynä sekä tarvittavat kierteet tehtynä kokoamista varten. Samasta paikasta tulivat myös renkaat ja kiinnitystarvikkeet.



Kuva 27. Alumiiniprofiilin poikkileikkauksen mittapiirros. [16]

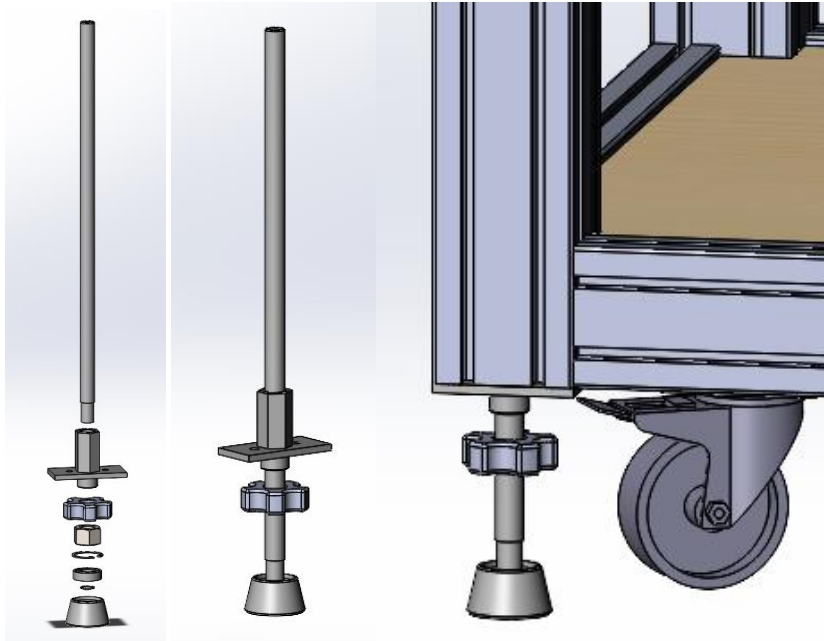
Valmiiseen jalustan malliin sovitin pohjalevyn, renkaat ja työntökahvan (kuva 28). Näitä osia ei tarvinnut erikseen mallintaa, vaan ne löytyivät komponenttikirjastosta. Lukittavat renkaat sijaitsevat vaakaprofiilien kohdalla, koska säätöjalkojen kierreosat tulevat pystytolppien sisään.



Kuva 28. Valmis 3D-malli

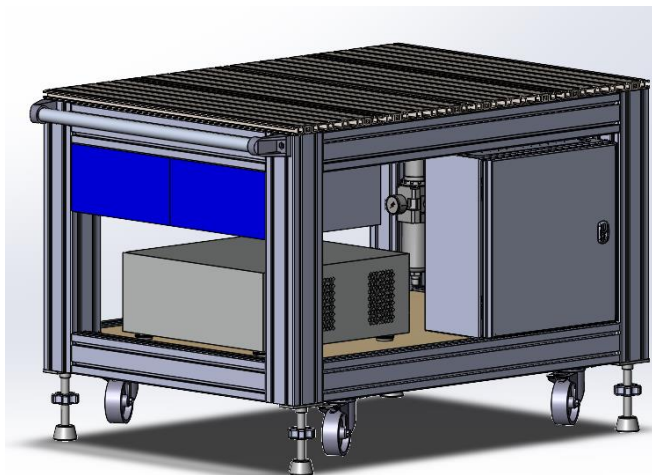
Säätöjalkoja etsin eri tuotekatalogeista valmiina pakettina. Ongelmaksi tuli säätövaran rajallisuus sekä tassun ja lattian välinen etäisyys ylös nostettuna. Sen johdosta suunnittelin 18 mm kierretangosta ja kierreholkista pitkällä säätövaralla olevan jalan. Jalan tassu on 3D-muovitus-

tettu ja sen sisällä on kuulalaakeri. Se mahdollistaa tangon pyörimisen tassun ollessa lattiaa vasten. Säätötanko sijaitsee pystytolpan sisällä ja korkeussäätö tapahtuu irrotettavalla T-avaimella pöytäta-son päällä olevasta reiästä. Jalan lukitus korkeuteensa tapahtuu 3D-tulostetusta kehästä, jonka sisälle on liimattu M18 -mutteri (Kuva 29).



Kuva 29. Säätöjalan rakenne

Hain komponenttikirjastosta myös relekaapin, laatikostojen sekä paineilman huoltoyksikön mallit. Robotin ohjainyksikön malli löytyi valmistajan materiaalista. Sijoittamalla nämä paikoilleen pystyi näkemään mallin kokonaisuudessaan ja tarvittaessa muuttamaan mallin mittoja sekä profiilin mitoitusta (Kuva 30).



Kuva 30. Valmis 3D-malli

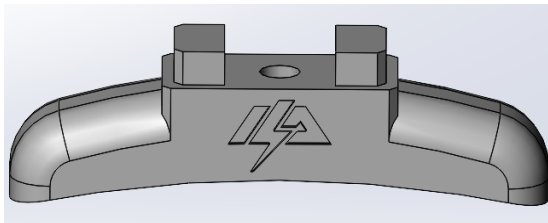
6.3 Suunniteltavat osat

Kaikki 3D-muovitulostettavat osat suunniteltiin SolidWorks -ohjelmistolla ja ne muunnettiin tulostimelle sopivaksi STL-tiedostoksi ennen tallennusta. Toimeksiantajalla ei ole 3D-muovitulostukseen käytettäviä laitteita. Tarvittavat osat tulostettiin tilauksesta ulkopuolisilla toimijoilla. Muovitulostettavat osat tulostettiin Creality ender 3 pro:lla ja materiaalina PETG sekä Markforged Mark 2:lla ja materiaalina Onyx + jatkuva hiilikuituvahvistus.

6.3.1 Suojakuoren kiinnike

Työssä käytetyssä robotissa ei ole valmiina käsivarren sisään asennettua paineilmalinjastoa. Suunniteltiin työkaluille käsivarteen tulevien sähköjohtojen ja pneumatiikkaletkujen suojakuorelle tulevat kiinnityspaikat (kuva 31). Kiinnitysjalka asennettiin kaksipuoleisella teipillä robotin käsivarteen kiinni.

Suojakuoren kiinnike tuli valmiina osana, joka kiinnitettiin M5 -pultilla ja mutterilla kiinnitysjalkaan. Suojakuoren halkaisijaksi tuli 25 mm, jonka sisässä piti mahtua kulkemaan tarttujan paineputket, alipainetarttujan putki sekä alipaineanturin signaalijohto. Pneumatiikkalinjat tehtiin halkaisijaltaan 6 mm putkesta (kuvat 32).



Kuva 31. 3D-malli suojaputken kiinnitysjalasta Kuva 32. Kiinnikkeet asennettuna

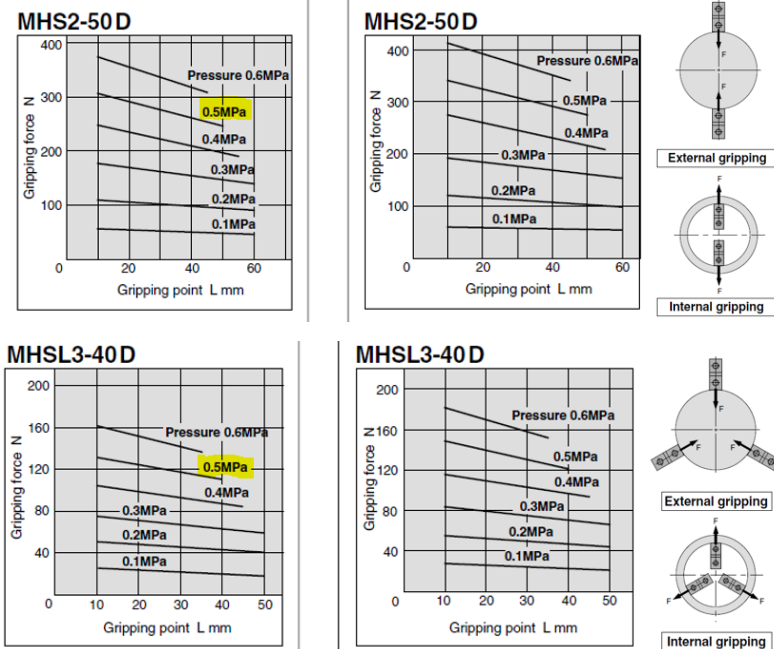
6.3.2 Pneumatiikka tarttuja

Pneumaattisesti toimivia tarttuvia valitsin kaksi kappaletta, kaksi- ja kolmileukaiset mallit. Pyörähdykappaleita käsiteltäessä kolmileukainen malli mahdollistaa keskittävän paikoituksen.

Kaksileukainen malli käy monen muotoisille kappaleille. SMC-mallistosta valikoitui kaksileukainen MHS2-50D, 12 mm iskulla ja kolmileukainen MHSL3-40D, 20 mm iskulla olevat mallit. Valintaan vaikuttivat robotin kapasiteetti sekä tarttujan teknisissä tiedoissa ilmoitettu massa, koska kaikki lisäpaino robotin työkalulapassa vähentää käytettävissä olevaa hyötykuormaa. Kaksileukaisen mallin teoreettinen tartuntavoima ulkoisella tartunnalla 0.5MPa paineella on tartuntapisteestä riippuen 250–310N ja vastaavasti kolmileukaisen mallin 110–130N (kuva 33).

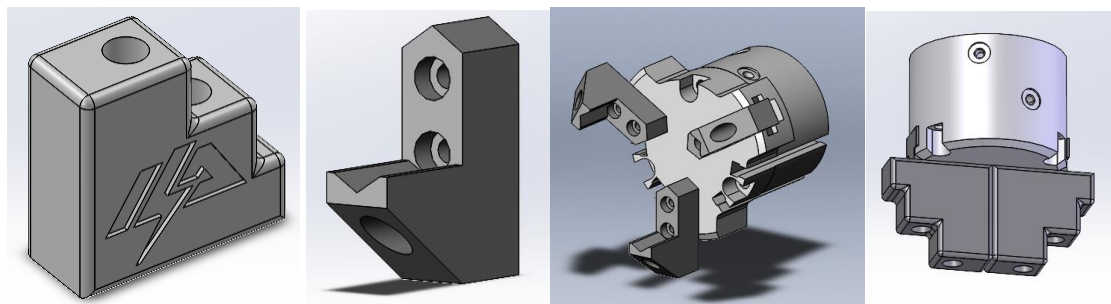
Ulkoinen tartunta

Sisäinen tartunta



Kuva 33. Tarttujan voimakuvaajat [18]

Tarttujen valmistajalta sai 3D-mallit, joita käytin suunnitteluapuna, kun mallinsin ja mitoitin tarttujen leuat. Mitoitukseen ja suunnitteluun vaikuttaa tartuttavan kappaleen muoto sekä koko. Suunnittelin leukoihin useammat kiinnityspisteet ja muodot, joka mahdollistaa niiden kääntämisen tarvittaessa (Kuvat 34 ja 35).



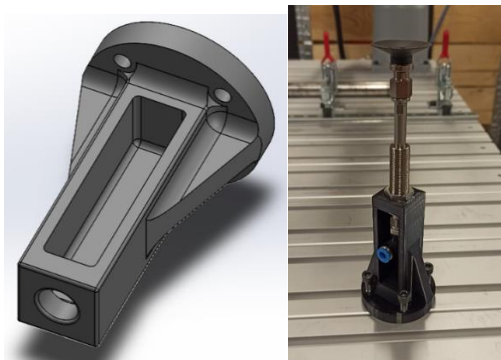
Kuva 34. Tarttujan leukojen 3D-mallit



Kuva 35. Asennusvalmiit tarttujat

6.3.3 Alipainetarttuja

Suunnittelin yhden alipainetarttujan, johon valitsin 32 mm sekä 50 mm halkaisijaltaan olevat imukupit. Imukuppi kiinnitettiin joustoelementtiin, joka mahdollistaa 30 mm tartuntakohdan korkeuserot (Kuva 36). Imukupin malli ja materiaali valitaan käyttökohteen vaatimuksien mukaisesti. Varsinkin tunnettujen valmistajien katalogeista löytyy valintaa helpottavia ohjeita ja taulukoita (kuva 37).



Kuva 36. Alipainetarttujan 3D-malli ja valmis imukupitarttuja.



Kuva 37. SCHMALZ -Imukupit. [21]

Imukupin halkaisian mitoitus laskenta kaavaa $F = \frac{P \times A}{20}$ ja siitä saadut tulokset on esitetty taulukossa 3.

Missä F= nostovoima varmuuskertoiminen [N]

P= alipaine [kPa]

A = imukupin pinta-ala [cm^2]

Taulukko 3. Imukupin teoreettinen nostovoima pystysuorassa nostossa.

Teoreettinen nostovoima. [N] Yhdelle imukupille.		Varmuuskertoim 2			
Imukupin halkaisia	32mm	50mm	32mm	50mm	
Imukupin pinta-ala (cm^2)	8,04	19,6	8	19,6	
Alipaine	-86 kPa	70	170	35	85
	-80 kPa	64	157	32	78
	-73 kPa	59	144	29	72
	-66 kPa	54	131	27	65
	-60 kPa	48	118	24	59
	-53 kPa	43	105	21	52
	-46 kPa	38	92	19	46
	-40 kPa	32	78	16	39

Alipaineen ollessa esimerkiksi: -80 kPa ja imukupin halkaisijan 50 mm teoreettiseksi nostovoimaksi saadaan 78 N, varmuuskertoimella 2. Tämä voima riittää hyvin pitämään kappaleen kiinni robotin työkalussa noston ajan. Robottivalmistajan ilmoittama nostokapasiteetti on 5 kg ja tämä muutettuna newtoneiksi, laskenta kaavalla $F = m \cdot a$.

Missä F = robotin nostovoima [N]

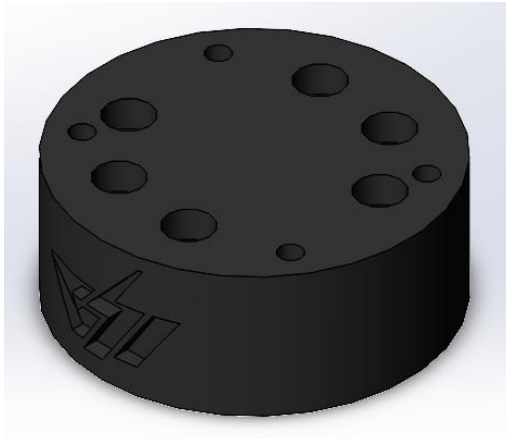
m = robotin nostokapasiteetti [kg]

a = maanvetovoiman kiihtyvyys [m/s^2]

$F = 5 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 49.05 \text{ N}$

6.3.4 Tarttujan sovitelaippa

Pneumaattiset tarttujat tarvitsevat sovitelaiplat käydäkseen robotin työkalulaippaan (Kuva 38). Robotti valmistajalta sain 3D-mallit työkalulaipasta, jota käytin apuna mitoitukseen. Tarttujat kiinnitin pulteilla ja vastamuttereilla sovitelaippaan sekä kuudella pultilla robotin työkalulaippaan. Kiinnityspulttien vastamutterit upotin sovitelaiipan sisään. Kartoitin myös erilaisia kierreinserttejä, mutta valitsin tähän kohteeseen kuitenkin vastamutterit.



Kuva 38. Tarttujan sovitelaippa.

Osallistuin Savonia Ammattikorkeakoulun järjestämään NewTech 3D -tulostusklina koulutukseen, jossa käytiin läpi 3D-tulostukseen liittyviä asioita. Suunnittelemani sovitelaippa 3D-muovitulostettiin koulutuksen loppuksi ja asennettiin vetopenkkiin kiinnitystapojen kestävyden vertaamiseksi (kuva 39 ja 40). Tuloksia tulkittaessa, molemmat kiinnitystavat olisivat kestäneet tässä opinnäytetyössä käytettävässä robotissa. (Taulukko 4)



Kuva 39. Laippa muttereilla vetopenkissä. [17]



Kuva 40. Laippa kierreinserteillä vetopenkissä. [17]

Taulukko 4. Vetokokeen voimat

Kiinnitystapa	Vetokokeen voima kappaleen rikkoontuessa
Mutteri	13554N
Kierreinsertti	8229N

6.4 Pneumatiikka

Robotti toimiessaan ei vaadi paineilmaa. Vasta kun työkalulaippaan asennetaan paineilmalla toimiva tarttuja, tarvitaan puhdasta sekä oikealla paineella saatavaa ilmaa. Paineilma liitetään huoltoyksikköön, joka sisältää paineen päälle/pois -kytkimen, paineensäätimen mittarilla sekä vedenerottimen. Paineensäätimen jälkeen ilma jaetaan jakotukista magneettiventtiileille, jotka saavat toimintasiinaalit robotilta. Jakotukin päähän asensin säädettävän paineanturin, jonka signaalitietoa voidaan käyttää robotin ohjelmassa. Magneettiventtiileiksi valitsin 5/2-venttiilit, joita asensin neljä kappaletta, yksi alipaine-ejektorille, yksi tarraimelle ja kaksi varalle (Kuva 41), kytkentäkaavio (Liite 1).



Kuva 41. Huoltoyksikkö, jakotukki, paineanturi, 5/2-magneettiventtiilit

Valittujen tarraimien ilmankulutus on pientä, koska tarraisessa käytetyn sylinterin tilavuus on pieni. Isoimman ilmankulutuksen aiheuttaa alipainetarraimen ejektori. Ejektoriksi valikoitui SMC ZL -sarjan 3-portainen diffuusorirakenteella oleva malli (Kuva 42), (Taulukko 5).



Kuva 42. SMC ZL -alipaine-ejektori

Taulukko 5. Tekniset tiedot ejektorista

ilmankulutus	63 L/min
imukapasiteetti	100 L/min
maksimi alipaine	-84 kPa

Ejektori olisi hyvä asentaa mahdollisemman lähelle alipaineen kulutuskohdetta. Tässä tapauksessa sitä ei ollut mahdollista asentaa alipainetarraimeen kokonsa vuoksi, vaan asennus tehtiin

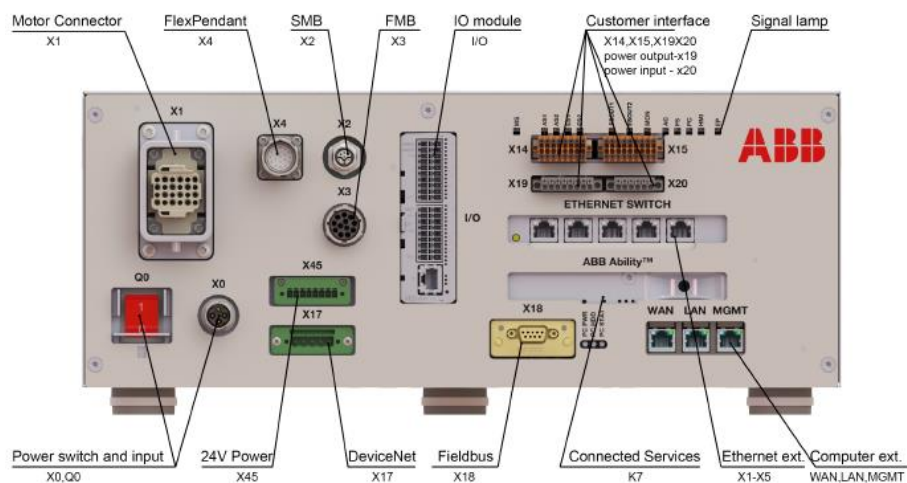
robotin jalustan viereen. Tämä asennustapa aiheuttaa viivettä tarttumiseen tarvittavan alipaineen kehittymiseen imukupin ja nostettavan kappaleen välille. Ratkaisuksi asensin säädettävän alipaineen lähelle tarrainta, josta saadaan valvontasignaali käytettäväksi robotin ohjelmaan (Kuva 43).



Kuva 43. SMC-säädettävä alipaineenkytkin.

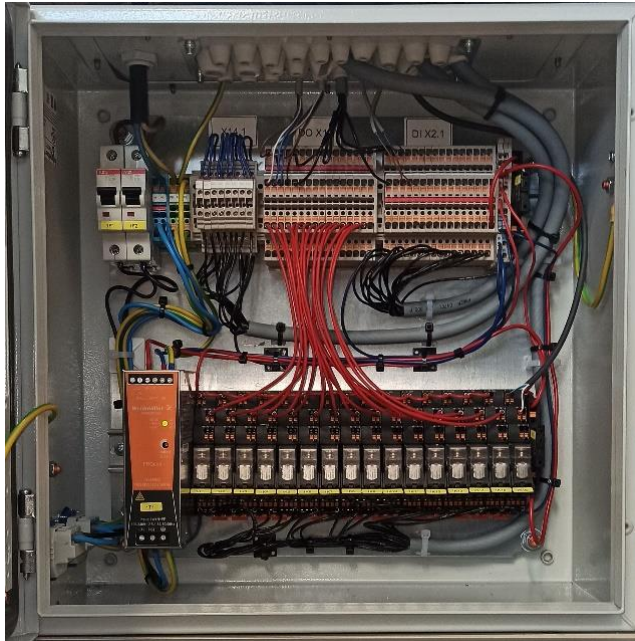
6.5 Relekaappi

Robotin OmniCore C30 -kontrollerin takana on I/O sekä ulkoiset turva-liitännät (kuva 44). Tässä asemassa liitännät jäävät ahtaaseen paikkaan, jonka johdosta kasasin kojekaapin. Se sisältää tarvittavat releet ja kytkentärimat. Kojekaappi kasattiin yrityksen tuotantotiloissa ja siihen tarvittavat komponentit löytyivät suoraan omasta varastosta.



Kuva 44. Kontrolleri OmniCore C30 -liitännät [23]

Kaappi sisältää DIN-kiskoon asennetut johdonsuojakatkaisijat 24 V:n virtalähteelle ja kahdelle 230 V:n pistorasioille, 16 kpl 24 V:n releet ulostulojen ohjaamiseen, tukevammat I/O-kytkentärimat (kuva 45).

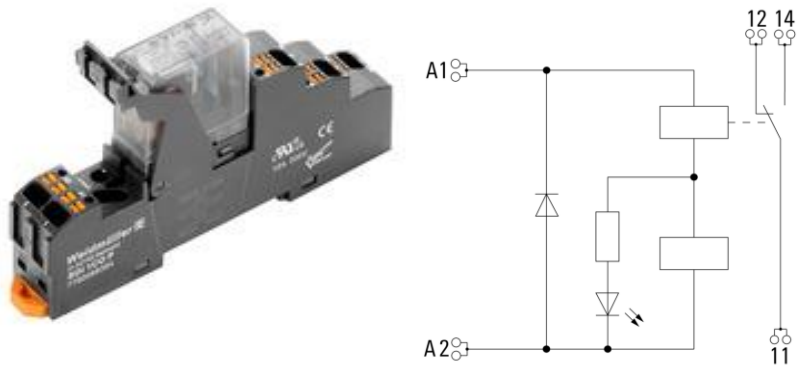


Kuva 45. Kojekaappi

Kojekaappiin tuodaan jännite -sähköjohtokelasta johdoilla: nolla N (sininen) ja suojamaa PE (keltavihreä) kytkentärimoihin, josta ne jakautuvat pistorasioille sekä virtalähteelle. Suojamaa liitetään lisäksi oveen, koteloon sekä robotin jalustan runkoon. Vaihe L (musta) liitetään suoraan johdonsuojakatkaisijalle, josta toinen on virtalähteelle ja toinen pistorasioille. Pistorasioista jännite jaetaan robotin kontrollerille ja OnRobot-tarraimen ohjainlaitteelle.

Liitännät relekaappiin kytkettiin I/O-moduulista kahdella 16-napaisella kaapelilla, liittimistä X1 ja X2. Ulkoisen turvapuolen liitännät yhdellä 16-napaisella kaapelilla, liittimestä X14, jotka on nyt hyppyjohdoilla kytketty yhteen.

Output-liitäntään lisättiin ylimääräiset 24 V:n releet. Nämä saavat ohjaussignaalin robotin output- moduulin kautta, tämä mahdollistaa isompien virtojen käyttämisen kytkettävissä lisälaitteissa. Robotin omaan output -liitäntään voidaan kytkeä 500mA kuluttava laite, nyt ulkopuolinen rele mahdollistaa virraksi 10A (Kuva 46).



Kuva 46. Weidmüller 24 V:n rele ja sen kytkentäkaavio [19]

Liikuteltava merkkivalo- ja kytkinkotelo asennettiin valmiiksi relekaapin liitännöihin. Robotin ohjelmassa voidaan käyttää näitä ilmaisemaan tilaa tai käynnistämään haluttuja toimintoja (Kuva 47).



Kuva 47. Merkkivalo/kytkinkotelo.

7 Käyttöönotto

Robotin jalusta kasattiin yrityksen tuotantotiloissa. Kaikkien komponenttien asentamisen jälkeen robotti oli käyttöönotettava. Suoritin myös jokaiselle työkalulle omat tarvittavat määrittelyt, I/O-liitäntöjen nimeämiset ja käsiohjainlaitteen pikanäppäin -määrittelyt.

Työn edetessä noin kahden kuukauden välein julkaistiin uusia käyttöjärjestelmä päivityksiä, ennen niiden asennusta otettiin varmuuskopiot järjestelmästä. Päivitykset asennettiin yhteistyössä robottimaahantuojaan kanssa.

7.1 Työkalumäärittelyt

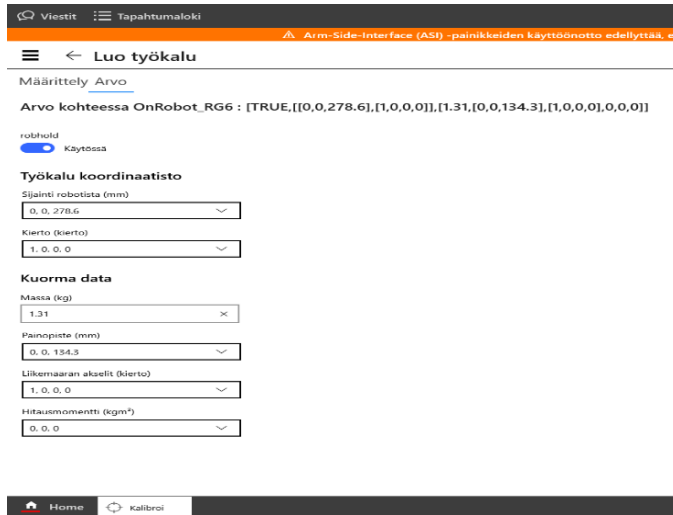
Jokainen robotin työkalulaippaan asennettava työkalu ja liikuteltavan kappaleen massa on määritettävä, jotta robotin tarkkuus sekä turvatoimintojen rajat eivät virheellisesti ylittyisi. Tiedot voidaan syöttää manuaalisesti tai esimääritellysti, joko käsiohjaimesta tai RobotStudio -ohjelmassa. Työkalumäärittely sisältää seuraavat tiedot: kuvaava nimi, massa, massakeskipiste, TCP:n paikka ja hitausmomentti.

Esimerkki työkaludatasta:

```
PERS tooldata OnRobot_RG6:=[TRUE,[[0,0,278.6],[1,0,0,0]],1.31,[0,0,134.3],[1,0,0,0],0,0,0];
```

Määrittely voidaan tehdä myös huoltorutiinit valikon kautta, LoadIdentify -osiossa. Samassa kohdassa voidaan määrittää liikuteltavan kuorman massa, massakeskipiste ja hitausmomentti. Asetetun kuorman massan tunnistamiseksi robotin niveliä kolme, viisi ja kuusi liikutetaan ennalta määritetysti. Rutiinin lopuksi ohjelma laskee servojen virrankulutuksesta kyseiset arvot.

Tässä kohteessa tiedot syötettiin manuaalisesti käsiohjaimesta, koska kiinnitettävät työkalut olivat symmetrisiä ja tarvittavat tiedot helposti mitattavia (Kuva 48).



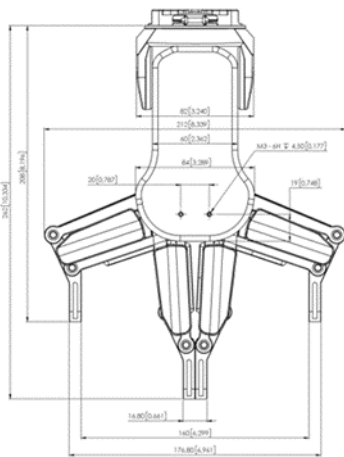
Kuva 48. Näkymä Käsiohjaimesta työkalun määrittämisestä.

Työn loppuvaiheilla yritys sopi jälleenmyyntiyhteistyöstä Tanskalaisen OnRobot-tarrain valmistajan kanssa. Servotarttujaksi valikoitui OnRobot -mallistosta kaksileukainen RG6 -malli. Tarttujan mukana tulee erillinen ohjainlaite sekä ladattava ohjelmisto robotin kontrolleriin. Tarttujan ja ohjainlaitteen kommunikointi robotin kontrollerin kanssa tapahtuu Ethernet-tiedonsiirtoprotokollaa hyödyntäen (kuva 49).

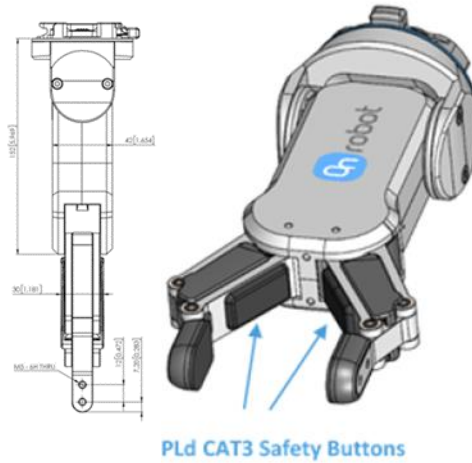
Tarttujan kapasiteetti on 6 kg ja leukojen avautuma on 0–160 mm (kuva 50). Leukojen tartuntavoima on ohjelmallisesti säädettävissä 25 -- 120 N. Tarraimen leukojen sisäpinnalla on kaksi turvakytintä, jotka aktivoituessaan estävät leukojen liikkeen. Tällä toiminnolla estetään esimerkiksi sormien kiilautuminen nostettavan kappaleen ja tarttujan väliin (kuva 51).



Kuva 49. OnRobot RG6 -tarttuja sekä ohjainlaite.

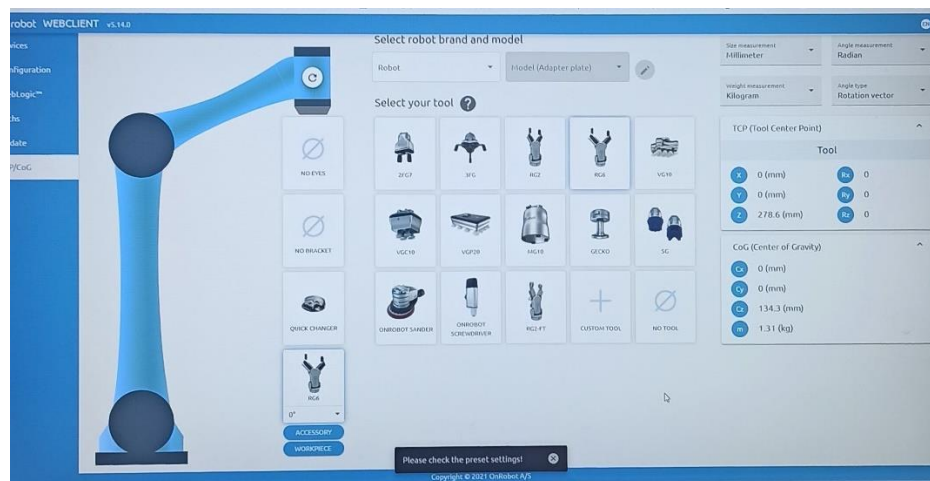


Kuva 50. RG6 -mittapiirros [25.]



Kuva 51. RG6 -turvakytkimet [25.]

OnRobot -tarttujalle on WebClient -käyttöliittymässä, työkalun arvojen laskentasovellus, josta valitaan tarttujan malli sekä siihen asennettavat kiinnikkeet (Kuva 52). Sovellus laskee valmiiksi työkaluntiedot ja muista robottiin suunnitelluista työkaluista on mitatut arvot (Taulukko 6).



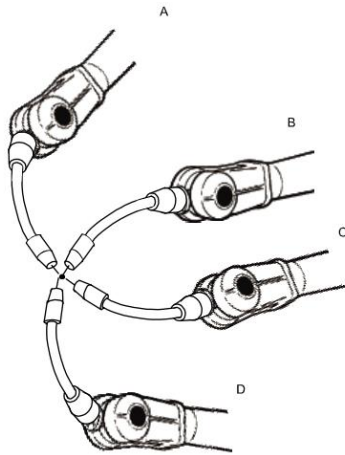
Kuva 52. OnRobot -käyttöliittymän työkalutiedot.

Taulukko 6. Työkalu -määritykset

Työkalun nimi	TCP sijainti X,Y,Z (mm)	Massa (kg)	Painopiste X,Y,Z (mm)
Tarttuja	0,0,125	0,81	0,0,60
AlipaineTar1	0,0,198	0,19	0,0,75
OnRobot_RG6	0,0,278.6	1,31	0,0,134.3

Työkalun erikoinen muoto tai mitoitus voi hankaloittaa TCP-paikan määrittystä, se voidaan myös suorittaa robotilla. Määrityksessä käydään työkalun kärjellä koskettamassa neljästä eri suun-

nasta kiinteästi asennettua piikkiä tai viitepistettä (Kuva 53). Ohjelma laskee TCP-paikan kaarteisista koordinaateista. Määrityksen tarkkuus riippuu, kuinka tarkasti jokainen vaihe on saatu toistettua. Tein pöytään kiinnitettävän piikin tätä määritystapaa varten (Kuva 54).



Kuva 53. TCP-määritys [22]

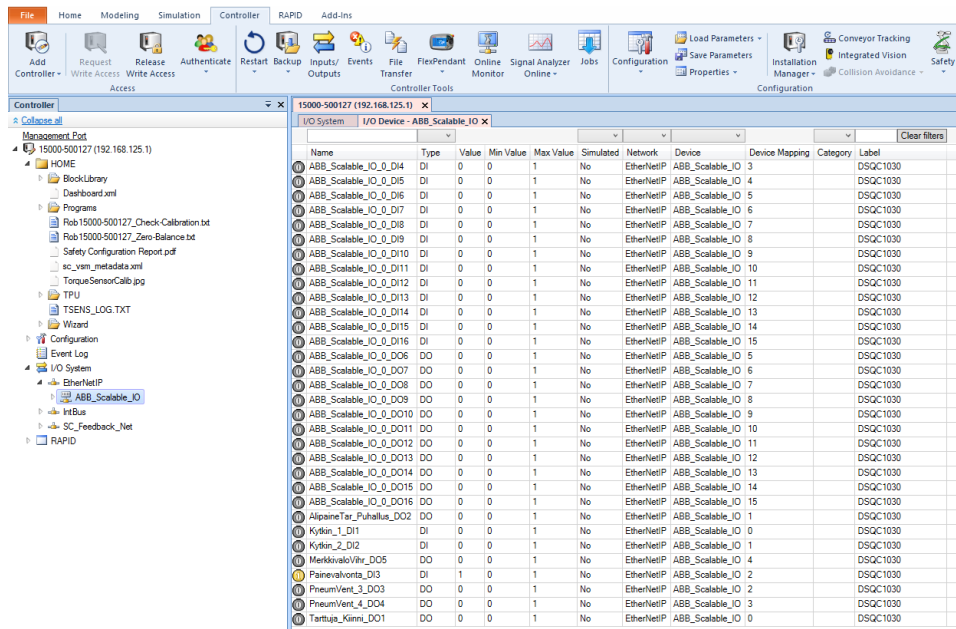


Kuva 54. TCP-määritys piikki.

7.2 DI/DO-liitäntöjen määritykset

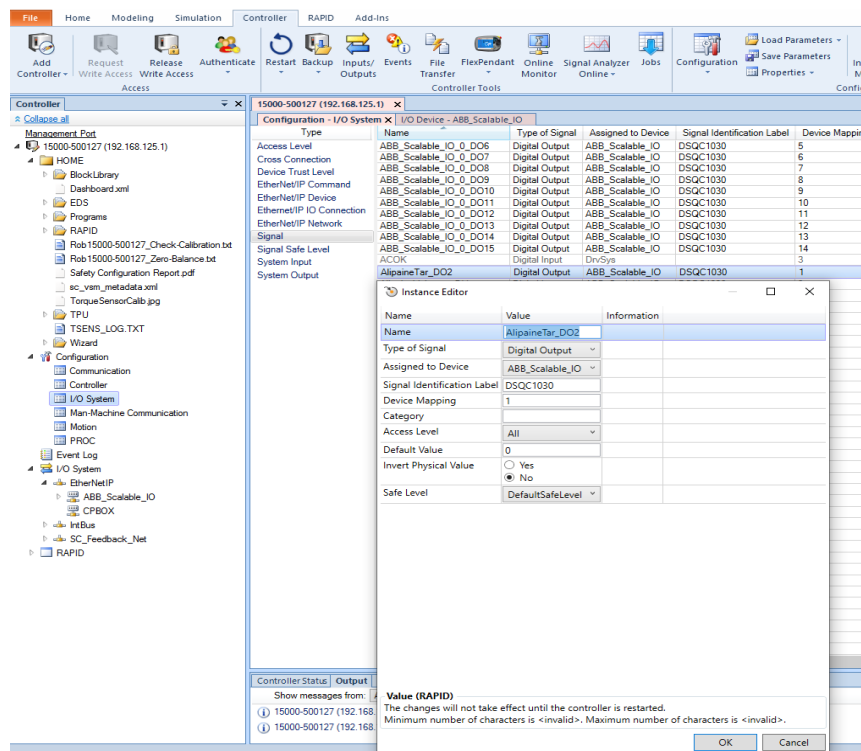
Tulo- ja lähtösignaaleiden avulla voidaan ohjata robottiin liitettyjä oheislaitteita sekä ehdollistaa robotin ohjausta. Robottijärjestelmässä yleensä DI-liitäntöihin kytketään anturoinnit, valoverhot ja kytkimet. Näihin liitäntöihin kytketään työkalujen toiminnot ja käsittelylaitteistojen ohjaukset. Numero DI:n tai DO:n perässä tarkoittaa liitännän paikanumeroa liitinrimassa, merkintä helpottaa kytkentäpaikan havaitsemista huolto- tai muutostoimenpiteissä.

DI/DO-määritykset tehtiin RobotStudiolla. Määrityksen alussa tietokone liitetään robotin kontrolleriin ja pyydetään käsiohjaimesta kirjoitusoikeus. Seuraavaksi paikannetaan I/O-moduuli, joka on nimetty `ABB_Scalable_IO`:ksi (kuva 55).



Kuva 55. RobotStudio -näkökulma DI/DO-liitännöistä.

Määrittelyssä muutetaan nimi, joka on syytä nimetä työkalua hyvin kuvaavaksi sekä *valikosta Access level: Default* → *All*:ksi (kuva 56). Tämä muutos mahdollistaa ulostulon käyttämisen käsihohjaimen pikanäppäimissä, kun robottia liikutellaan johdattamalla ohjaus -tilassa (*ABB:n käyttämä termi Lead-through*). Määrittelyjen jälkeen OK-painikkeesta hyväksytään muutokset ja lopuksi kontrolleri käynnistetään uudelleen, jolloin muutokset aktivoituvat.

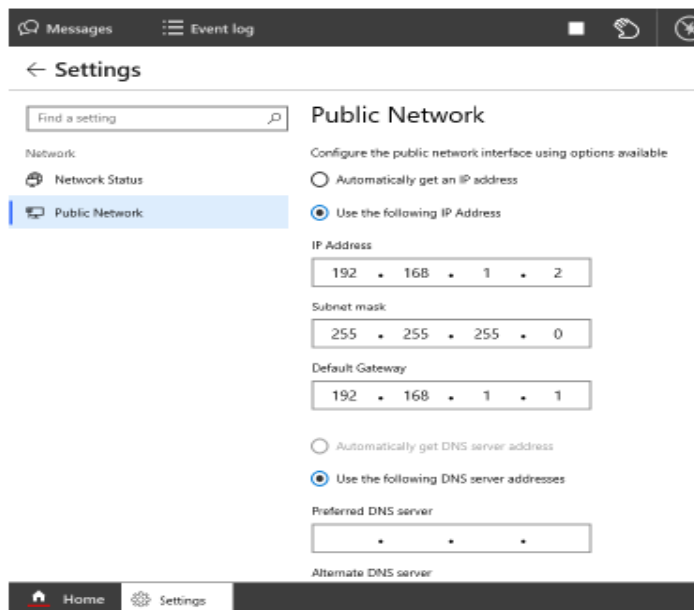


Kuva 56. RobotStudio Instance Editor -näkökulma.

7.3 OnRobot-tarraimen määrytykset

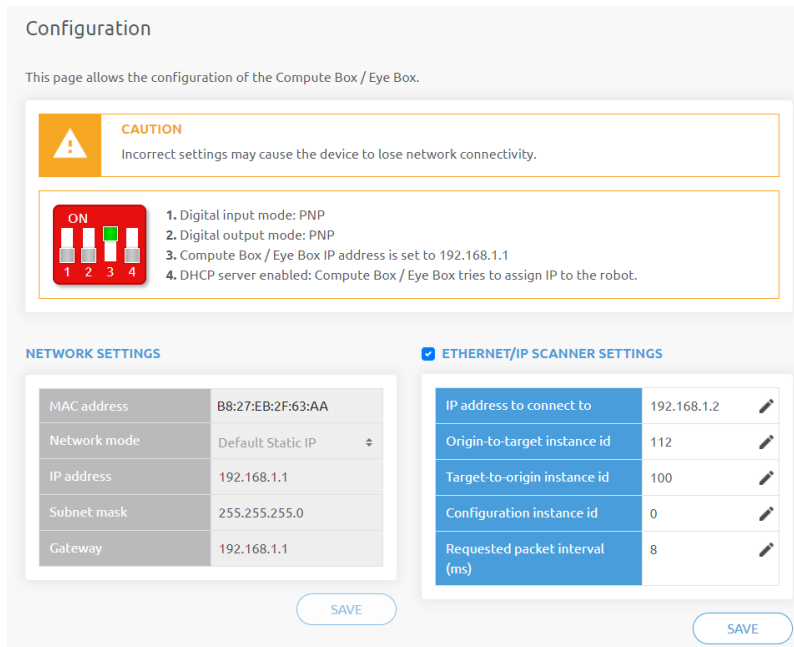
Kerron tässä määrytyksien vaiheet pintapuolisesti, tarkemmat seikkaperäiset ohjeet ovat saatavilla OnRobot-valmistajan Internet-sivuilta. Ohjelmalliset määrytykset tehtiin yhteistyössä ro-bottimaahantuojaan kanssa. Asennustiedostot oli saatavilla mukana tullessa USB-tikulla sekä ne ovat ladattavissa valmistajan Internet-sivuilta.

OnRobotin servotarraimessa on ulkoinen ohjainlaite, joka ohjelmoidaan keskustelemaan robo-tin kontrollerin kanssa. Robotissa ei ollut valmiina 3024–1 EtherNet/IP-Scanner-optiota, joka ti-lattiin jälkikäteen maahantuojalta. Sen asennus tapahtui RobotStudio Installation Managerin -avulla. Robotin ohjaimen määritettiin ohjeen mukaan IP-osoitteet (Kuva 56).



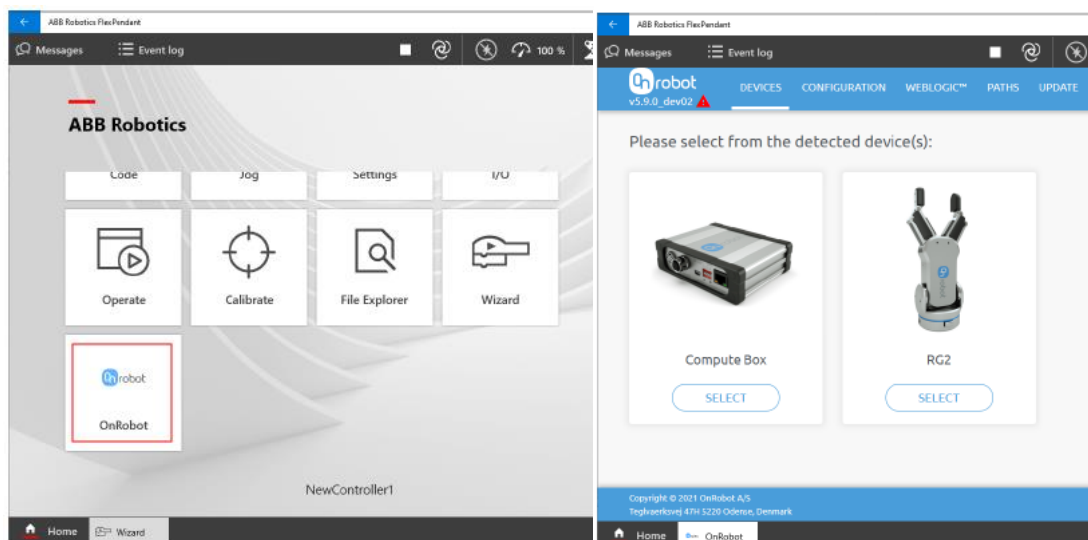
Kuva 56. Näkymä käsiohjaimen IP-määrytyksestä.

Seuraavaksi tietokone liitettiin Ethernet-liitännällä ohjainlaitteeseen ja nettiselaimella kirjau-duttiin sisään, jonka jälkeen muokattiin IP-osoitteet ja muut tarvittavat tiedot valmistajan oh-jeen mukaan (Kuva 57).



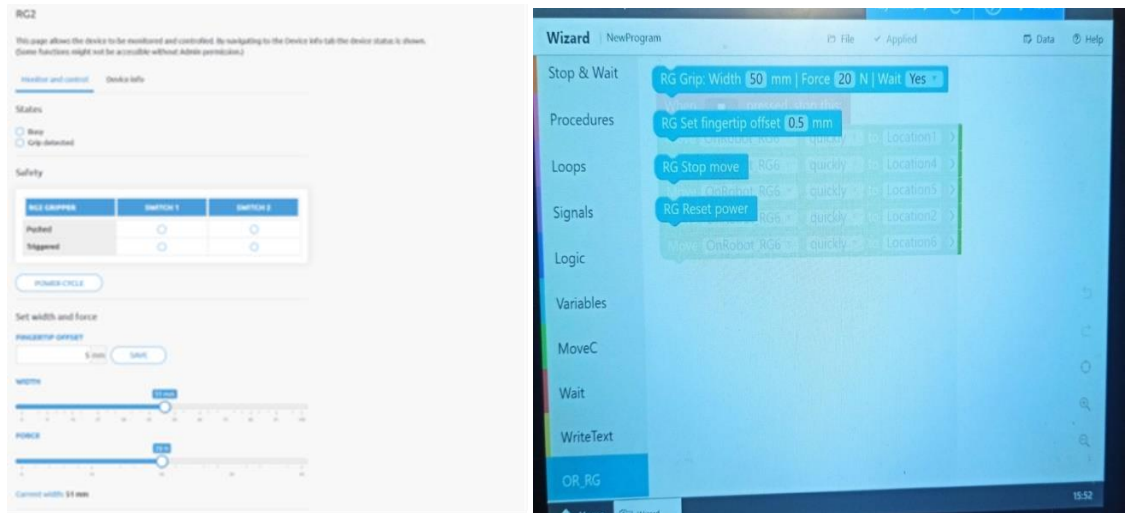
Kuva 57. Valmistajan ohjeavot määrittäisiin.

Seuraavaksi asennettiin asennustiedostot, jonka johdosta saatiin käsiohjaimen käyttöliittymään Web Client -pikakuvake. Pikakuvakkeesta avautuu sisäänkirjautumisen jälkeen näkymä tarttujan ja ohjainlaitteen valikoihin (kuva 58).



Kuva 58. OnRobot -pikakuvake sekä tarttujan käyttöliittymä [25]

Käyttöliittymästä hallitaan tarttujan toimintaa, jossa voidaan mm. määrittää leukojen avautuma (mm) sekä kiinnitovoima (N) sekä resetoita turvahälytykset. Lopuksi ladattiin RobotStudio:n kautta Wizardissa-tarttujan käytön mahdollistavat blokit. Valmiista blokeista voidaan ohjata mm. tarttujan leukojen avautumista sekä kiinnitovoimaa (kuva 59).



Kuva 59. Näkymä tarttujan hallintapaneelistä sekä OnRobot-blokeista.

7.4 SafeMove

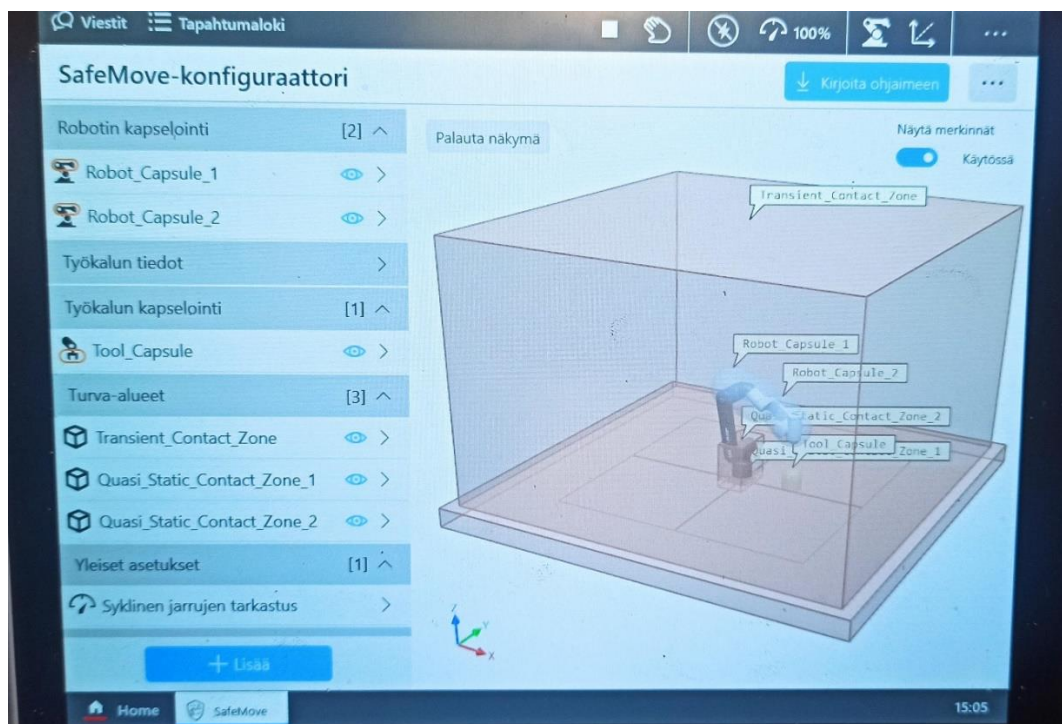
SafeMove on ABB-robottien kontrolleriin sisällytetty turvaohjain. Se voidaan määrittää käsiohjaimesta tai RobotStudiosta. SafeMove-turvaohjain valvoo robotin toimintaa käytönaikana tarkkailemalla sallittua nopeutta, turvallista pysähtymistä, sijaintia, suuntaa sekä syklisen jarrun tarkistusta.

Turvallisessa -tilassa robotin liike estyy kokonaan, mutta kaikki servot pysyvät päällä. Tämä toimintatila mahdollistaa käyttäjän lähestyä robottia turvallisesti ilman, että moottoreita tarvitsee käynnistää ja sammuttaa.

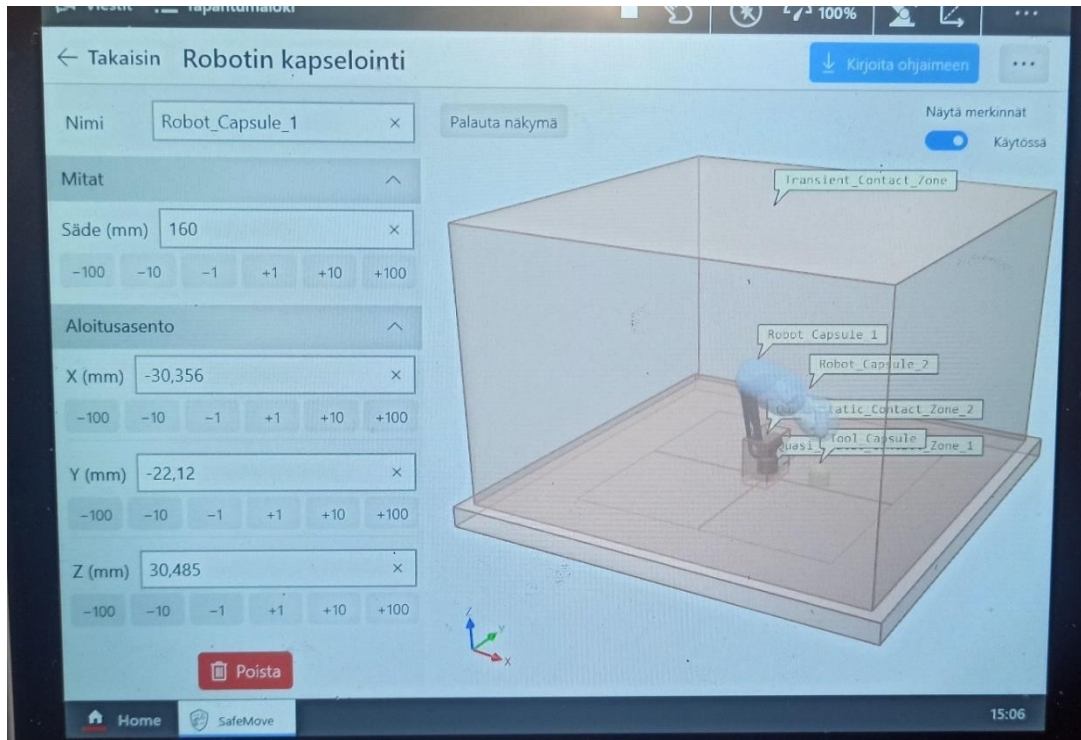
Turvallinen nopeus -tilassa robotti liikkuu nopeudella, joka voi olla maksimissaan 250 mm/s. Silloin se ei aiheuta vaaraa työntekijälle, ja tässä tilassa työntekijällä on pääsy työtilaan. Turvallista nopeutta voidaan käyttää myös turvaetäisyyksien lyhentämiseen ja siten saadaan työtilan kokoa pienemmäksi. Suuntavalvonnalla varmistetaan, kun käynnissä on säteilevä tai leikkaava prosessi, kuten hitsaus tai metallin leikkaaminen. Silloin työkalu osoittaa turvalliseen suuntaan, jolloin vältetään ihmisille ja laitteille aiheutuvat vahingot.

Käyttöliittymä koostuu SafeMove-konfiguraattorista ja 3D-mallista, joka visualisoi robottia määritetyillä kapseloinneilla ja vyöhykkeillä. Valmiin mallipohjan voi ladata käsiohjaimesta SafeMove-sovellukseen tai voi luoda kokonaan uuden tyhjälle pohjalle (Kuva 60). Jokaisen kohteen kapselit voidaan muuttaa halutun kokoisiksi sekä niitä voidaan tarpeen vaatiessa lisätä (kuva 61).

- Robotin kapselointivälilehti sisältää kapselointien määrytykset itse robotista.
- Työkalun kapselointi sisältää kapselointien määrytykset työkaluista.
- Työkalun tiedot sisältävät työkalujen määrytykset.
- Turva-alueet sisältävät turvavyöhykkeiden määrytykset.
- Yleiset asetukset -välilehti sisältää Cyclic Brake Check -asetukset. Siinä määritetään aikaväli, jolloin on suoritettava jarrujen tarkastukset.

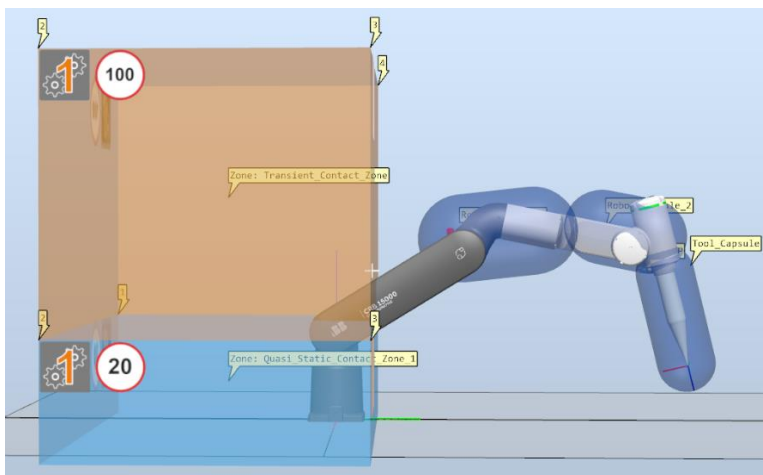


Kuva 60. Valmis mallipohja. SafeMove-konfiguraattori ja 3D-malli.



Kuva 61. Robotin käsivarren kapselointi määrittymiset.

Tässä opinnäytetyössä käytetylle robotille ei ole tehty täydellistä SafeMove-määrittystä, ainoastaan testattiin käsiohjaimen sekä RobotStudio-käyttöliittymän toimintaa. SafeMove-esittelyä varten tein kaksi nopeusvyöhykettä sekä määritin robotin käsivarren ja työkalun ympärille virtuaaliset kapselit. Esimerkkiohjelmassa robotti liikkuu ohjelmoitua liikerataansa pitkin, kunnes kapseli lävistää turvavyöhykkeen. Se aiheuttaa turvatoiminnon aktivoitumisen. Tämän johdosta nopeus alenee vyöhykkeessä näkyvään nopeuteen, riippumatta ohjelmoidusta nopeudesta. (Kuva 62).



Kuva 62. Nopeusrajoitetut turva-alueet.

SafeMove-määritys on aina työkohdekohtainen ja se on määritettävä aina uudelleen olosuhteiden muututtua. Määrityksen jälkeen on aina tehtävä validointi, jolla varmistetaan, että haluttu turvallisuus saavutetaan. Validoinnin jälkeen turvaohjain lukitaan sekä tulostetaan raportti tuloksista. Turvakonfiguraatioraportissa luetellaan kaikki asennukselle asetetut parametrit. Raportti sisältää myös visuaalisen esityksen asennuksesta sekä pohjapiirroksen. Siinä on nähtävissä robotti- ja turvavyöhykkeet ylhäältä katsottuna.

8 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli saada suunniteltua ja käyttöönotettua yhteistyörobotti-asema. Aloitin suunnittelutyön syksyllä 2021 työharjoittelun loppuessa. Sain aika itsenäisesti toteuttaa suunnittelutyötä. Hoidin myös tuotteiden valinnat ja tarjousten kyselyt komponenttitoimittajilta. Työskentelin opinnäytetyön aikana toimeksiantajan yrityksessä. Aseman kokoonpanoa tein työn ohessa komponenttien saavuttua, joskin vallitsevan maailmantilanteen takia joidenkin komponenttien toimitukset viivästyivät.

Työn valmistuessa robottiasemaan esiteltiin roboteista kiinnostuneille yrityksille ja heiltä tuli paljon erilaisia ehdotuksia käyttökohteista. Robottiaseman kehittämisen seuraava askel voisi olla konenäkösovelluksen ja ulkoisen turvaskannerin lisääminen.

Työ onnistui omasta mielestäni hyvin. Sain suunnitelmien mukaisesti valmiiksi yhteistyörobotti-aseman, millä toimeksiantaja voi esitellä robottia ja siihen liitettäviä työkaluja. Aseman mekaaninen rakentaminen ei ollut minulle uutta, mutta suunnittelutyö ja komponenttien valitseminen sekä tarjouskyselyt toivat minulle paljon lisää tietoa alasta ja alan käytänteistä. Opin myös paljon robottiin liitettävien lisälaitteiden ohjelmallisesti yhdistämisestä sekä yleisesti robotiikasta.

Lähteet

1. Valmet-Automotive. Valmet Automotive hankki yli 250 robottia GLC-mallin tuotantoon; 2016. [Internet]. Saatavilla: <https://www.valmet-automotive.com/fi/media/uutiset/valmet-automotive-hankkii-yli-250-robottia-glc-mallin-tuotantoon/>
2. Suomen standardisoimisliitto SFS, Standardi SFS-EN ISO 10218-1, Robotit ja robotiikkalaitteet. Viitattu 27.1.2022 [Internet] Saatavilla: https://sales.sfs.fi/?gclid=Cj0KCQiA_8OPBhDtARIsAKQu0gbD5_5X1GODjEpekfSThzUp-Wxl2yItnIVeGYLmEUMJsUcCp77RLnwaAttKEALw_wcB
3. Salminen, P. Robotiikka; 2016. Viitattu 27.1.2022 [Internet]. Saatavilla: <https://docplayer.fi/67729437-Robotiikka-2016-1-johdanto-ja-historiaa.html>
4. Automaatioväylä lehti. Viitattu 27.1.2022 [internet]. Saatavilla: <http://www.automaatiovayla.fi/lehti/robotiikkatilastot/>
5. Suomen virallinen tilasto (SVT): Tietotekniikan käyttö yrityksissä [verkkajulkaisu]. ISSN=1797–2957. 2020, Liitetaulukko 6. Robotiikan käyttö 2020, % 1). Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 27.1.2022].
Saantitapa: http://www.stat.fi/til/icte/2020/icte_2020_2020-12-03_tau_006_fi.html
6. FIBRO LAEPPLE TECHNOLOGY Viitattu 27.1.2022 [internet]. Saatavilla: <https://flt-us.com/products/modular-axis-and-gantry-system/area-gantry-robot/>
7. ABB robotti mallit. Viitattu 3.2.2022 [internet]. Saatavilla: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-910sc>
8. Motoman robotti mallit. Viitattu 3.2.2022 [internet]. Saatavilla: <https://www.yaskawa.fi/tuotteet/robotit>
9. Robotin koordinaatisto. Viitattu 10.2.2022 [Internet]. Saatavilla: http://www.ipacv.ro/proiecte/robotstudio/textbooks/file/robot_motion.htm
10. OnRobot-tuotteet. Viitattu 10.2.2022 [internet]. Saatavilla: <https://onrobot.com/fi/tuotteet>
11. Kempin robottihitsaus laitteet. Viitattu 10.2.2022 [Internet]. Saatavilla: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/category/laitteet/automatisoitu-hitsaus-robottihitsaus/>
12. Vectisautomation cobot -hitsausasema. Viitattu 10.2.2022 [Internet]. Saatavilla: <https://vectisautomation.com/>
13. Mirka hiontatuotteet. Viitattu 22.2.2022 [Internet]. Saatavilla: <https://www.mirka.com/fi/Mirka-AIOS-353CV-81x133mm-MIA3532011/>

14. ABB Wizard-sovellus. Viitattu 22.2.2022 [Internet]. Saatavilla: <https://new.abb.com/news/fi/detail/72178/abbn-teollisuusrobotteihin-wizard-easy-programming-ohjelmisto>
15. BIAKS-karahiomakone. Viitattu 22.2.2022 [Internet]. Saatavilla: <https://www.directindustry.com/prod/biax-schmid-wezel-gmbh/product-16481-1889382.html>
16. Alumiiniprofiili tuotteet. Viitattu 7.3.2022 [Internet]. Saatavilla: <https://greenlab.fi/tuotteet/>
17. Kuvat Savonia-ammattikorkeakoulun koulutusmateriaalista. 29.9.2021 Viitattu 7.3.2022.
18. SMC-tarttujien tekniset tiedot. Viitattu 7.3.2022. [Internet]. Saatavilla: <https://www.smc.eu/fi-fi/products/actuators~16635~nav>
19. Weidmuller-tekniset tiedot ja kuvat. Viitattu 10.3.2022. [Internet]. Saatavilla: https://www.weidmuller.fi/fi/products/electronics/relay_modules/solid_state_relays/relay_modules/d_series.jsp
20. Suomen standardisoimisliitto SFS, Standardi ISO/TS 15066: 2016 Robots and robotic devices — Collaborative robots. Viitattu 13.3.2022 [Internet] Saatavilla: <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/ISO/ISO/ID9998/1/402851.html.stx>
21. SCHMALZ-imukuppi tuotteet. Viitattu 15.3.2022. [Internet]. Saatavilla: <https://www.schmalz.com/fi-fi/alipainetekniikka-automaatiolle/alipainekomponentit/imukupit/>
22. ABB-työkalun määrittäminen. Viitattu 15.3.2022. [Internet]. Saatavilla: <https://abb.sluzba.cz/Pages/Public/IRC5RoboticsDocumentationRW6/Controllers/IRC5/FlexPendant/fi/3HAC050941-013.pdf>
23. ABB-robotin valmistajan Product specification OmniCore C30. Viitattu 17.3.2022
24. Suomen standardisoimisliitto SFS, Standardi EN ISO 13855: Koneturvallisuus. Suojausteknisten laitteiden sijoitus ottaen huomioon kehon osien lähestymisnopeudet. Viitattu 18.3.2022 [Internet] Saatavilla: <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/150873.html.stx>
25. OnRobot-valmistajan User Manual RG6. Viitattu 17.3.2022. [Internet]. Saatavilla: <https://onrobot.com/fi/downloads>
26. Fanuc CRX Cobot-mallisto. Viitattu 24.3.2022. [Internet]. Saatavilla: <https://crx.fanuc.eu/why-collaborative-robots/>

Liite 1. Pneumatikan kytkentäkaavio

