



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joonas Haapala

YHTEISTYÖROBOTIN KÄYTTÖÖN- OTTO TESTAUSSOLUSSA

Ampner Oy

Tekniikka
2018

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Joonas Haapala
Opinnäytetyön nimi	Yhteistyörobotin käyttöönotto testausolussa
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	62
Ohjaaja	Mika Billing

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli käyttöönottaa UR10-yhteistyörobotti testausolussa Suomessa toimivalle Ampner Oy yritykselle. Tavoitteena oli automatisoida piirilevyn asennus ja sen poistaminen testauslaitteelta yhteistyörobotilla käyttäen. Työhön kuului robotin ohjelmointi ja sen simulointi, robottisolun rakentaminen ja simuloinnin teko Visual Components-ohjelmistolla, robotin tarttujan suunnittelu ja siihen tulevien lisäosien CAD-mallinnus ja 3D-tulostus, I/O-selvitys ja suunnittelu laitteistojen välillä ja turvallisuuden suunnittelu testauslaitteeseen.

Opinnäytetyössä tutustuttiin yhteistyörobottiin, johon valittiin työkalut, mallinettiin kokoonpanoon tarvittavat osat ja ohjelmoitiin toimiva robottiohjelma. Testauslaitteen automaattiselle sululle suunniteltiin turvajärjestelmä käyttäen erilaisia antureita. Selvitettiin I/O-robotin, testauslaitteen ja anturien välillä. Robottisolusta ja ohjelmistosta luotiin virtuaalinen malli, jota käyttäen pystyttiin hahmottamaan solu ja robotin tarvittavat liikkeet solussa. Työ vaati perehtymistä yhteistyörobottiin, sen työkaluihin, turvallisuus vaihtoehtoihin, I/O:hon, Mallintamiseen ja tulostamiseen, sekä robotinohjelmointiin ja simulointiin. Suurin osa opinnäytetyöstä oli itse robotin ohjelmointia ja simulointia. Kokoonpano testattiin koulussa olevalla robotilla ja työkaluilla, muut tarvittavat osat saatiin Ampner Oy:lta.

Työn tuloksena saatiin aikaan toimiva kokoonpano-ohjelma, miten ja millä komponenteilla kokoonpanotyö saatiin suoritettua ja vielä turvallisesti. Projektiin jäi kuitenkin paljon paranneltavaa aikataulun vuoksi, mutta tämä opinnäyte työ antoi yritykselle hyvän mallin, miten kokoonpanon automatisointi on mahdollista suorittaa turvallisesti ja antoi hyvät lähtökohdat sille joka tätä projektia jatkaa. Työ opetti paljon robotin ohjelmoinnista ja turvallisuudesta sekä antoi paljon kokemusta näistä aiheista, jota voin käyttää myöhemmin työelämässä.

ABSTRACT

Author	Joonas Haapala
Title	Commissioning of Collaborative Robot in Testing Cell
Year	2018
Language	Finnish
Pages	62
Name of Supervisor	Mika Billing

The purpose of this thesis was to commission the UR10 collaborative robot into the test cell for the company called Ampner Oy in Finland. The aim was to automate the installation and removal of the circuit board from the tester using a collaborative robot. The work included robot programming and simulation, robot cell building and simulation with Visual Components software, robot gripper design and CAD add-ons and 3D printing, I/O analysis and design between multiple machines and safety design for the testing equipment.

The thesis focused on a collaborative robot, for which right tools were chosen, modeling components that was needed for assembly were modelled and programmed workable program was programmed for the robot. A security system was designed for the automatic locking of the tester using various sensors. The I/O was explored between the robot, the tester and the sensors. A virtual model was created of the robotic cell and the program was created a virtual model that could be used to perceive the working cell and the robot's movements in the cell. The job required insight into the collaborative robots, its tools, security options, I/O, modeling and printing, and robot programming and simulation. Big part of the thesis was the robot programming and simulation itself. The assembly was tested with school robot available at VAMK and it tools, and other necessary parts were obtained from Ampner Oy.

As a result of the work, a working assembly program was made successfully, and in a safe way. However, because of the lack of time the project still needs improvements, but this thesis work gave the company a good example of how the automation assembly can be performed safely and gave a good starting point for the project to continue.

Keywords Programming, safety, assembly, simulation

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	9
2	AMPNER OY.....	10
3	ROBOTIIKKA	11
	3.1 Robottiikan määritelmä.....	11
	3.2 Miksi robotiikkaa käytetään teollisuudessa?	11
4	YHTEISTYÖROBOTIIKKA.....	13
	4.1 Määritelmä	13
	4.2 Historiaa.....	14
	4.3 Yleistä	15
	4.4 Robotin valinta.....	16
	4.5 Asennontunnistus.....	17
5	YHTEISTYÖROBOTIN TURVALLISUUS JA STANDARDIT.....	18
	5.1 Mahdollisia riskejä.....	18
	5.2 Ominaisuudet	18
	5.3 Valvottu pysäytys.....	18
	5.4 Käsien ohjaaminen.....	19
	5.5 Nopeuden ja vähimmäisetäisyyden valvonta.....	19
	5.6 Tehon ja voiman rajoittaminen luontaisesti turvallisella suunnittelulla tai ohjauksella.....	20
	5.7 Standardit	21
6	TYÖKALUT JA OHJELMISTOT	22
	6.1 UR10 Robot	22
	6.2 Robotiq 85 kaksisorminen tarttuja	23
	6.3 Test Fixture ja piirilevy.....	23
	6.4 Visual Components 4.1	24
	6.5 Siemens NX 10	24
	6.6 3D-tulostin Prusa i3	25

7	PROJEKTIN TOTEUTUS	26
7.1	Yhteistyörobottiin tutustuminen	26
7.2	Visual Components 4.1	26
7.3	Siemens NX10	33
7.4	Robotin ohjelmointi	37
7.5	I/O laitteistojen välillä ja turvallisuus	42
8	TURVALLISUUS TESTAUSLAITTEELLE.....	55
8.1	Tuotteet	55
8.1.1	Minitwin 4 valoverho ominaisuuksia.....	55
8.1.2	Minitwin 4 valoverhon hyödyt.....	56
8.1.3	S300 mini turvalaserskannerin ominaisuudet	57
8.1.4	S300 mini turvalaserskannerin hyödyt.....	57
9	YHTEENVETO JA JATKOKEHITYS	60
	LÄHTEET.....	62

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Yhteistyötoiminnot.

Kuva 2. UC Berkleyn tutkijoiden kehittämä z-nostin General Motorsin tehtaalla.

Kuva 3. Yhteistyörobotin akselit ja liikkumissuunnat.

Kuva 4. Universal Roboti mallit.

Kuva 5. Testausyksikkö eli Test Fixture ja piirikortti.

Kuva 6. Prusa i3 3D-tulostin.

Kuva 7. Visual component ohjelmaan tuodut osat ja laitteistot.

Kuva 8. Visual components ohjelma

Kuva 9. Paikotuspisteet ja kotipiste solussa.

Kuva 10. Signaalit tarttujan ja robotin välillä, kuvassa myös robotin kierto merkitty viivoilla.

Kuva 11. Robotti lähestytään piirikorttia.

Kuva 12. Robotti poimii piirkortin.

Kuva 13. Kortin vienti testilaitteelle.

Kuva 14. Kortti viety testilaitteelle ja tarttujan avaus.

Kuva 15. Robotin paluu kotipisteeseen odottamaan kortin latausta.

Kuva 16. Punaiset nuolet osoittavat mistä kohtaa piirikorttia oli tarkoitus tarttujalla tarttua.

Kuva 17. Ensimmäinen mallinnus tarttujan lisäpaloista.

Kuva 18. Mallinnettu kappale 3D-tulostettuna.

Kuva 19. Uusi malli tarvittavilla lisäyksillä.

Kuva 20. Uusi malli 3D-tulostettuna ja kiinni tarttujassa.

Kuva 21. Testauslaite ja nuolet kertovat tarttumispisteet.

Kuva 22. Luotu robottiohjelma.

Kuva 23. Tarttuja tarttuu kappaleesta.

Kuva 24. Kortin asettaminen testilaitteelle.

Kuva 25. Ohjausyksikkö, jossa sensorien johdotus.

Kuva 26. Ohjelmointi laitteen I/O.

Kuva 27. Ohjelmointi laitteen I/O, kaksi sensoria liitetty.

Kuva 28. Laitteiden tuonti ohjelmaan.

Kuva 29. Wait komennon ohjelmointi.

Kuva 30. Set komennon ohjelmointi.

Kuva 31. Wait and set output.

Kuva 32. Robotin turvallisuus rajoitukset

Kuva 33. Turvallisuus vaihtoehdot.

Kuva 34. Reduce mode turvallisuus asetusten muuttaminen.

Kuva 35. Turvarajat.

Kuva 36. Turvarajojen luonti.

Kuva 37. Turvasensori joka havaitsee lähestyvän ihmisen.

Kuva 38. Mallikuva Minitwin 4 valoverhoista.

Kuva 39. Minitwint 4 valoverhojen mittaamisvälin havainnointi.

Kuva 40. Mallikuva S300 mini turvalaserskannerista.

Kuva 41. S300 mini turvalaserskannerin mittausalue.

1 JOHDANTO

Automaatio ja robotiikka ovat erittäin vahvasti kasvavia aloja, jotka kasvattavat tuotantotehokkuutta sekä vähentävät työn kuormittavuutta. Tämän on mahdollistanut teknologian nopea kehittyminen, myös sensoriteknologian kehittymisen myötä ihmiset voivat työskennellä robottien kanssa turvallisesti.

Tämä opinnäytetyö käsittelee UR10-yhteistyörobotin käyttöä tuotantotestausso- lussa ja se toteutetaan Vaasalaiselle Ampner Oy:lle, joka tarjoaa tuotteita ja palve- luja energialähteiden verkkoon liittämiseksi, sekä testausjärjestelmiä teollisuuteen. Opinnäytetyön tavoitteena on automatisoida piirikortin asennus Testauslaitteeseen yhteistyörobottia käyttäen, ihminen tekee työn tällä hetkellä kokoonpanossa. Eri työvaiheita ovat robotin ohjelmointi, Demon teko käyttäen Visual Components 4.1 ohjelmistoa, robotin tarttujan suunnittelu ja siihen tarvittavien osien mallinnus Sie- mens NX 10-ohjelmistolla ja niiden 3D-tulostus, robotin käyttäjäturvallisuuden huomiointi, I/O-selvitys laitteistojen välillä ja turvallisuuden suunnittelu testauslait- teeseen.

Työ tehtiin Vaasan ammattikorkeakoulussa, Technobothnian opetus- ja tutkimus- laboratorion tiloissa. Koululta sain käyttöön UR10 yhteistyörobotin, Visual Com- ponents ohjelman, Siemens NX 10-ohjelmiston ja 3D-tulostimen. Ampner Oy:ltä sain testauslaitteen, piirikortin ja muut tarvittavat välineet.

2 AMPNER OY

Ampner Oy on vuonna 2012 perustettu suomalainen teollisuuspalveluyritys, joka tarjoaa tuotteita ja palveluja energialähteiden verkkoon liittämiseksi, sekä testausjärjestelmiä teollisuuteen. Yhtiötä tuetaan vuosikymmenien kokemuksella, viimeisimmällä teknologialla ja korkealla ammattitaidolla.

Testcom Oy, Ampner Oy:n tytäryhtiö, toimittaa teollisuuden testaus- ja laadunvalvontajärjestelmiä teho- ja automaatioalalle.

Yritys luo älykkäitä ratkaisuja erilaisten energialähteiden hallintaan, testaukseen ja laadun varmistamiseen. Yritys suunnittelee, laskee ja simuloi sähköisiäliitäntöjä verkkoon kyseisille energialähteille: vedelle, tuulelle, auringolle tai biomassalle.

/1/

3 ROBOTIIKKA

3.1 Robotiikan määritelmä

Yleisesti roboteilla tarkoitetaan tietokoneohjattuja työkappaleita yleiskäyttöisiä laitteita, jotka käsittelevät työvälineitä. Yleiskäyttöisyydellä tarkoitetaan laitteen monipuolinen käyttötarkoitus ja sen liikkeiden ohjelmoituvuus. Robotin liikkeet voivat olla hydraulisia tai pneumaattisia, mutta yleisesti liikkeet tuotetaan sähköisillä toimilaitteilla. Nykyisin roboteiksi nimetään fyysiseltä rakenteeltaan monenlaisia ohjelmallisesti liikkuvia laitteita, joihin usein liittyy ympäristön havainnointia ja sen mukaan toimimista – on olemassa erilaisia liikkuvia robotteja kuten automaattisesti ohjautuvia lennokkeja ja autoja. Esimerkiksi robottiautoissa niiden ohjaus toimii usean eri toimilaitteen, tietokoneen, anturoinnin ja monen muiden niitä hyödyntävien ohjelmistojen avulla. Jotta robotin määritelmä täytyisi sen täytyy sisältää fyysis-mekaanisen rakenteen. /2/

Robottitekniikassa yhdistyy monet eri tekniikan osa-alueet kuten:

- Tietotekniikka: tietokoneet, prosessoritekniikka, ja ohjelmistotekniikka
- Toimilaitteet
- Anturitekniikka
- Mekaniikka, kuten vaihteistot ja laiterakenteet.

Ensimmäiset robottisovellukset tulivat 1960-luvun lopulla autoteollisuuteen, jonka merkitys robottien soveltajana ja robottitekniikan kehityksessä on edelleen suuri. Teollisuusrobotiikassa perustekniikka vakiintui 1980-luvun loppuun mennessä ja teollisuusroboteista tuli teollisia standardituotteita. Tällä alalla kehitys on ollut varmaa vuodesta toiseen laajalla rintamalla. /2/

3.2 Miksi robotiikkaa käytetään teollisuudessa?

- Tuotannon lyhyt läpäisy aika, nopeat vaiheajat sekä miehittämättömät tuotantotaksot ja työvuorot mahdollistavat pienet välivarastot ja alentavat keskenäisen tuotannon määrää.

- Joustava robotisoitu tuotantoautomaatio mahdollistaa pienet tuotantoerät ja asiakasmyötäisen tilausohjautuvan tuotannon ja tarve valmistuotevarastoihin häviää.
- Tarkka robotti säästää materiaaleja.
- Vältetään virheelliset kappaleet ja niiden korjaamisesta aiheutuvat kulut. Robotti ei tee väsymyksestä tai vireyden muutoksista johtuvia virheitä, eli tuotantojärjestelmästä on karsittu niin sanottu inhimillinen virhetekijä pois.
- Robotisoitu tuotantojärjestelmä vaatii vähemmän tilaa kuin manuaalinen yksikkö, koska ergonomiavaatimukset voidaan sivuuttaa ja laitteet voidaan sijoittaa tiiviiksi tuotantoyksiköksi. /3/

4 YHTEISTYÖROBOTIIKKA

4.1 Määritelmä

Yhteistyörobotit on suunniteltu työskentelemään yhdessä ihmisten kanssa. Ne eroavat perinteisistä teollisuusroboteista siten, että ne voivat toimia apuna vaikeissa sekä haastavissakin tehtävissä ja ne on helppo opettaa tekemään uusia tehtäviä. Yhteistyöroboteilla on erittäin laaja skaala sille, mitä niillä voi tehdä. Valittavana ovat tehtävät tavaran siirrosta komponenttien valmistuksessa avustamiseen tai esimerkiksi laboratorionäytteiden käsittelyyn. /4/

Yhteistyörobotin käyttöönotto on helppoa ja vaivatonta ja sen ohjelmointi vaatii vähemmän harjoittelua verrattuna suurempiin teollisuusroboteihin. Käyttäjän tarvitsee vain ymmärtää peruseriaatteen ja opettaa robotille sen työtehtävät. /4/

Kuten teollisuusrobotti, yhteistyörobotti ei tarvitse turva-aitoja tai seiniä ympärilleen vaan ne soveltuvat työskentelemään nykyisessä tuotantoympäristössä, vieden huomattavasti vähemmän tilaa. Robotin voi tarvittaessa siirtää tuotantolinjalta toiselle tai sen työtehtäviä voi muuttaa hyvinkin nopealla aikataululla. /4/



Kuva 1. Yhteistyörobotiikan neljä yhteistyötoimintoa.

4.2 Historiaa

Nykypäivän yhteistyörobotit saivat alkunsa 1990-luvun lopulla Pohjois-Amerikan yliopiston, Kalifornian yliopiston Berkeleyn ja General Motorsin (GM) tutkijoilta, mitä ruvettiin käyttämään autoteollisuudessa. 90-luvun työterveys- ja työturvallisuusvirasto (OSHA) olivat huolissaan tavasta, jolla General Motors ja muut tehdasteollisuus yritykset hoitivat ergonomisia ongelmiaan.

Ergonomiset ongelmat eskaloituivat työntekijöiden loukkaantumisiin ja työajan menetyksiin. Nämä ongelmat koskivat autoteollisuuden valmistajia eri puolilla Yhdysvaltoja, mutta GM:lle nämä ongelmat olivat merkittävimpiä viimeisillä kokoonpano pisteillä. OSHA päätti ryhtyä toimiin ja vaati General Motorsia keksiä ratkaisua tälle ongelmalle ja näyttää tietä muilla, koska he johtivat autoteollisuutta.

Yliopiston tutkijat ja General Motorsin työntekijät rupesivat kehittämään robotteja näihin ongelmiin, ja ensimmäisen robottia kutsuttiin "intelligent assist devices" (IAD) minkä tehtävänä oli toimia liikettä ohjaavana osana nostolaitteessa. /5/



Kuva 2. UC Berkleyn tutkijoiden kehittämä z-nostin General Motorsin tehtaalla.

University of California Berkeleyn tutkijat aloittivat kehittämään General Motor-sille omaa älykästä nostolaitetta. Tämä kehitetty nostolaite roikkuu katosta kuten kuvasta näemme (Kuva 2.) Nostolaite seurasi käyttäjän kädenliikkeitä ja sillä pystyi liikuttelemaan isoja kuormia käyttäjän liikkeiden mukaisesti haluttuun suuntaan. Tämän jälkeen yhteistyörobotit alkoivat kehittyä, kun kyseistä yhteistyötoimintaa alettiin soveltamaan perinteisiin käsirobotteihin. Nämä ensimmäiset käsirobotit markkinoille toi Tanskalainen Universal Robots, minkä jälkeen muut valmistajat seurasivat perässä. Universal Robots toi ensimmäisenä maailmassa UR5-robotin, joka toimi ihmisen kanssa yhteistyössä ilman rajoitteita tai aitoja. Tämän jälkeen muut robottivalmistajat, kuten AB, Fanuc ja Kuka seurasivat perässä omilla yhteistyöroboteilla. /5/

Ensimmäinen tarkka standardi yhteistyöroboteille julkaistiin 2016, ISO/TS 15066, mikä määritteli eri yhteistyörobottien yhteistoimintatapoja ja eri ominaisuuksia. /5/

4.3 Yleistä

Viimeisten kahden vuoden aikana yhteistyörobotit ovat nähneet uskomatonta nousua robotiikkamarkkinoilla. Tällaisia robotteja käytetään sovelluksissa, jotka edellyttävät ihmisten työskentelyä robottien kanssa. Niitä käytetään pääasiassa kokoonpanotehtäviin matalilla hyötykuormilla. Yhteistyörobottien turvallisuusominaisuudet ovat erittäin herkkiä painantureita, jotka havaitsevat ihmisen läsnäolon. Nämä robotit osaavat mukautua uusin ympäristöihin. Yhteistyörobotit eivät tarvitse suojaavia häkkeitä, koska ne käyttävät erilaisia turvalaitteita ja niiden alhaisen nopeuden vuoksi, missä ne toimivat. Tämä on avain tulevaisuuteen, jossa ihmiset ja robotit työskentelevät yhdessä. /6/

Yhteistyörobotit ovat erinomaisia työkaluja tuottavuuden parantamiseksi valmistusympäristössä, koska ne on suunniteltu helppokäyttöisiksi ja toimivat ihmisten rinnalla. Yhteistyöroboteille voidaan antaa tylsiä tehtäviä, kun taas työntekijöillesi annetaan enemmän kannustavaa työtä. Tarraimet, kameran ja voiman vääntömomenttianturit ovat ihanteellisia työkaluja yhteistyörobotteihin, mikä antaa heille mahdollisimman suuren joustavuuden monenlaisten tehtävien suorittamiseen. /7/

Yleisiä yhteistyörobotti valmistajia ja niiden mallit:

- Universal Robots: UR-series
- KUKA: LBR iiwa models
- ABB: Yumi
- Rethink Robots: Sawyer and Baxter
- Yaskawa: HC 10
- Fanuc: CR-7iA
- MABI: Speedy- series.

4.4 Robotin valinta

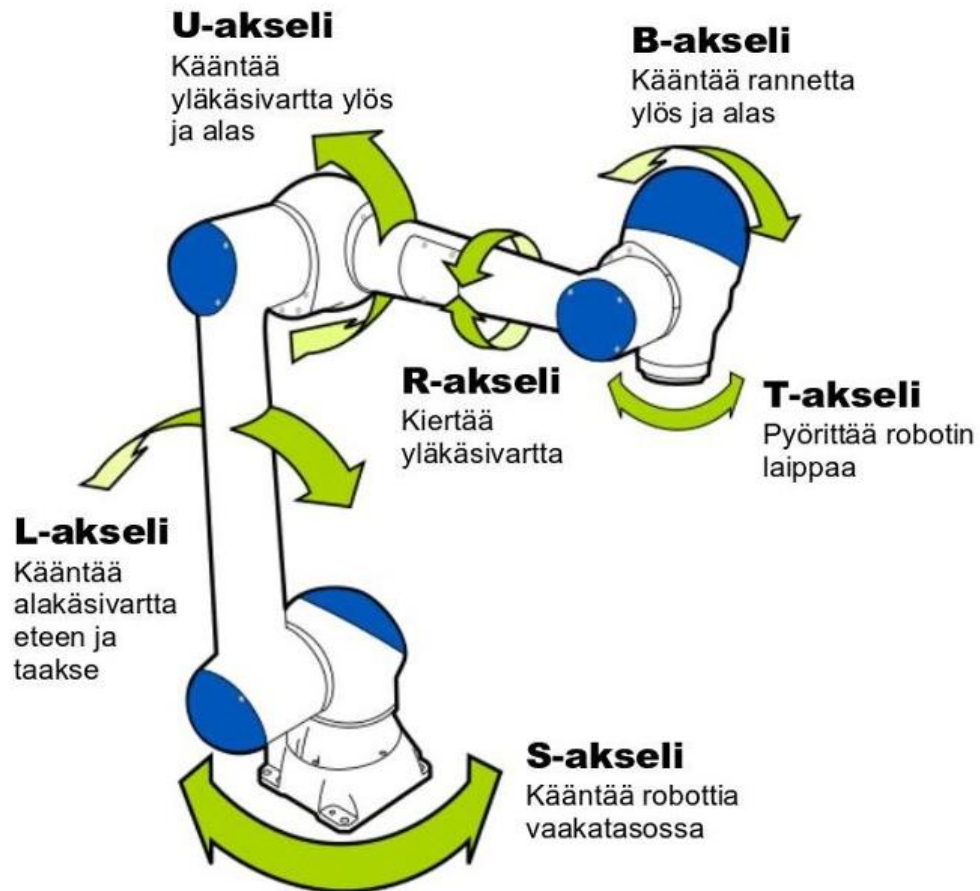
Robotin valinnassa on huomioitava:

- Liikenopeuksien riittävyys
- Liitettävyyden oheislaitteisiin ja keskusohjaukseen
- Ulottuvuus eri asennoissa
- Robotin käsittelykyky
- Soveltuvuus suunniteltuun tehtävään
- Hyödynnettävät erikoisominaisuudet suunniteltuun tehtävään.

Myös kannattavuuden näkökulmaa on huomioitava:

- Kappaleiden tila, kuinka käsiteltävät kappaleet tuodaan robotille
- Kappaleiden siirrot, tarraimet ja jigit
- Oheislaitteiden sijoittelu, layoutin suunnittelu
- Työvaiheiden looginen eteneminen, ohjelmointi
- Liittymät muuhun tuotantoympäristöön, I/O:t ja muut rajapinnat
- Miehitys, operaattoritarpeen suunnittelu
- Ympäristöolosuhteet, puhtaus, lämpötila, kosteus.

Yhteistyörobotissa on yleisistä useampi akseli. Useampiakseliset robotit soveltuvat paremmin erilaisiin sovelluksiin ja ovat joustavampia kuin vähemmän askeliset robotit. Kuvassa näemme kuusiakselisen robotin ja sen liikesuunnat. /8/



Kuva 3. Yhteistyörobotin akselit ja liikkumissuunnat.

4.5 Aseennontunnistus

Jokaisessa nivelessä on tarkka anturi, jonka avulla ohjausjärjestelmä saa tiedon reaaliaikaisesti nivelien asennoista. Kulmien avulla voidaan laskea nykyinen työkalupisteen sijainti ja asento käytettävän koordinaatiston suhteen. Toisaalta tavoitepisteen koordinaatit voidaan ilmaista nivelkulmina ja servojärjestelmä ohjaa nivelet näihin nivelkulmiin. /8/

5 YHTEISTYÖROBOTIN TURVALLISUUS JA STANDAR-DIT

5.1 Mahdollisia riskejä

- Robotit ovat nopeita
- Robotit ovat voimakkaita
- Roboteilla on suuri työalue
- Robotit saattavat liikkua eri rataa kuin on ohjelmoitu
- Robotit saattavat liikkua melko pitkän matkan hätäpysäytyksen jälkeen
- Robotit saattavat liikkua äkkinäisesti
- Kaatuvat tai lentävät esineet
- Vaaralliset materiaalit
- Ympäristölaitteet saattavat liikkua äkillisesti.

5.2 Ominaisuudet

Kansainvälisten standardien ISO 10218 osa 1 ja osa 2 mukaan yhteistyöroboteilla täytyy olla neljä ominaisuutta:

- Valvottu pysäytys
- Käsien ohjaaminen
- Nopeuden ja vähimmäisetäisyyden valvonta
- Tehon ja voiman rajoittaminen luontaisesti turvallisella suunnittelulla tai ohjauksella.

5.3 Valvottu pysäytys

Tällaista yhteistoiminnallista ominaisuutta käytetään silloin, kun robotti toimii enimmäkseen omillaan, mutta joskus ihminen joutuu päästä robotin työalueelle. Esimerkiksi kun tietty toiminto on suoritettava osalle, joka sijaitsee robotin toiminta-alueella. Raskaita osia joita robotin on käsiteltävä ja työntekijän on tehtävä toissijainen toimenpide osalle, kun robotti käsittelee sitä edelleen. Näin henkilö voi

työskennellä osan kanssa ja olla edelleen robotin tilassa. Jos ihminen tulee rajoitetulle alueelle ennalta määritellyssä turvavyöhykkeessä, robotti pysäyttää kaikki liikkeet kokonaan. Huomataan, että robotti ei ole sammutettu, mutta jarrut ovat päällä. Huomataan myös, että tällaiset robotit ovat tehokkaimpia silloin, kun ihmiset työskentelevät muualla, kun robotin ympäristössä. Muissa tapauksissa paljon aikaa voi hukkaa paljon, kun robotti pysähtyy jatkuvasti ihmisten takia. /9/

5.4 Käsin ohjaaminen

Tämäntyyppistä yhteistoiminnallista sovellusta käytetään käsiohjaukseen tai polunopetukseen. Joten jos haluat opastaa robottia nopeaan kappaleen tartuntaan ja sen irrottamiseen, voit käyttää tällaista sovellusta. Tällainen työ yleensä käyttää teollisuusrobotteja, mutta yhteistyöroboteissa on lisälaite, joka mittaa voimat, joita työntekijä soveltaa robottityökalussa. Suosittu laite tällaisen yhteistyön aikaansaamiseksi on Force Momentum -anturi, kuten Robotiq FT 150, jota käytämme tässä projektissa. Tämän tyyppinen laite yksinkertaisesti lukee robotin työkalussa käytettäviä voimia. Tämäntyyppinen yhteistyö koskee vain robottia, kun se suorittaa tämän nimenomaisen tehtävän, mikä tarkoittaa sitä, että kun robotti tekee muita tehtäviään, tarvitsee sille asetta muut turvamääräykset. /9/

5.5 Nopeuden ja vähimmäisetäisyyden valvonta

Robotin ympäristöä valvovat laserit tai visiojärjestelmät, joka seuraa työntekijöiden asemaa. Robotti toimii niiden turva-alueiden toiminnoissa, jotka on suunniteltu valmiiksi. Jos ihminen on tietyn turvavyöhykkeen sisällä, robotti reagoi määritetyillä nopeuksilla (yleensä hidas) ja pysähtyy, kun työntekijä tulee liian lähelle. Joten, kun työntekijät lähestyvät robottia, se hidastaa, kun työntekijät lähestyvät entisestään, robotti hidastaa vielä tai pysähtyy.

Mikä on ero turvatarkastetun pysäytyksen ja nopeuden ja erottelun valvonnan välillä? Yksinkertaisuudessaan, turvallisuuden valvominen pysähtyy, kun robotti pysähtyy, koska joku tai jotain on mennyt turvallisuusparametri alueelle. Robotin on

odotettava, kunnes työntekijä kuittaa signaalin, ennen kuin se voi jatkaa toimintaansa. Joten se odottaa, kunnes se saa kuittauksen jatkaakseen. Toisessa tapauksessa robotti toimii jatkuvasti sen nopeuden mukaan, mikä on sille asetettu määritetyllä turvavyöhykkeellä. Turvavyöhykkeet luokitellaan siten, että robotti tuottaa erilaisia reaktioita työntekijän sijainnin mukaan eri turvallisuusvyöhykkeillä ja saattaa silti johtaa turvallisuuden valvomaan pysäkkiin, kun ihminen tulee liian lähelle robottia. /9/

5.6 Tehon ja voiman rajoittaminen luontaisesti turvallisella suunnittelulla tai ohjauksella

Tämä on todennäköisesti työntekijän ystävällisin robotti, koska se voi toimia ihmisten rinnalla ilman lisävarusteita. Robotti voi tuntea epänormaaleja voimia polusaan. Itse asiassa se on ohjelmoitu pysähtymään, kun se lukee ylikuormituksen voiman. Nämä robotit on suunniteltu myös jakamaan voimia törmäyksessä suurelle pinnalle, mikä on yksi syy siihen, miksi robotit ovat pyöreämpiä. Monet näistä roboteista ovat kolmannen osapuolen sertifioimia, jotka keskittyvät ihmisten ja robottiyhteistyön työsuojeluun. Huomaa, että tekninen spesifikaatio ISO/TS 15066 määrittää suurimmat voimat (N) ja energia (J), joita voidaan käyttää ihmiselle ilman mitään haittaa. Tämä tekninen spesifikaatio selventää ihmisten ja robotin yhteistyön turvallisuusvaatimuksia sekä tavallisille teollisuusrobotteille että voimakkuudeltaan rajoitetuille yhteistyörobotteille. /9/

Näiden robottien tärkein ominaisuus on niiden kyky lukea voimia nivelissä. Tämä antaa niille mahdollisuuden havaita, milloin he työskentelevät epänormaaleilla voimilla. Näissä tilanteissa ne voidaan ohjelmoida pysähtymään tai joskus kääntää suuntaa välttääkseen suuremman törmäyksen tai puristus vaaran. Tämä tarkoittaa sitä, että robotit voivat reagoida välittömästi, jos ne joutuvat kosketuksiin ihmisen kanssa. Tämä piirre johtaa toiseen mielenkiintoiseen piirteeseen, käsiohjaus. Koska nämä robotit voivat tuntea voimia, voit kirjaimellisesti siirtää niitä ja näyttää heille positiot tai polut, joita he voivat toistaa myöhemmin. Kun käsiohjaus auttaa ihmisen ja robotin välistä yhteistyötä, se ei tee siitä liian turvallista. Voimarakoitus ominaisuuksien on tarkoitus tehdä tämä. /9/

5.7 Standardit

Kansainväliset standardit ovat olennainen osa varmistaa robottien turvallinen toiminta. Kyseiseen standardisointiin kuuluu robotin työkalujen, toimilaitteiden, ohjausjärjestelmän laitteiston ja ohjelmistojen standardisointi.

Yhteistyörobotin standardit ovat ISO 10218-1, ISO 10218-2 ja ISO/TS 15066:2016, missä yhteistyöroboteille määritellään toimintatyypit ja perusvaatimukset. Yhteistyörobottien tulee noudattaa Euroopan Unionin konedirektiiviä 2006/42/EC työkoneiden turvallisuudesta, ilman tätä yhteistyörobotit eivät ole standardien mukaisia. Standardit kuten ISO 10218-1 ja -2 määrittelevät yleisellä tasolla yhteistyörobottien eri yhteistyön muotoja ja niiden määritelmiä, ja ISO/TS 15066:2016 määrittelee tarkemmin, kuinka robottien käytännöntoteutus ja riskiarviot pitäisi toteuttaa. Esimerkiksi ISO/TS 15066:2016 sisältää biomekaaniset kuormat, eli ihmiseen kohdistuvat kuormat, voima ja vääntö kuormat, eli ettei robotti aiheuta puristus varaa ihmiselle, etäisyys ja nopeus valvonta ja valvottupysäytys ja kasinohjaus rajoitukset. Suomessa robotiikan standardisoinnista vastaa METSTA.

/10/

6 TYÖKALUT JA OHJELMISTOT

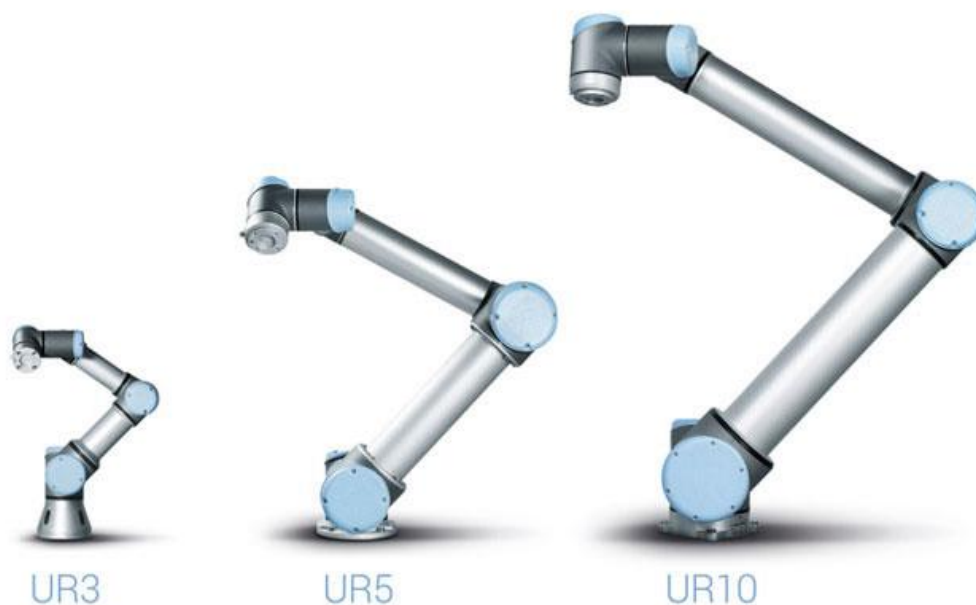
6.1 UR10 Robot

Universal Robots on alansa markkinajohtaja, ja on ollut mukana yhteistyörobotiikassa alusta alkaen. Universal Robotsin tuote valikoimasta löytyvät mallit UR3, UR5 ja UR10, jotka määräytyvät sen hyötykuorman mukaan, eli esimerkiksi UR10 pystyy käsittelemään 10kg kuormaa. Yhtiö on Tanskalainen ja myös siellä sijaitsee heidän pääkonttorinsa. Heillä on myös paljon toimintaa ulkomailla, tytäryhtiöitä ja alueellisia toimistoja sijaistee esimerkiksi Espanjassa, Saksassa, Yhdysvalloissa, Singaporessa, Intiassa, Etelä-koreassa ja muissa maissa.

UR-robotit on kehitetty erityisesti pienille ja keskisuurille yrityksille, jotka tarvitsevat investoinnin nopeaa takaisinmaksua ja joustavaa automaatiota. UR-robotti on erittäin helppo ohjelmoida ja se voidaan tehdä nopeasti, tämän mahdollistaa käyttäjäystävällinen kosketusnäyttöllinen käsiohjain. Se on myös helppo integroida erilaisiin tuotantoympäristöihin. Sillä on kuusiakseliset robottikäsivarret ja ne on suunniteltu jäljittelemään ihmisen käsivarren liikkeitä. /11/

UR Robottien edut:

- Helppo ohjelmointi
- Nopea käyttöönotto
- joustava käyttö
- Yhteistoiminallinen ja turvallinen.



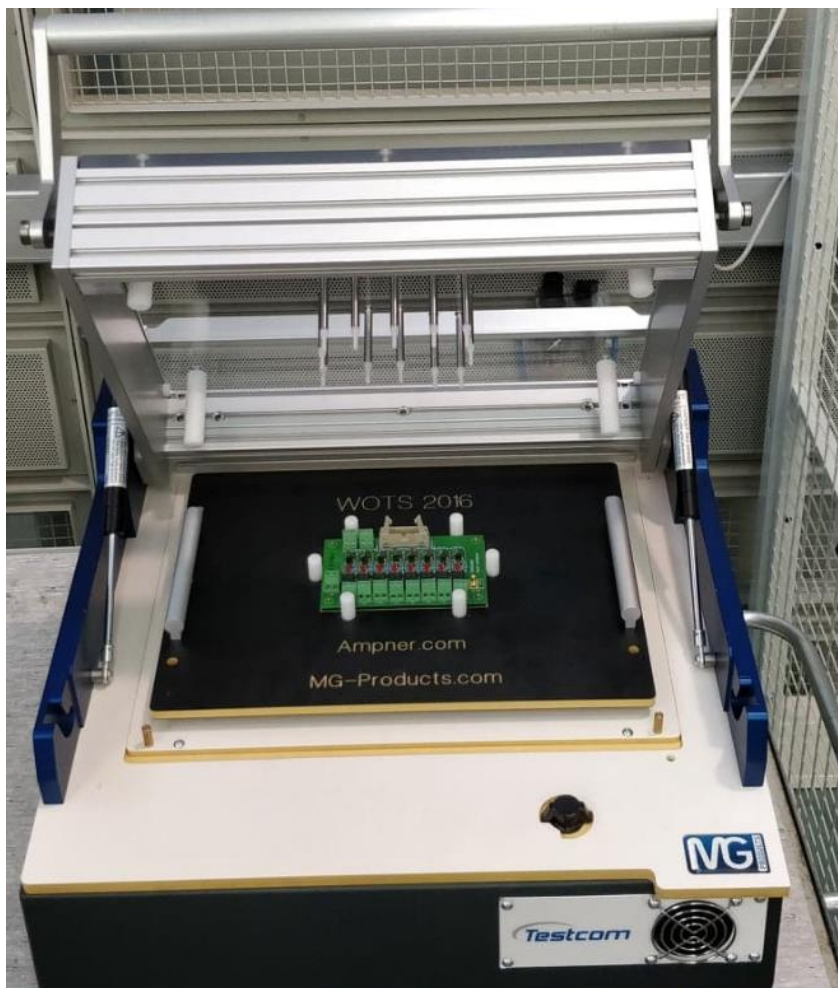
Kuva 4. Universal Robotti mallit.

6.2 Robotiq 85 kaksisorminen tarttuja

Kanadalainen yritys joka valmistaa tarttuja, voima – ja vääntömomenttiantureita ja 2D-konenäköantureita. Robotiq on tehty yhteensopiviksi UR-robottien kanssa. Tarttujat on helppo asentaa ja käyttää. Mahdollistaa joustavuuden erilaisten koneiden käyttöön, hitsaukseen, kokoonpanoon, pakkaukseen, kappalesiirtoon ja poimintaan. 2-sormitarttuja on hyvä valinta poimintaan ja asennukseen, konepalveluun, kokoonpanoon ja laadunvalvontaan. Robotiqilla on kaksi erikokoista mallia joiden sormien avautumisleveys on (85mm ja 140mm), kuten meidän projektissa on 85mm. /12/

6.3 Test Fixture ja piirilevy

Modernin elektroniikan nykyiset standardit edellyttävät, että on tärkeää taata korkealaatuinen ja tarkka sähköntestaus. Tämä edellyttää luotettavaa sähköliitännää testauslaitteiden ja testattavan tuotteen (UUT) välillä. MG Products on kehittänyt sarjan lineaarisia testisovittimia erityisesti tähän tarkoitukseen. Testisovittimen luotettavuus ja tarkkuus määritellään voimakkaasti mekaanisella rakenteella. /13/



Kuva 5. Testausyksikkö eli Test Fixture ja piirikortti.

6.4 Visual Components 4.1

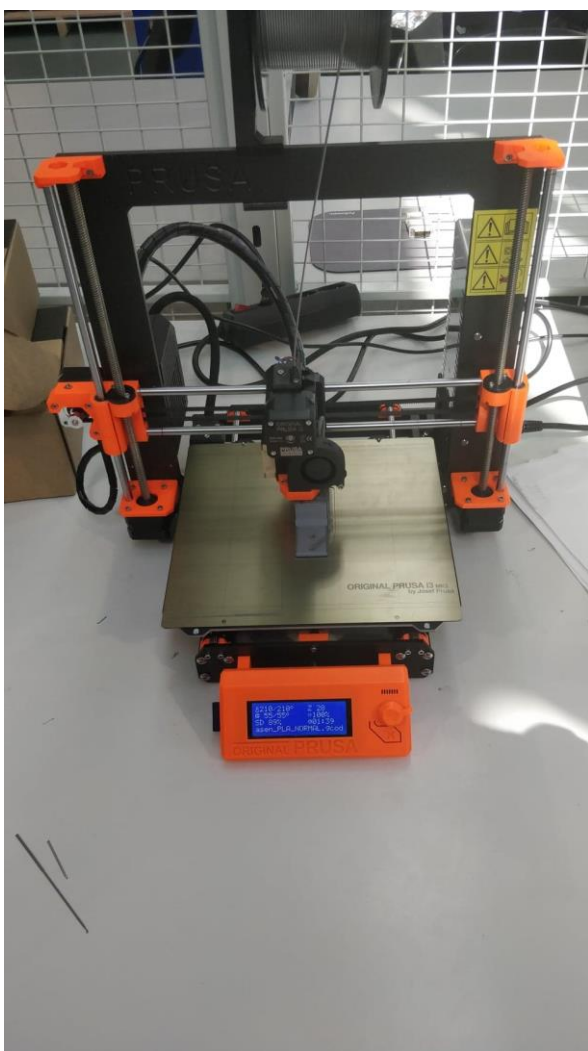
Visual Components on markkinajohtaja 3D-tuotannonsimulaatio ohjelmistojen luomisessa ja niiden ratkaisussa. Tämä soveltuu erityisesti robotiikkaan ja tuotantosuojien layoutien luomiseen.

6.5 Siemens NX 10

NX on 3D-suunnitteluohjelmisto tuotekehityksen, suunnittelun ja valmistuksen tarpeisiin. Kyseistä ohjelmaa käytetään ahkerasti esimerkiksi autoteollisuudessa ja konepajateollisuudessa.

6.6 3D-tulostin Prusa i3

Prusa i3 on 3D-tulostin, jolla on avoin lähdekoodi. Osana RepRap-projektia, se on maailman eniten käytetty 3D-tulostin. Prusa i3 on suunnitellut Josef Prusa vuonna 2012, kun Prusa i3 MK2 julkaistiin vuonna 2016 ja MK2S julkaistiin vuonna 2017.



Kuva 6. Prusa i3 3D-tulostin.

7 PROJEKTIN TOTEUTUS

Projekti aloitettiin vierailemalla Ampner Oy:n tiloissa Vaasassa. Tutustuimme toisiimme, kävimme läpi työn vaatimukset, laitteistot, käyttötarkoituksen ja laadimme suunnitelman. Itse työ alkoi tutustumalla UR10-robotin ominaisuuksien selvitykseen ja ohjelmointiin. Robotin tultua tutuksi harjoittelin käyttämään Visual Components 4.1 ohjelmistoa, jolla ohjelmoitiin kokoonpanon simulaation. Seuraavaksi suunnittelin tarttujaan tarpeelliset uudet leuat NX10-ohjelmistolla ja ne 3D-tulostettiin. Viimeisenä ohjelmoin robotilla kokoonpano-ohjelman, suunnittelin testauslaitteelle turvalliset vaihtoehdot ja selvitin kuinka laitteistot kommunikoivat keskenään. Projektin toteutuksen työvaiheet käydään läpi tarkemmin alaotsikoissa.

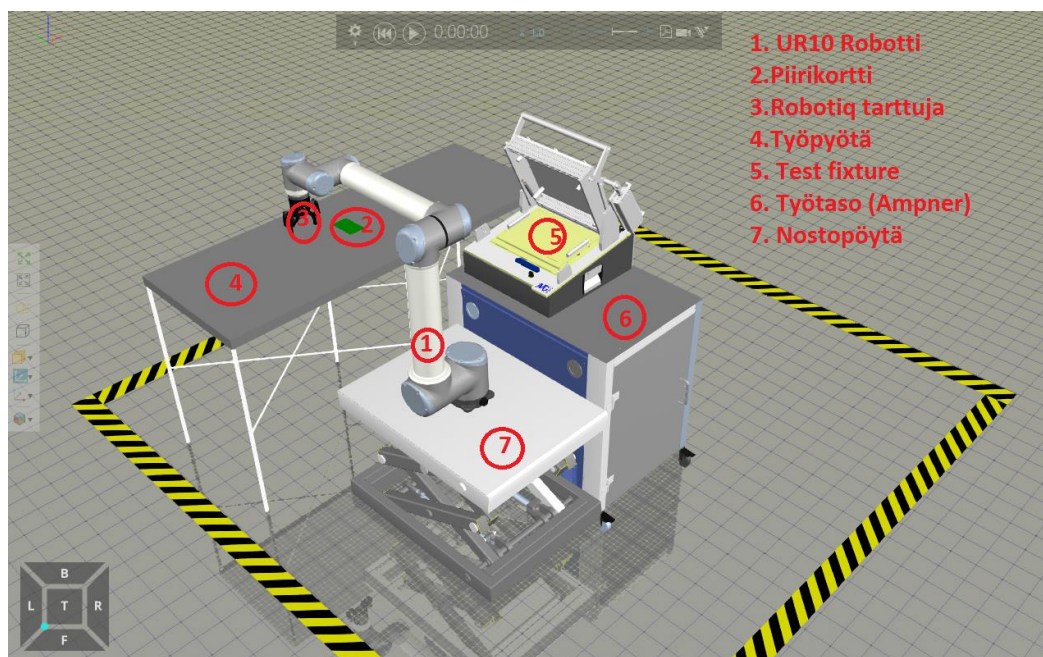
7.1 Yhteistyörobottiin tutustuminen

Kun työ käynnistettiin, ensimmäinen tehtävä oli syventyä UR10-robotin toimintaan, tutkin sen käyttömahdollisuuksia, työkaluja, nostokykyä ja liikkuvuutta. Universal Robots sivustolla oli mahdollista osallistua ilmaiseen Universal Robots Academyyn, jossa sai ilmaiseksi katsoa opetusvideoita ja harjoitella robotin käyttöä. Perusteet hallittuani aloin liikuttelemaan ja ohjelmoimaan robottia käsiohjauksella ja ohjausyksiköllä.

7.2 Visual Components 4.1

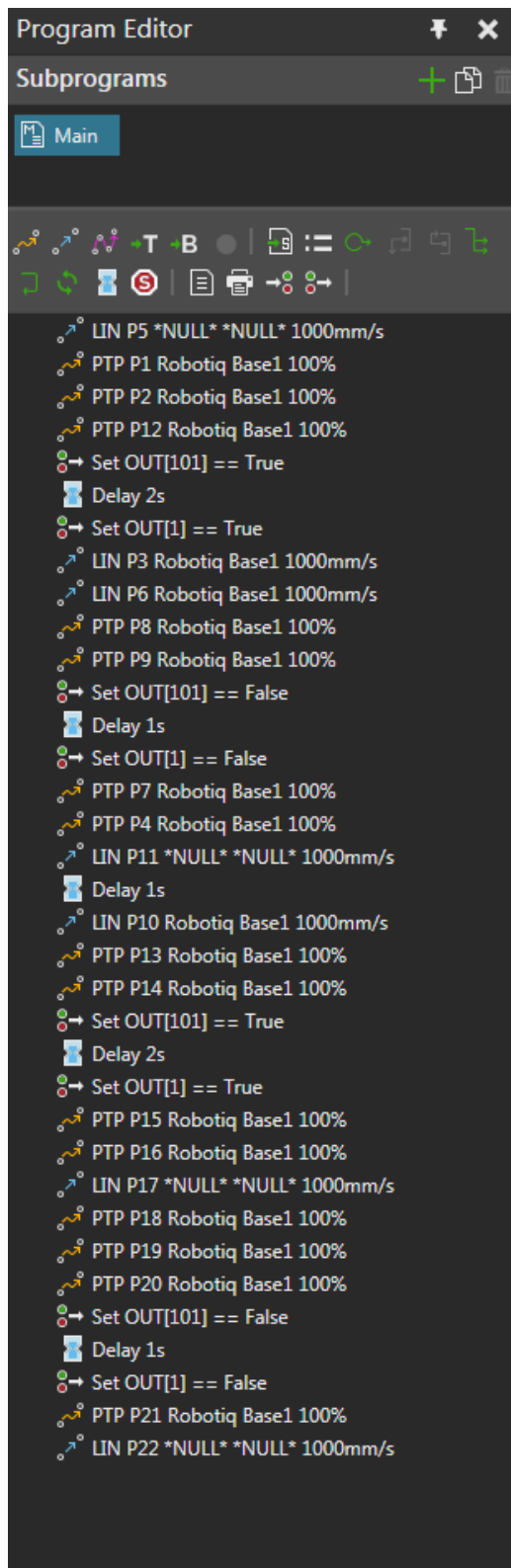
Visual component ohjelmalla oli tarkoitus simuloida kokoonpanon työvaihe, että kyseistä työtä voitaisiin tarkkailla 3D-maailmassa. Tällä pystyttiin hahmottamaan työympäristöä, työvaiheita, robotin ominaisuuksia, työkalutarttujan ominaisuuksia ja nopeuttaa työtä testaamalla eri simulaatiomalleja. Ohjelma oli minulle täysin

uusi, joten opetusvideoista oli suuri apu, mutta itse harjoittelemalla oppi parhaiten.



Kuva 7. Visual component ohjelmaan tuodut osat ja laitteistot.

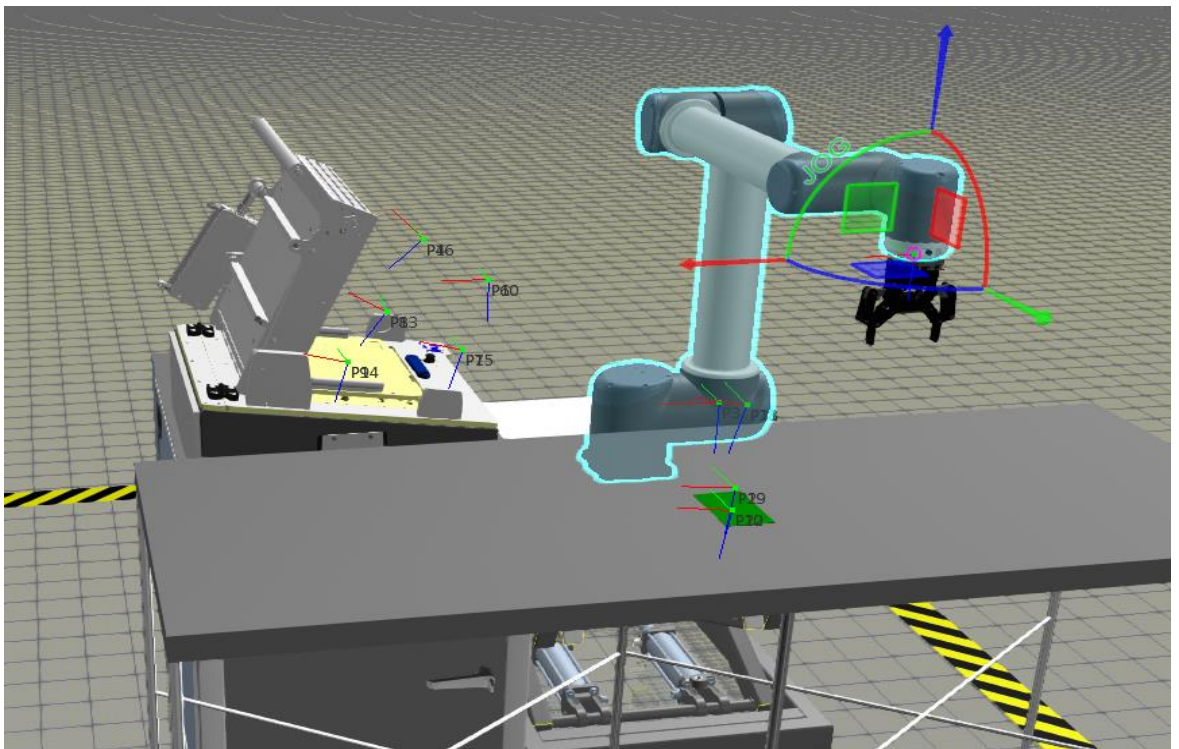
Yllä olevasta kuvasta näkyy ohjelmaan tuodut osat ja laitteet. UR10-robotti saatiin liitettyä Visual Componentsiin sen omasta kirjastosta. Piirikortti mallinnettiin NX-ohjelmistolla ja tuotiin Visual Components ohjelmaan oikeassa tiedosto muodossa. Robotiq tarttuja löytyi myös kirjastosta niin kuin työpöytäkin. Test Fixture eli testauslaitteen mallinnukset saatiin Ampnerilta, myös työtaso saatiin kyseiseltä yrityk-seltä. Robotin pöytänä käytettiin säädettävää nostopöytää, jota en kuitenkaan ole itse mallintanut. Osat ja työkalut olivat hyvä olla oikeita mallinnuksia laitteista ja kappaleista, että simulaatio olisi mahdollisimman realistinen.



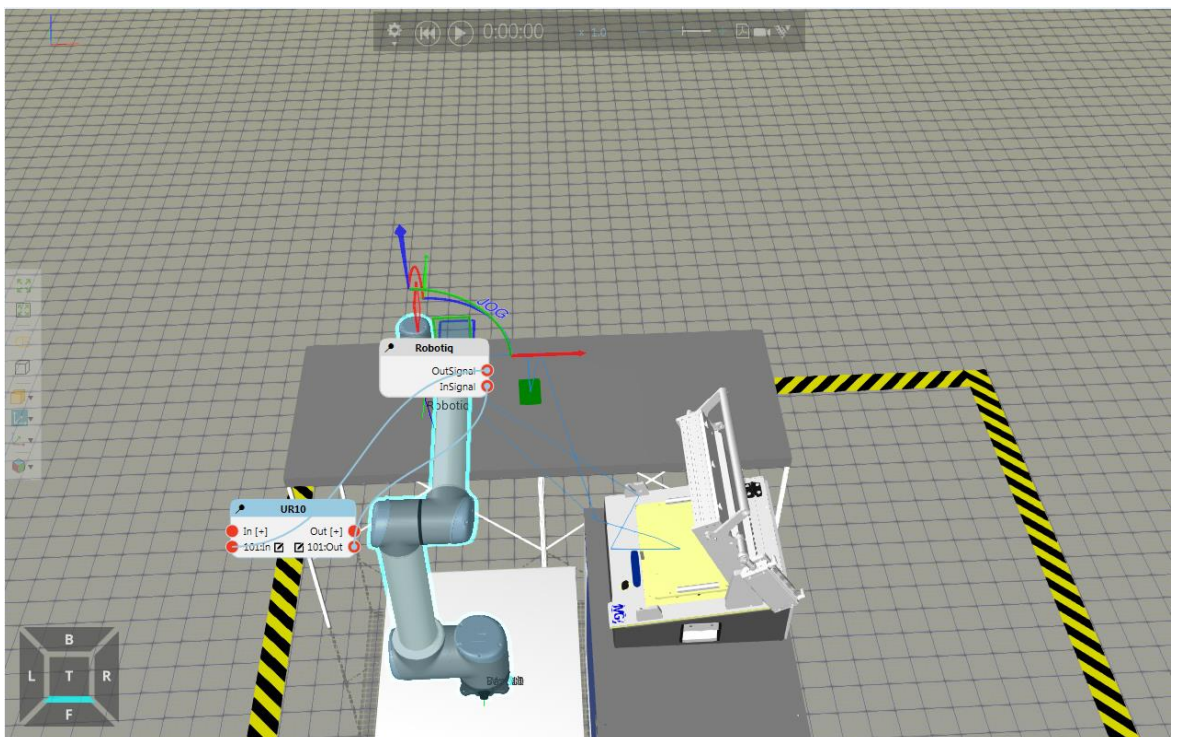
Kuva 8. Visual components ohjelma.

Ohjelma luotiin mahdollisimman turvalliseksi, mutta kuitenkin tehokkaaksi ja nopeaksi ohjelmaksi. Ohjelmassa on paljon paikoituspisteitä juuri tämän takia. Itse ohjelma kestää noin 16 sekuntia. Ohjelman kulku:

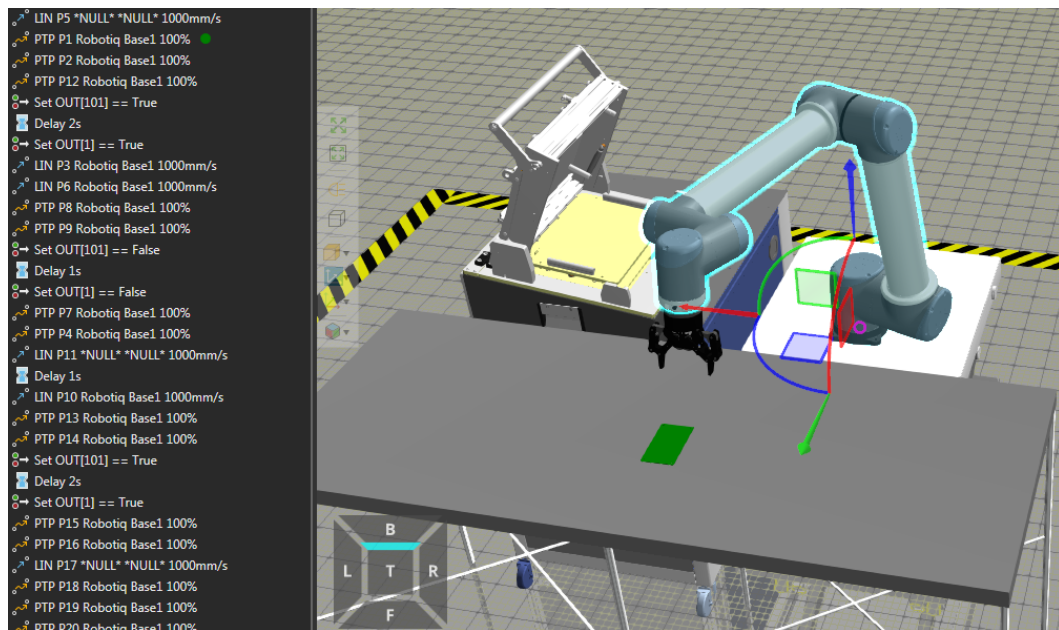
- Ohjelma lähtee liikkeelle kotipisteestä, jotka ohjelmassa ovat pisteet P5,P11,P17 ja P22. Robotti lähestyy piirilevyä ja lähestymispisteet ovat P1,P2,P12.
- Kun tarttuja on lähellä piirilevyä, robotti pysähtyy, odottaa että tarttuja sulkeutuu ja kiinnittää piirilevyn tarttujaan. Tarttuja sulkeutuu komennolla Set OUT[101]==True. Tarttujan grab eli tartunta komento tapahtuu komennolla SET OUT[1]==True. Näiden komentojen välissä on komento Delay, jossa ohjelma odottaa, että tarttujan leuat sulkeutuvat kappaleeseen kiinni.
- Kun piirilevy on tarttujassa kiinni, robotti kuljettaa sen testilaitteelle pisteiden P3,P6,P8,P9 kautta.
- Robotti asettaa piirilevyn oikealla pisteelle testilaitteelle ja vapauttaa tarttujan piirilevystä avaamalla tarttujan leuat komennolla Set OUT[101]==False ja release eli kappaleen vapautus komennolla SET OUT[1]==False. Myös näiden komentojen välissä on komento Delay.
- Robotti palaa kotipisteeseen pisteiden P7 ja P4 kautta ja odottaa, että kortti on latautunut.
- Kortin latauduttua robotti hakee kortin testilaitteelta samojen aiempien pisteiden kautta, jotka tosin ohjelmassa ovat eri pistenumeroilla, ja suorittaa samat tartunta ja vapautus komennot kuin aiemmin, ja lopulta vie piirikortin määrättyyn kotipisteeseen.



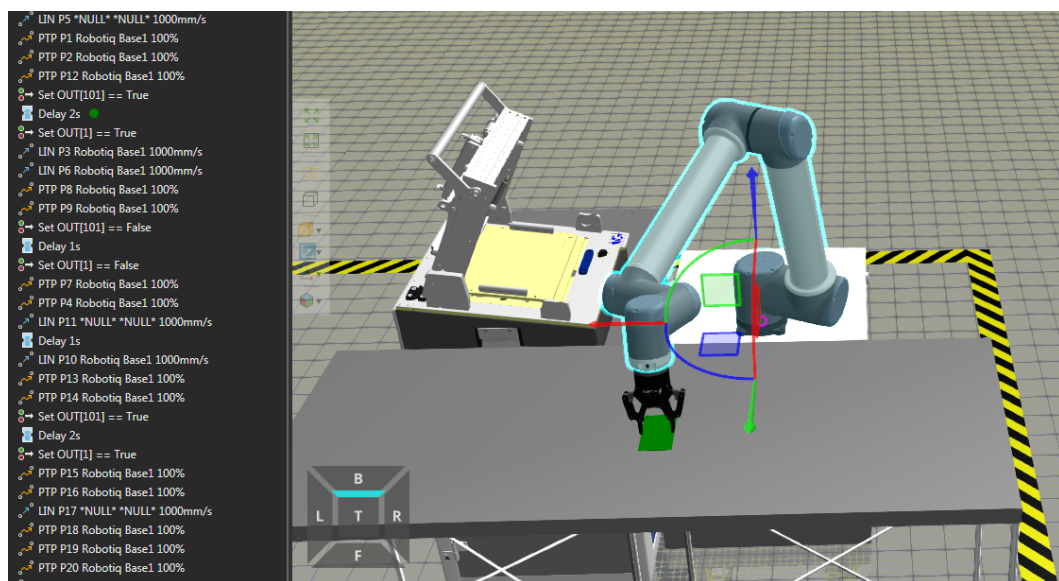
Kuva 9. Paikotuspisteet ja kotipiste solussa.



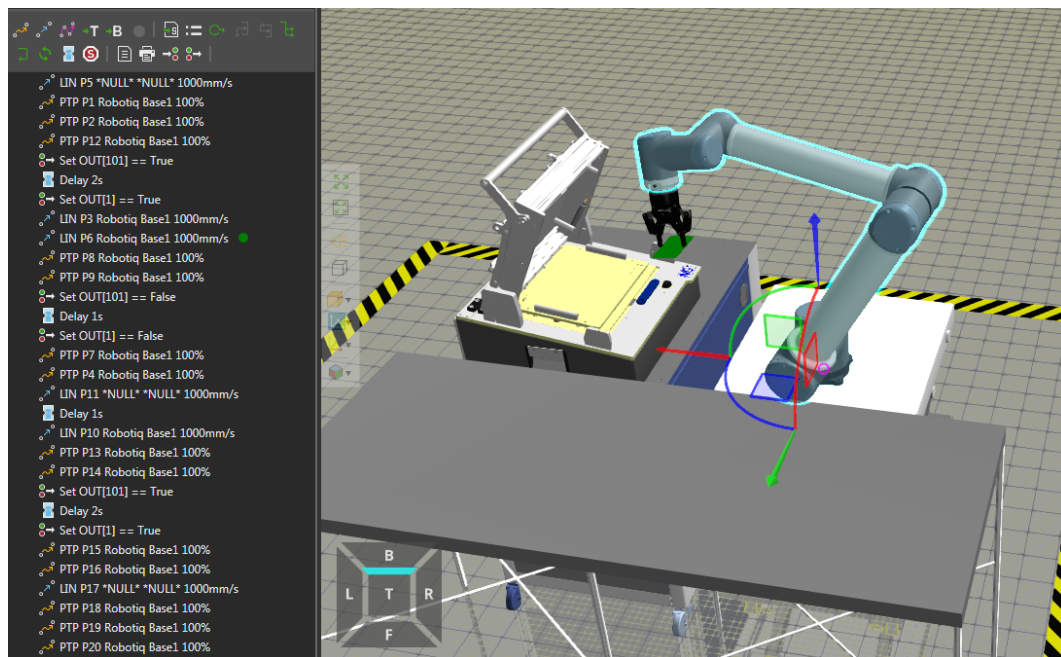
Kuva 10. Signaalit tarttujan ja robotin välillä, kuvassa myös robotin kierto merkitty viivoilla.



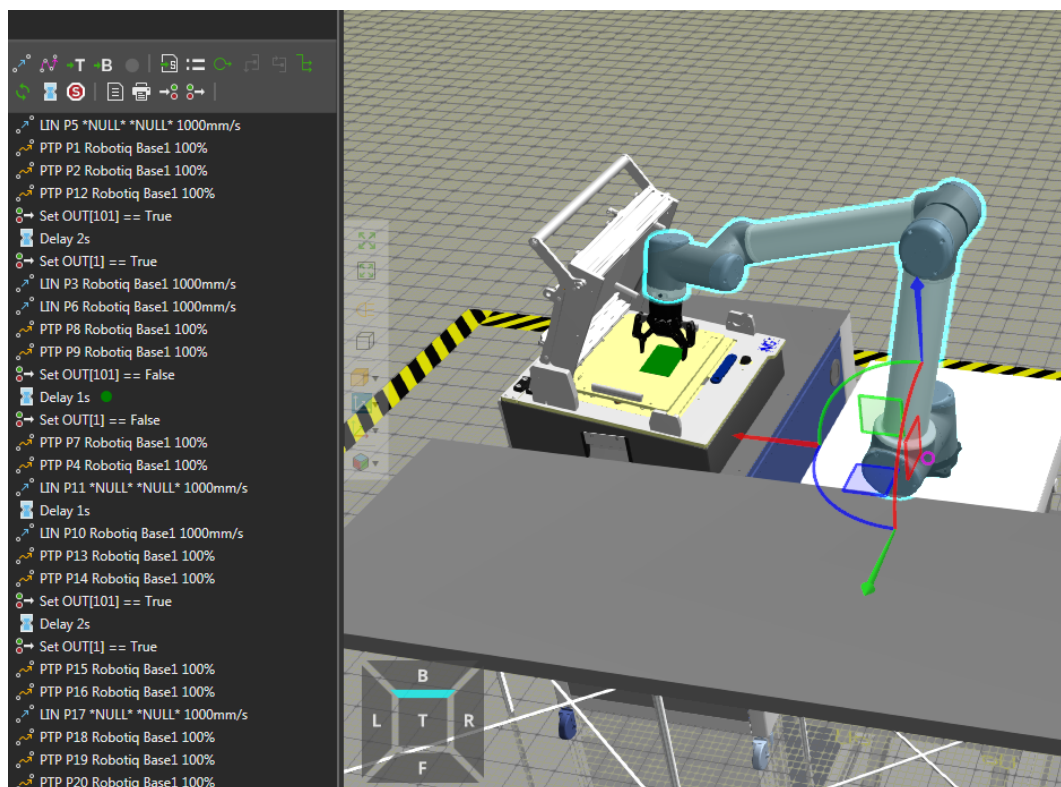
Kuva 11. Robotti lähestyy piirikorttia.



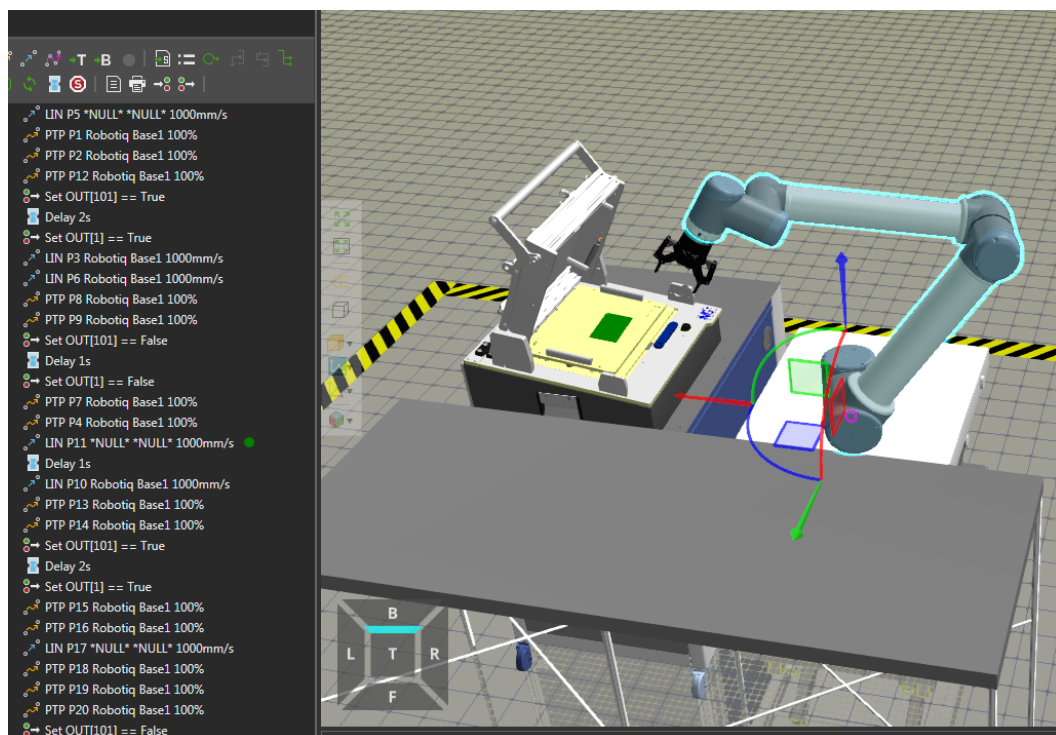
Kuva 12. Robotti poimii piirkortin.



Kuva 13. Kortin vienti testilaitteelle.



Kuva 14. Kortti viety testilaitteelle ja tarttujan avaus.



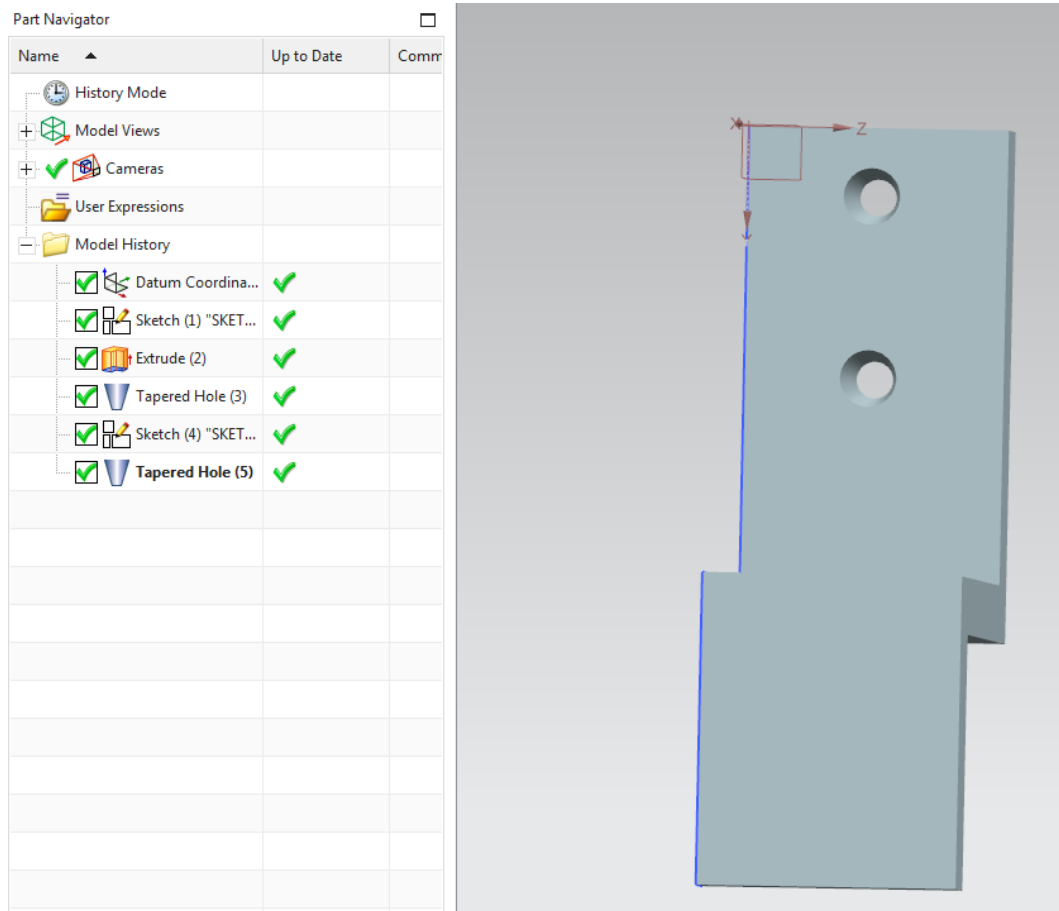
Kuva 15. Robotin paluu kotipisteeseen odottamaan kortin latausta.

7.3 Siemens NX10

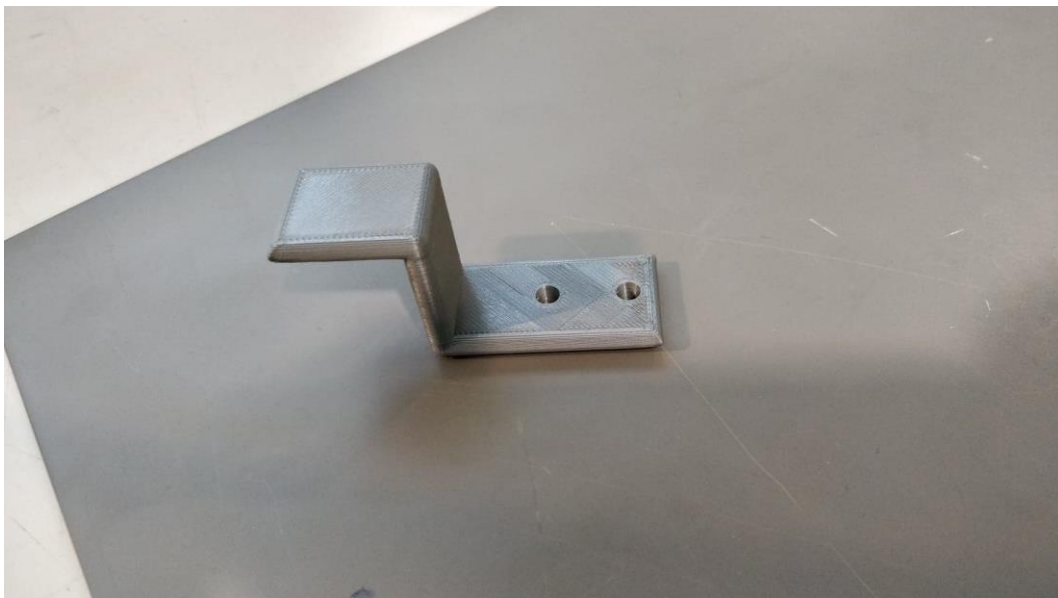
Käytössämme oli Robotiq 85 2-Sorainen tarttuja, mutta kyseinen tarttuja ei auenut tarvittavasti emmekä tällä pystyneet suorittamaan vaadittua kokoonpanotyötä, joten ratkaisuksi jäi mallintaa lisäpalat kyseiselle tarttujalle. Tarttujan lisäpalojen suunnittelussa oli otettava huomioon piirikortin leveys, pituus, paikoitus, testilaitteen paikoitus tapit ja piirikortilla olevat komponentit. Mitoitus täytyä olla tarkkaa, koska työskentely tapahtui erittäin ahtaassa tilassa. Tarttujaa suunniteltaessa tuli ottaa huomioon käsiteltävän kappaleen kokoa, muotoa ja pintaa.



Kuva 16. Punaiset nuolet osoittavat mistä kohtaa piirikorttia oli tarkoitus tarttujalla tarttua.

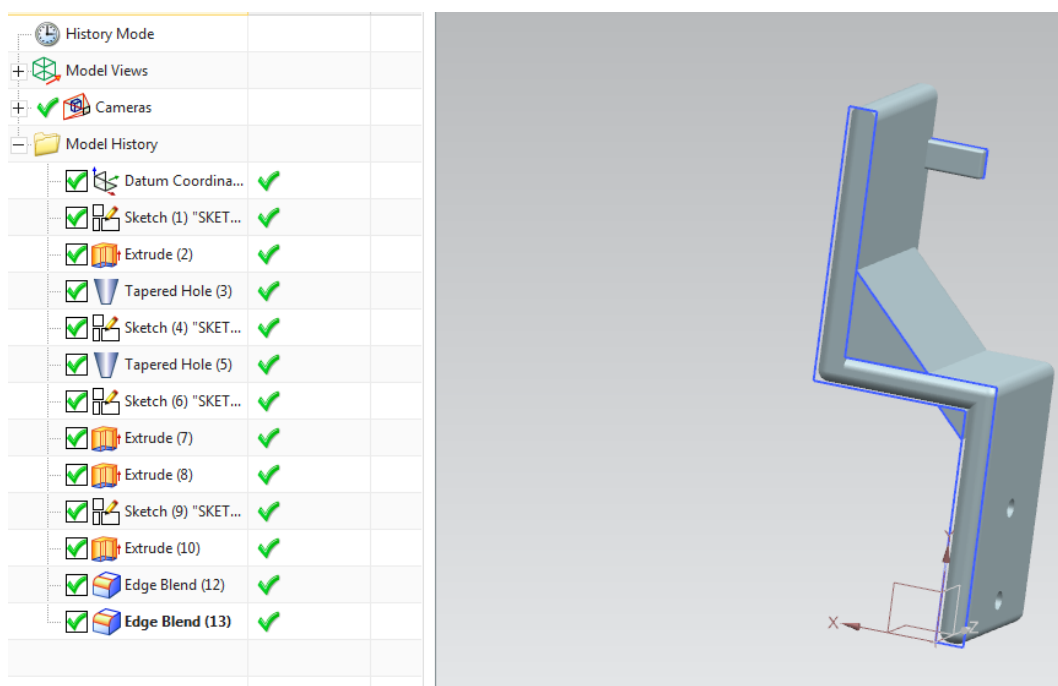


Kuva 17. Ensimmäinen mallinnus tarttujan lisäpaloista.



Kuva 18. Mallinnettu kappale 3D-tulostettuna.

Ensimmäinen mallinnettu kappale kuitenkin osoittautui puutteelliseksi ja tälläkään kertaa emme onnistuneet ohjelmoimaan kokoonpanoa. Seuraavan mallin tuli olla pidempi, tukevampi ja tarttujien kärkiin tuli asentaa tukipalat, jotka auttavat nostamaan piirilevyä testausalustalta. Mallinnuksessa tuli myös huomioida, että tarttujan sormet ovat alempana kuin robotin varsi, ettei robotin varsi törmää testilaitteistoon.



Kuva 19. Uusi malli tarvittavilla lisäyksillä.

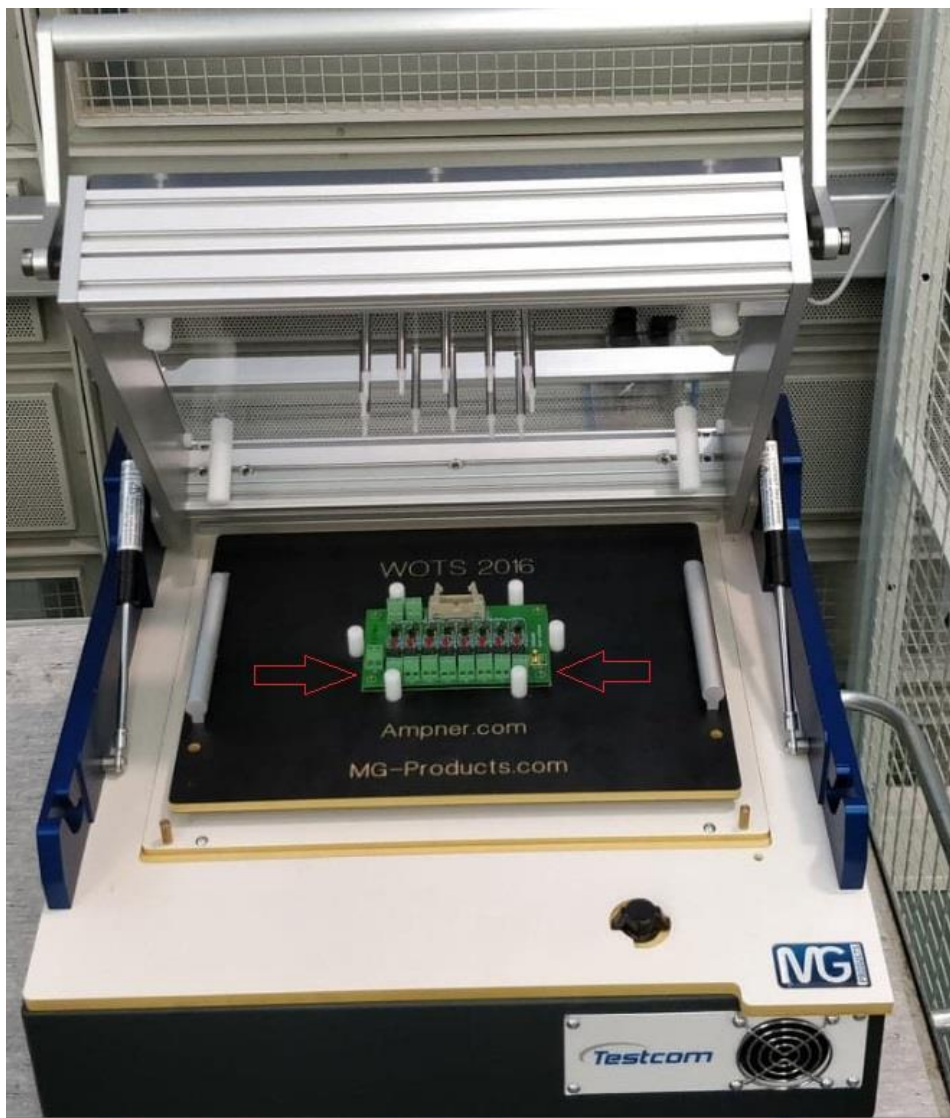


Kuva 20. Uusi malli 3D-tulostettuna ja kiinni tarttujassa.

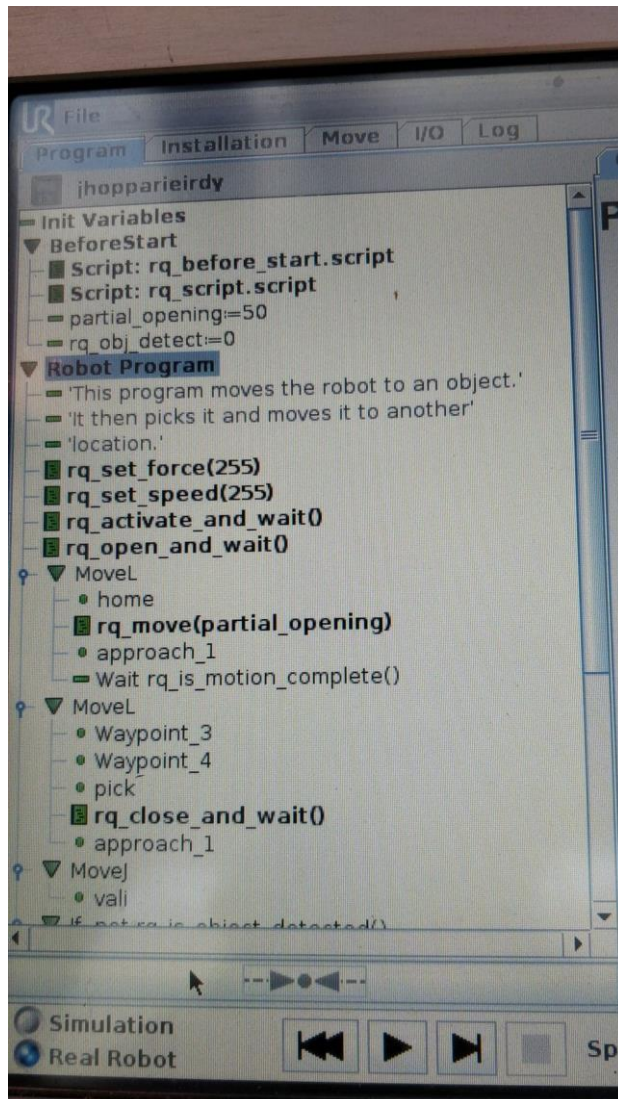
Uudella tarttujalla kokoonpano onnistui, mutta haasteita silti oli ahtaiden tilojen takia. Lisäpalat kiinnitettiin tarttujaan neljällä kuusikantapultilla ja neljällä mutterilla. Lisäpalojen päihin, eli kohta joka on kosketuksessa piirilevyn kanssa, niille oli asennettava uudenlainen pinta, että piirilevystä saataisiin pitävämpi ote.

7.4 Robotin ohjelmointi

Projektin alussa tutustuttiin robottiin ja harjoiteltiin sen ominaisuuksia ja työkaluja. Kun robotti oli tullut enemmän tutuksi aloitin kurssin Universal Robotsin omilla sivuistoilla, joka antoi minulle hyvät lähtökohdat robotin ominaisuuksiin ja ohjelman luomiseen. Ensimmäisenä tein vain lyhyitä ja yksikertaisia ohjelmia, jonka jälkeen aloin suunnittelemaan itse kokoonpano-ohjelmaa, joka lopulta osoittautui varsin haastavaksi. Haastavaksi sen teki robotin liikuteltavuus testauslaitteen sisällä, se oli hyvin rajoitettua. Pystysuunnassa piirikorttia ei laitteelle voinut tuoda, sillä testauslaitteen kansi olisi vahingoittunut. Useiden testausten jälkeen päädyttiin, että robotti tuo piirkortin vaakatasolla ja arvoitiin paras mahdollinen tarttumiskohta, joka oli myös erittäin haasteellista johtuen erilaisten tukipalkkien paikoituksista testauslaitteella. (Kuvasta 21.) voimme nähdä kuinka pieni tila on robotilla käytössä. Punaisella nuolella on merkitty robotin tarttujan kiinnityskohta.



Kuva 21. Testauslaite ja nuolet kertovat tarttumispisteet.



Kuva 22. Luotu robottiohjelma.

Ensimmäisenä ohjelmassa on luotu Script, jolle oli määritelty tarttujan osittainen avaus ja kappaleen tunnistus tarttujassa, komennot

- Script: rq_before_start_script
- Script: rq_Script_script
- Partial_opening:=
- Rq_obj_detect

Tämä toiminto on erittäin hyödyllinen ja mahdollistaa osan tai koko ohjelman muokkaamisen toiselle tietokoneelle robotin ollessa käynnissä.

Tätä toimintoa voidaan käyttää laajasti ohjelmoinnissa, mutta myös on mahdollista hallita muuttujia, syöttö / lähdöntiloja ja erityisesti ajastimia eli esimerkiksi viiveitä. Tämä tekee ohjelmoinnista erittäin helppoa eli ohjelmapuu on ohjelman ydin, kun taas asioita, jotka voivat muuttua, kuten muuttujat, I/O ja ajastimet eli viiveet, säilytetään erillisissä lohkoissa. Tällä tavoin säädöt ja muutokset voidaan tehdä eri lohkoissa, ilman että tarvitsi muuttaa ohjelmapuuta eli ”robot programmia”

Robotin ohjelma alkaa viestillä joka kertoo mitä robotti tekee, eli robotti hakee kappaleen ja asettaa sen tiettyyn pisteeseen. Samoin myös noutaa sen ja asettaa annettuun pisteeseen.

Robotin tarttujalle on määritelty tietyjä arvoja kuten tarttujan voima, nopeus ja auki, kiinni, odotus komento ja onko tarttuja tunnistaa onko se tarttujassa kiinni, nämä komennot ovat:

- `rq_set_force` - voima
- `rq_set_speed` - nopeus
- `rq_active_and_wait()` – Kappaleen tunnistus ja odotus
- `Rq_open_and wait()` – Tarttujan avaus ja odotus.

Seuraavaksi ohjelmassa robotti alkaa liikkua, eli robotti lähtee lineaariliikkeellä koptipisteestä kohti annettua seuraavaa pistettä, välissä on tarttujan osittainen avaus ja komennon odotus, tämä tapahtuu seuraavanlaisesti:

- `MoveL` – Lineaariliike
- `Rq_move(partial_opening)` – Tarttujan avaus
- `Approach_1` – Toinen määritelty piste minne robotti ajaa seuraavaksi.
- `Wait rq_is_motion_complete()` Varmistetaan viivellä, että tarttuja kerkeää avautua.

Tämän jälkeen robotti lähestyy piirikorttia lineaariliikkeillä ja kun robotti on oikeassa pisteessä ja valmiina tarttumaan piirikorttiin, tarttuja sulkeutuu ja tarttuu piirilevyyn.

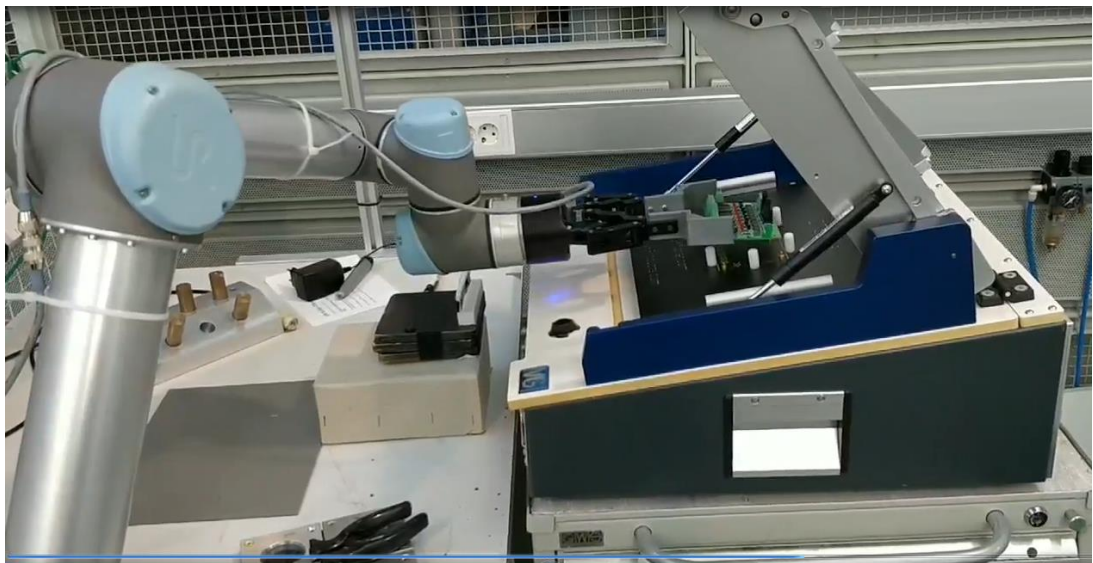
- Move L – Liikkeet lineaarisesti
- Waypoint ja pick – Määritellyt pisteet
- Rq_close_and_wait() – Tarttujan sulkeminen



Kuva 23. Tarttuja tarttuu kappaleesta.

Kun robotti on tarttunut kappaleesta se lähtee joint liikkeellä kohti testilaitetta paikoituspisteitä käyttäen ja tarttujan sensori havaitsee onko kappale kiinni siinä, jos ei, niin ohjelma pysähtyy. Tämän jälkeen oikeassa paikassa robotin tarttuja aukee, piirilevy asettuu oikealle paikalle ja robotti palaa kotipisteeseen odottamaan, että piirikortti on latautunut.

- MoveJ- Joint liike
- Vali-Paikoituspiste
- If not_rq_is_object_detected() - Jos kappale ole kiinni, ohjelma pysähtyy
- Halt – Ohjelman pysäytys
- rq_open_and_wait() – Tarttuja avautuu ja piirilevy asettuu paikoilleen
- MoveJ loppupiste – Robotti palaa kotipisteeseen odottamaan kortin latautumista.



Kuva 24. Kortin asettaminen testilaitteelle.

Ohjelman valmistuttua ja kun piirikortti on latautunut, robotti hakee kortinsamoilla komennoilla ja vie sen määriteltyyn pisteeseen.

7.5 I/O-laitteistojen välillä ja turvallisuus

Työn laitteet kuten robotti, sensorit, ja testauslaite on saatava kommunikoimaan keskenään ja tekemään se turvallisesti, UR10-robotti on tehnyt tämän helpoksi. Käymme läpi mahdolliset liitännät laitteiden välillä ja kuinka ne saadaan toimimaan ohjelmistossa.

Universal-robotti on ihanteellinen käytettäväksi pienessä solussa automaatiota varten, koska robottiohjelmointiympäristön lisäksi ohjaus sisältää myös tulot ja lähdöt, jotka on myös helppo ohjelmoida UR10-robotin ohjausyksiköllä.

Robotissa on vakiona 8 digitaalista sisääntuloa ja 8 digitaalista ulostuloa ohjauskortilla kaappiin sekä 2 analogista tuloa ja 2 analogista lähtöä kaapin sisällä. Lisäksi robotilla on kaksi digitaalituloa ja kaksi digitaalista ulostuloa sekä kaksi analogista tuloa työkalupästä itsessään. Tämä on erittäin kätevää, koska näiden liitännöiden kaapelointi on reititetty robottien sisällä ja siksi ulkoisille kaapeleille ei tarvita näitä

liitäntöjä. Tämä tarkoittaa sitä, että ulkoiset laitteet, jotka on liitetty näihin I/O-liitäntöihin, kuten kuljetushihnat tai toimilaitteet, näitä voidaan ohjata ja ohjelmoida robotilla.

Jos I/O-liitäntäporttien lukumäärä ohjauskortissa ja työkalupäässä ei riitä, on mahdollista laajentaa asentamalla ulkoiset MODBUS-solmut. Ne on kytketty UR-ohjaimen Ethernetin kautta ja UR-ohjaimen ohjelmointimenetelmä on valmis lukemaan ja asettamaan nämä ulkoiset I/O-signaalit, koska ne olivat osa integroitua ohjainta. Esimerkki Modbus-konfiguraatiosta BK 9050, KL 1408, KL 2408 ja KL 9010 Modbus-moduuleilla:

- BK 9050 = Modbus-ohjain Ethernet-portilla IP-konfigurointiin.
- KL 1408 = Modbus 8 -porttimoduuli.
- KL 2408 = Modbus 8 -porttimoduuli
- KL 9010 = Modbus End terminaattori

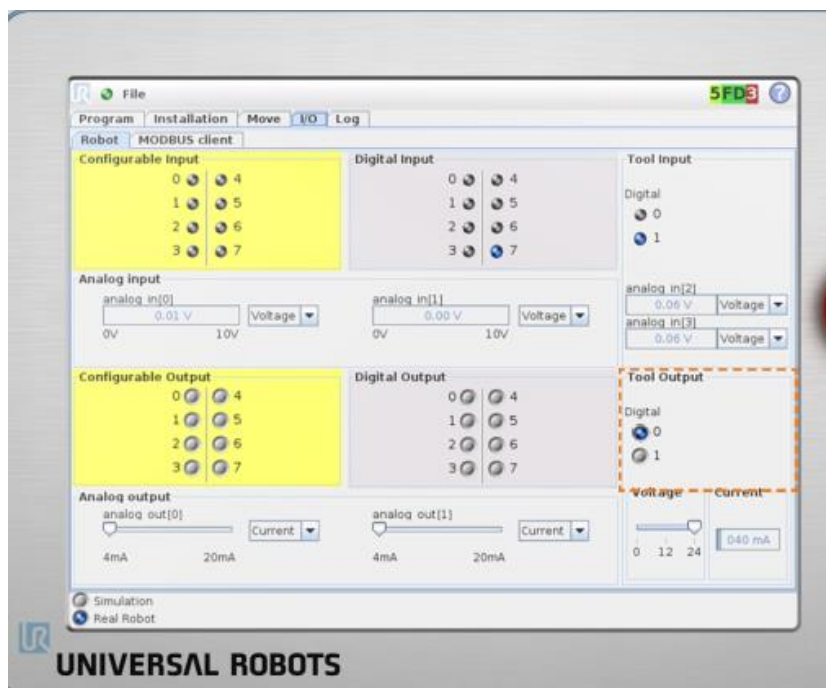
Modbus-solmun IP-osoite on määritettävä Robot-kokoonpanossa.

"Potentiaalivapaan" signaalinvaihdon menetelmä on erittäin kätevä, koska ei haittaa, jos yksi kone on 12 voltin ja toinen 24 voltin - havaitsemme vain, kun kontakti laitteiden välillä on auki ja kiinni, tarvitsemme vain oman koneen signaalit ja virrat. Tämä Potentiaalivapaan kättelyn, eli laitteiden kommunikointi periaatteelle, on myös suositeltavaa, että käytettäisiin normaali käynnistys- ja käyntisignaaleita eli testauslaitteen käynnistyssignaalin pitäisi olla vain kuiva kosketus, jota ohjaa releen lähtö robotilla. Ja tyhjän signaalin pitäisi olla vain kuiva kosketus (Releen ohjauksella testauslaitteella). Tämä "Potentiaalivapaa" signaalinvaihto ja molempien koneiden virtalähteet eivät ole ollenkaan liitettyinä, mutta silti on kättelyä kuivan yhteyden kautta.



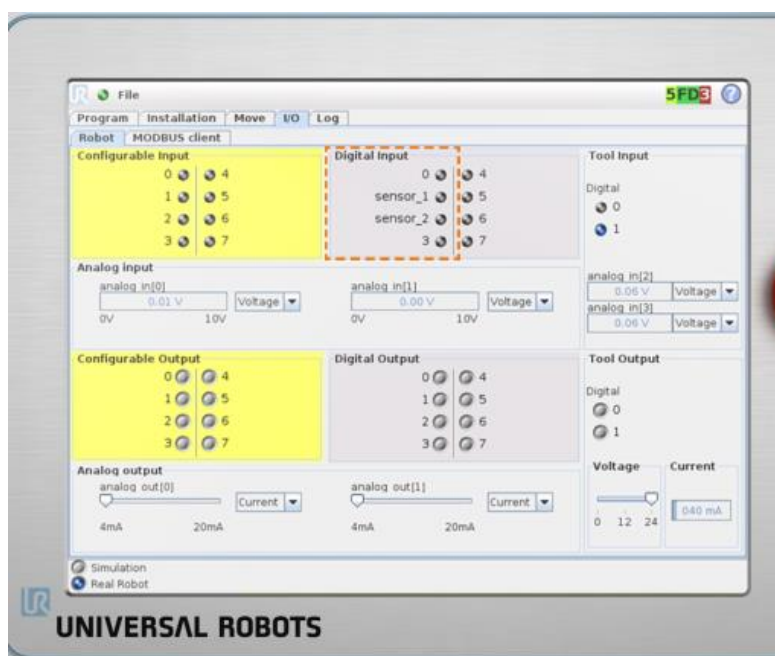
Kuva 25. Ohjausyksikkö, jossa sensorien johdotus.

Ohjausyksikköön voidaan liittää apulaitteet, kuten esimerkiksi sensorit. Harmaalla olevat liittimet ovat digitaalisia signaaleja varten, keltaiset hätäpysäytyksiä varten ja vihreä on analogista signaalia varten, oikeassa reunassa on paikka ethernet-kaapelille ja usb-porteille.



Kuva 26. Ohjelmointi laitteen I/O.

Kuvassa oranssissa laatikossa näimme tarttujan digitaaliset lähdöt, eli 0 tarttuja on auki ja 1 tarttuja sulkeutuu.



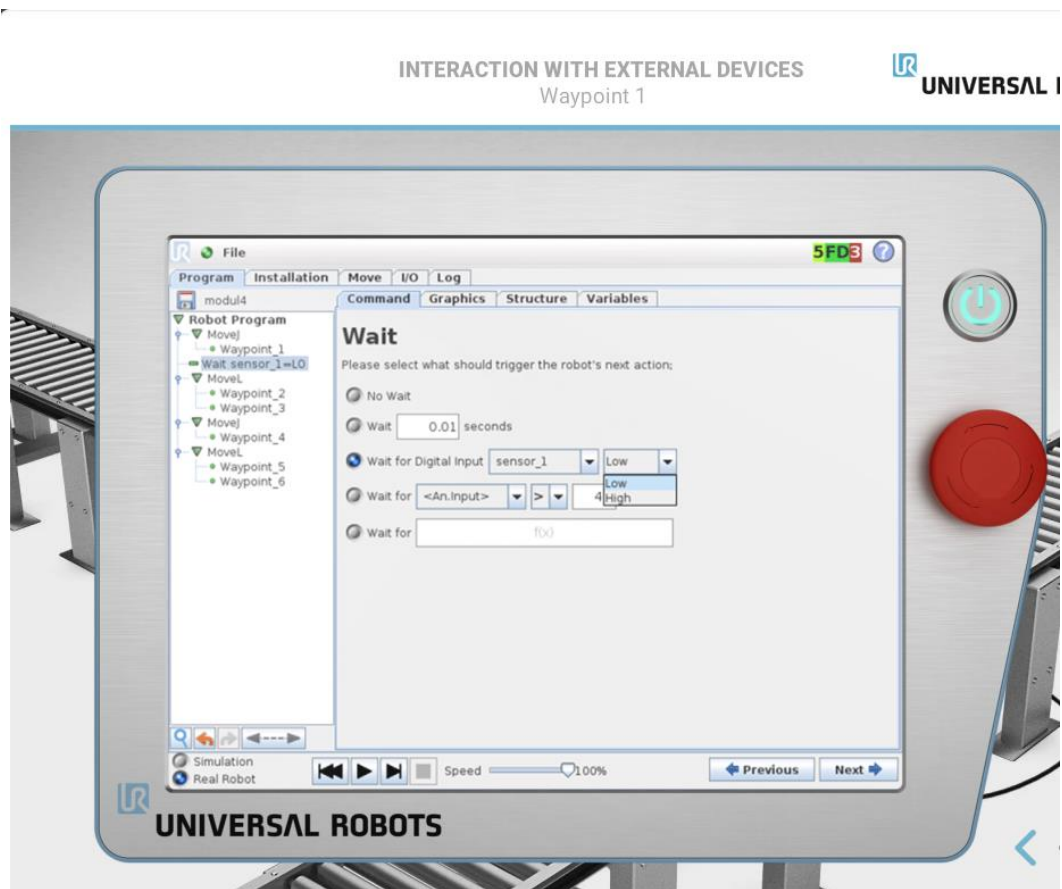
Kuva 27. Ohjelmointi laitteen I/O, kaksi sensoria liitetty.

Kuvassa x oranssissa laatikossa on laitteen digitaaliset sisääntulot, kuten sensorit. Kun sensorit aktivoituvat ruudussa palaa sinen pallo.



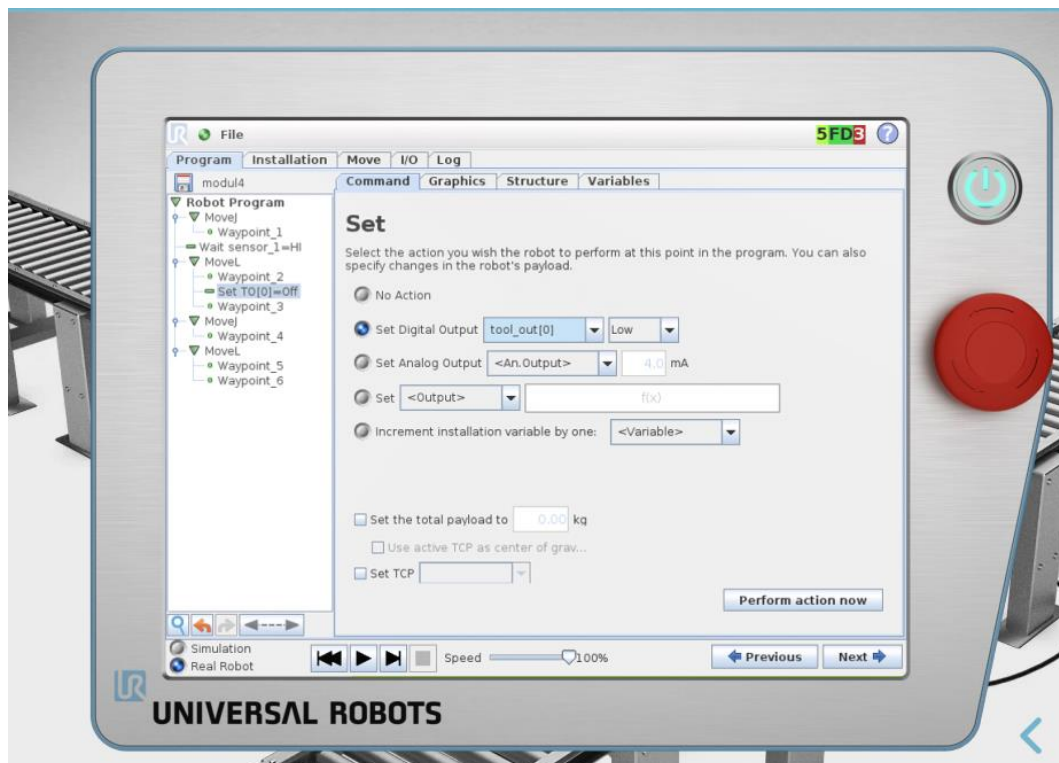
Kuva 28. Laitteiden tuonti ohjelmaan.

Käydään läpi malli sensoreiden tai muiden yhteistyölaitteiden käyttö ohjelmistossa. Ohjelmaan on valmiiksi määriteltä paikoitus pisteet, mutta tässä käytämme set komentoa, joka digitaalinen tai analoginen ulostulo. Wait komento pysäyttää robotin ja antaa esimerkiksi tarttujalle aikaa sulkeutua tai avautua.



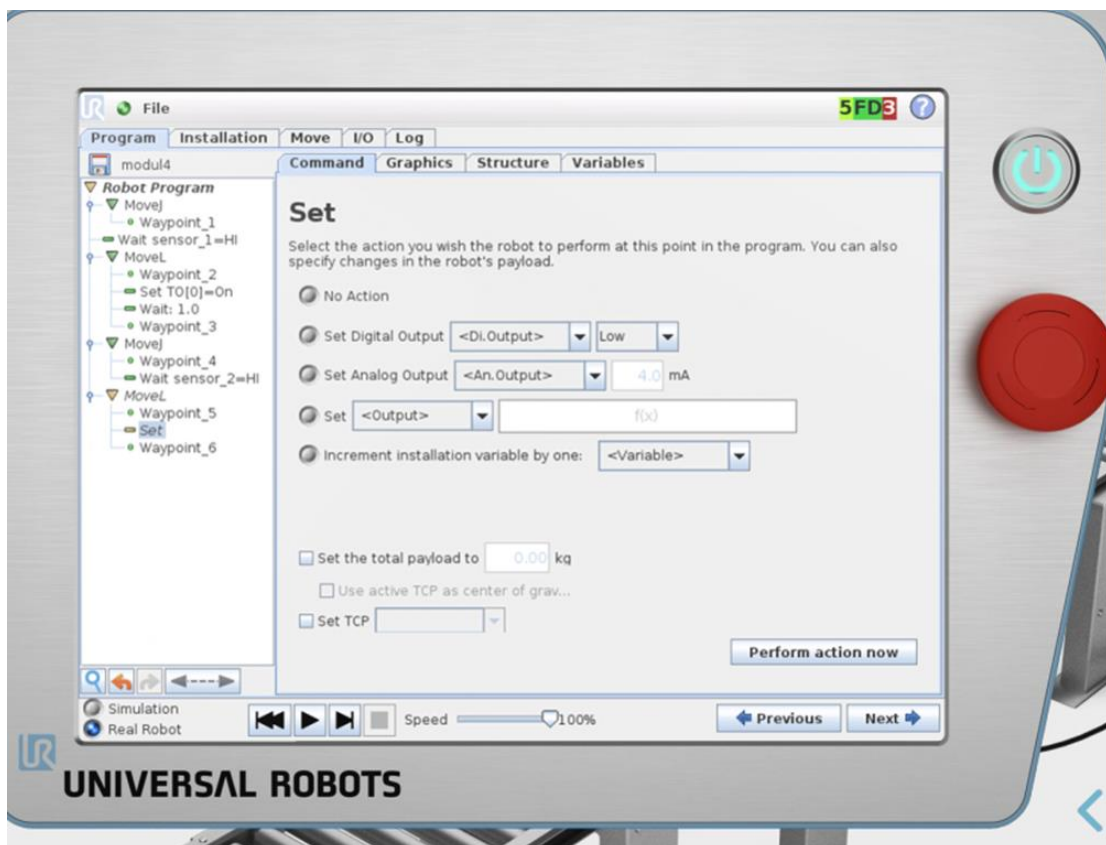
Kuva 29. Wait komennon ohjelmointi.

Asetamme wait for Digital input ja valitsemme oikean sensorin tässä tapauksessa sensor_1, tämän jälkeen valitaan low= pois päältä tai High = päällä. Ohjelmassa tämä tarkoittaa sitä, että odotamme piirilevyn saapumista tarkkaan pisteeseen, jossa sensori havaitsee kun kappale on oikeassa paikassa, tämän odotuksen jälkeen robotti tietää koska kappale on valmiina poimittavaksi, lyhkäisyydessään ohjelma odottaa digitaalista sisääntulo signaalia sensorilta tai testauslaitteelta.



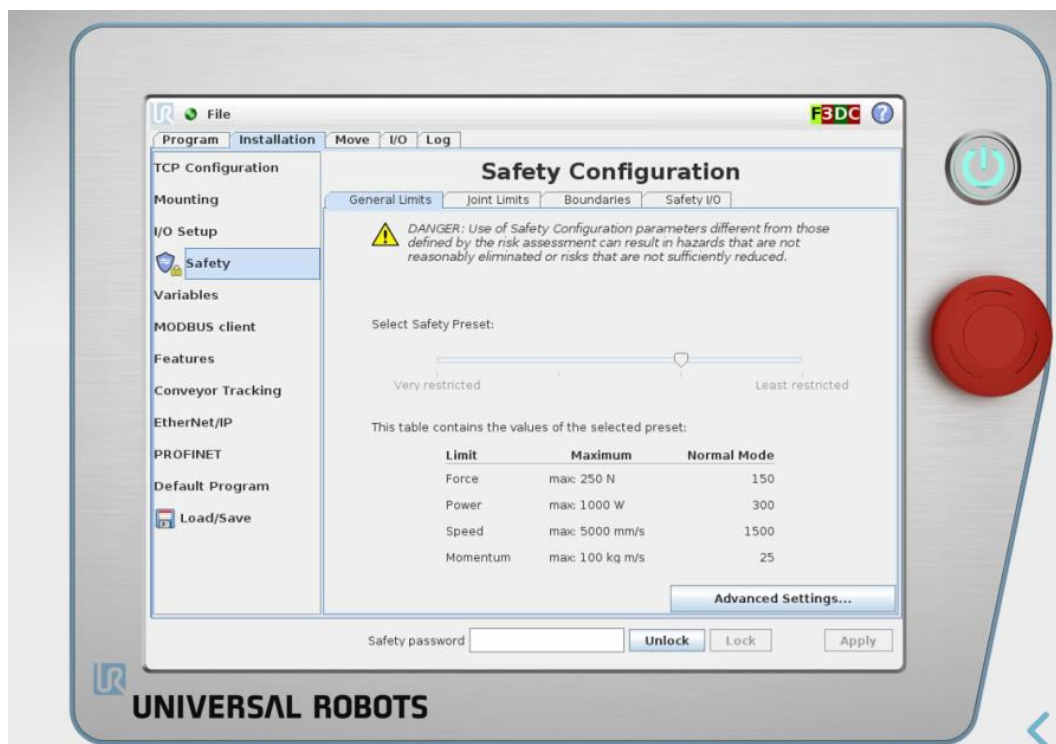
Kuva 30. Set komennon ohjelmointi.

Kun sensori on havainnut kappaleen, lähtee robotti hakemaan piirikorttia. Kun robotti on tarkassa pisteessä valmiina kiinnittämään piirikortin tarraimen, täytyy työkalulle luoda käsky sulkea tarrain, se tapahtuu komennolla Set Digital Output ja työkalun valinta, joka tässä tapauksessa on tool_out[0] ja valitaan high. Tämän jälkeen luodaan wait komento, että tarttuja kerkeää sulkeutumaan ja tarraamaan kappaleeseen.



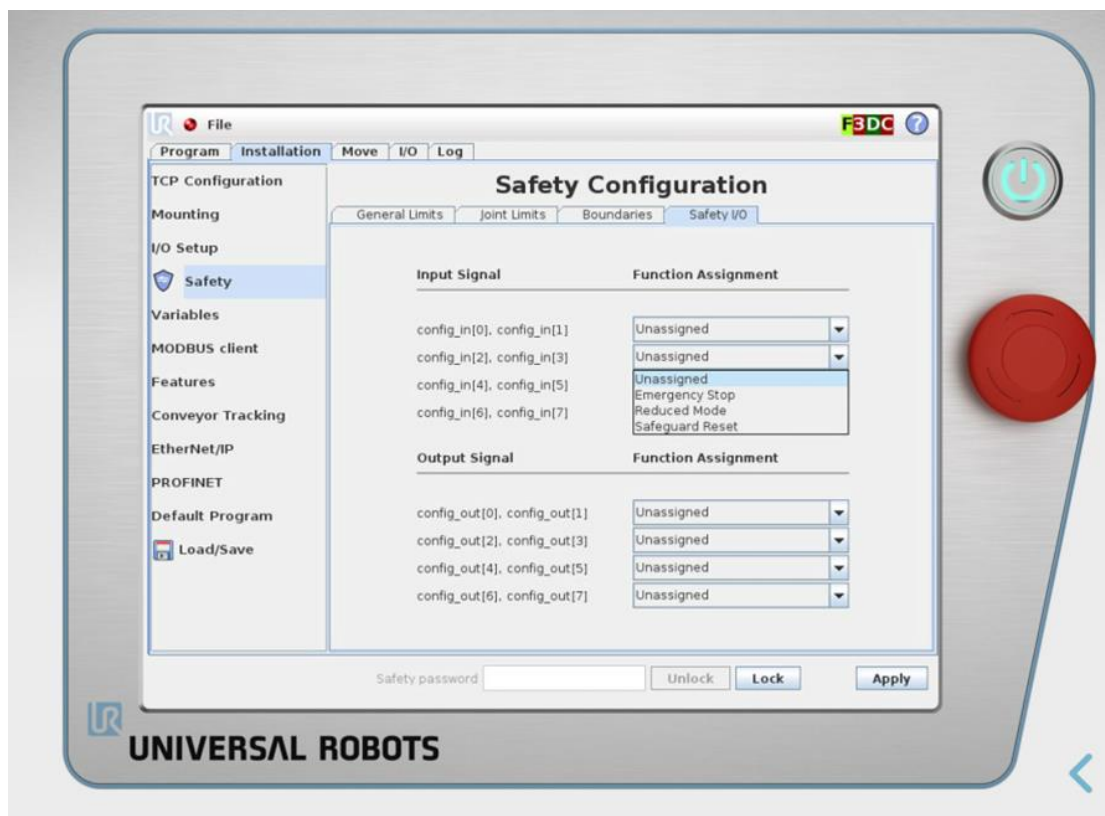
Kuva 31. Wait and set output.

Kun kappaleesta on tartuttu, robotti tuo piirilevyn testauslaitteelle ja wait_sensor 2, high komennolla huomioidaan koska robotti on testauslaitteella. Tämän jälkeen asetetaan set low komento, jolla vapautetaan piirilevy tarttujasta ja se asettuu testauslaitteelle. Asetetaan kaksi wait komentoa loppuun, ensimmäinen, että tarttuja saa tarpeeksi aikaa avautua ja toinen on wait sensor_2, low eli tämä sensori ilmoittaa, kun robotti on poistunut testauslaitteelta. Kyseisellä testauslaitteella on automaattinen kannen sulku, joten kun sensori on ilmoittanut robotin poistuvan alueelta, alkaa kansi sulkeutua. Toinen vaihtoehto voisi olla if komennon määrittäminen loppuun, eli jos sensor_2 on päällä, tällöin kansi ei sulkeudu ja if sensor_2 ei havaitse kappaletta ja robotin saavuttua viimeiseen paikoituspisteeseen, alkaa kansi sulkeutua.



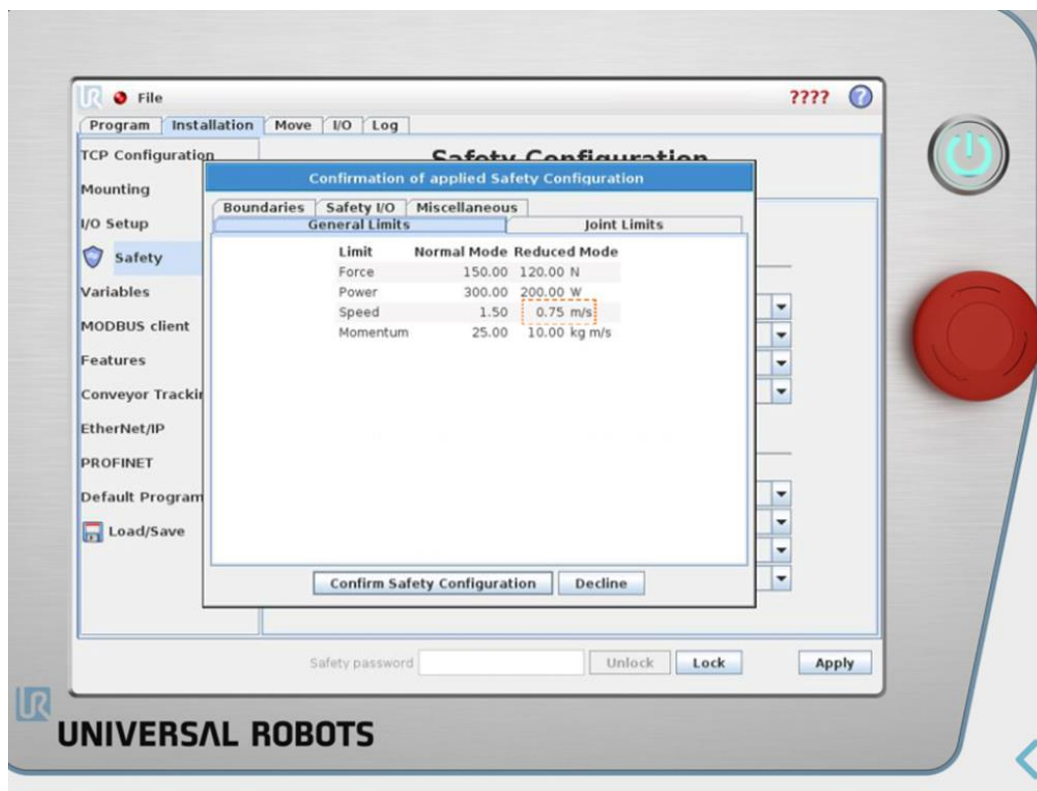
Kuva 32. Robotin turvallisuus rajoitukset

UR10-robotin turvallisuus rajoituksia voi muuttaa menemällä Installation -> Safety -> General limits, kuten esimerkiksi nopeuksia ja voimaa.



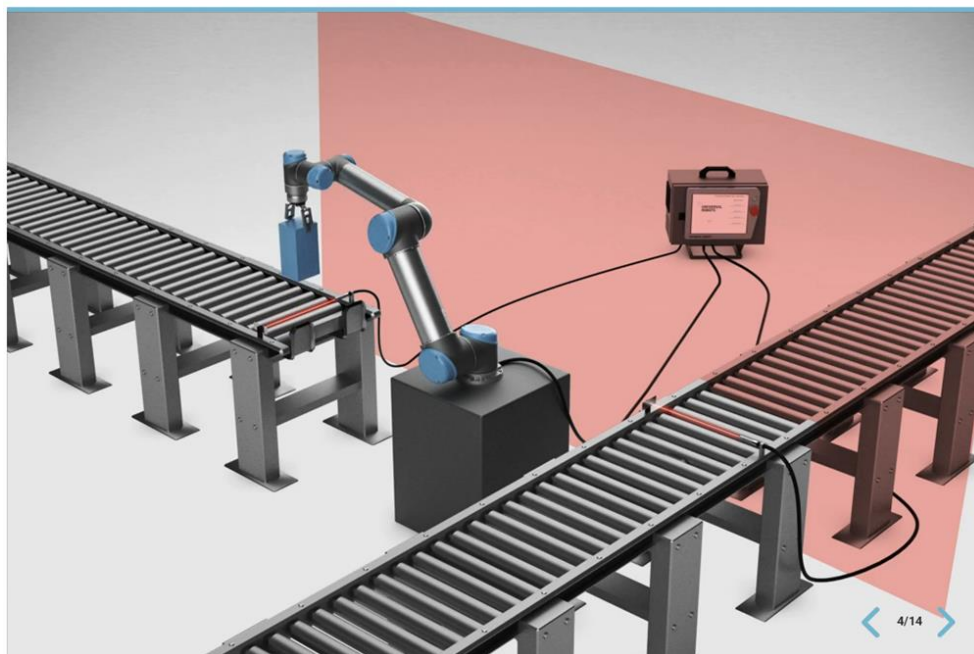
Kuva 33. Turvallisuus vaihtoehdot.

Valikosta Safety I/O voimme määrittellä esimerkiksi sensoreille erilaisia turvallisuus vaihtoehtoja, kuten esimerkiksi jos sensori aktivoituu robotti lopettaa toimintansa välittömästi.



Kuva 34. Reduce mode turvallisuus asetuksien muuttaminen.

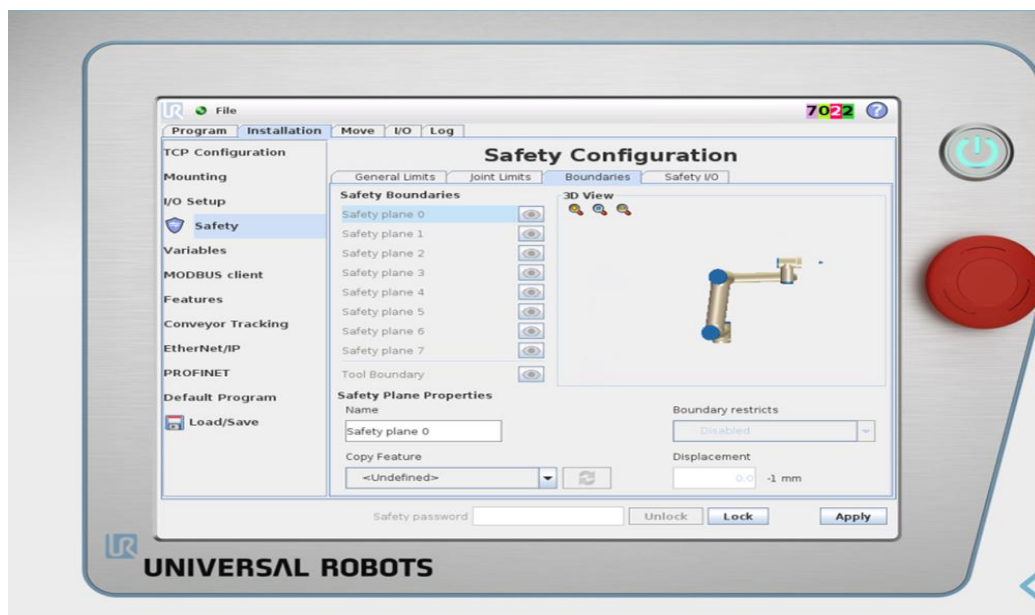
Tässä esimerkissä robotti hidastuu, kun ihminen astuu alueelle ja kuvasta näemme kuinka paljon eri arviot muuttuvat. Robotille voi määrittää rajoitukset esimerkiksi voimalle, nopeudella ja puristus voimille.



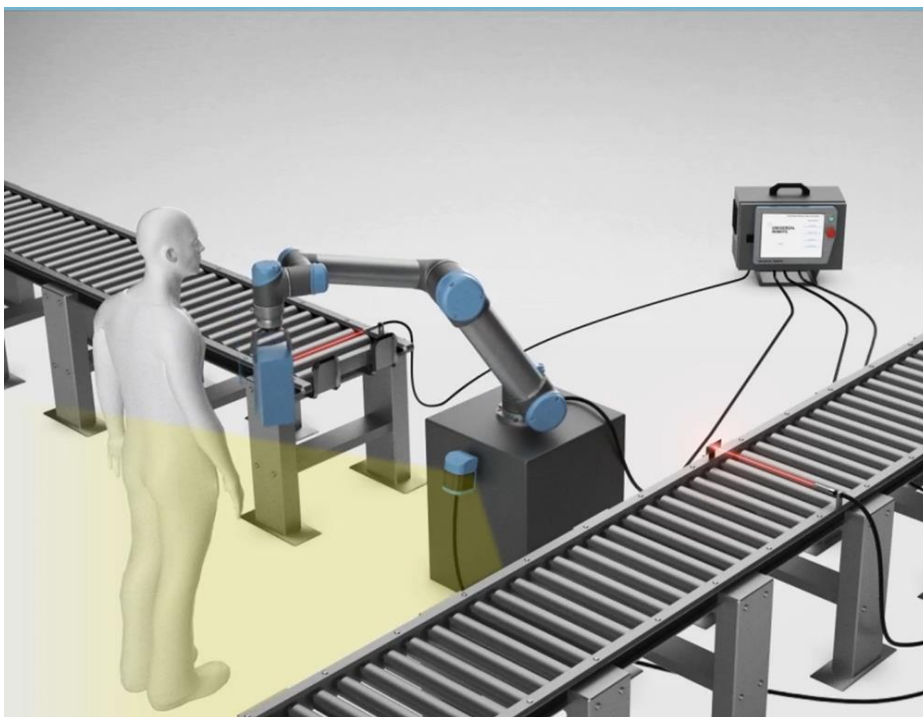
Kuva 35. Turvarajat.

Robotille voi myös luoda rajat missä robotti ei saa työskennellä, kuvassa merkitty punainen raja-alue on määritelty ei sallituksi alueeksi, jos robotti astuu alueelle turva rajoitukset menevät päälle ja robotti sammuu.

Nämä rajat voidaan luoda safety ja boundaries valikosta ja rajoja voi luoda yhteensä kahdeksan, myös työkalulle voi luoda omat rajat.



Kuva 36. Turvarajojen luonti.



Kuva 37. Turvasensori joka havaitsee lähestyvän ihmisen.

Esimerkki turvallisuus sensorista, ihminen lähestyy aluetta ja robotti joko sammuu tai hidastuu asetettujen arvojen verran.

8 TURVALLISUUS TESTAUSLAITTEELLE

Testauslaitteella on automaattinen kannensulku, joten vaarana on esimerkiksi, että ihminen jättää sormensa väliin. Tällaisia turvallisuusriskejä ei saa olla, joten oli suunniteltava turvallinen ratkaisu kyseiseen ongelmaan.

Otin yhteyttä Saksalaiseen Sick yhtiöön, pyysin apua ja ratkaisu ongelmaan. Sick valmistaa teollisuuteen erilaisia antureita ja anturisovelluksia teollisiin sovelluksiin. Valitsin Sickin siksi, että he ovat alansa parhaita ja ovat läheisessä yhteistyössä Universal Robotsin kanssa, eli heidän tuotteen on erittäin yhteensopivia. Kävimme läpi eri työhön liittyviä vaatimuksia ja päädyimme seuraavaan turvallisuus ratkaisuun:

- Testauslaitteelle paikallinen suojaus: sivut ja tausta mekaanisesti pleksillä ja eteen miniTwin valoverho, 120mm tai 180mm - resoluutio 14mm pystyyn etupuolelle alatasoon kiinni pystyyn.
- Ulkoalueen suojaus: horisontaalinen kenttä S300 mini standard skanneriin, ettei ihminen voi päästä liian lähelle.

8.1 Tuotteet

8.1.1 Minitwin 4 valoverho ominaisuuksia

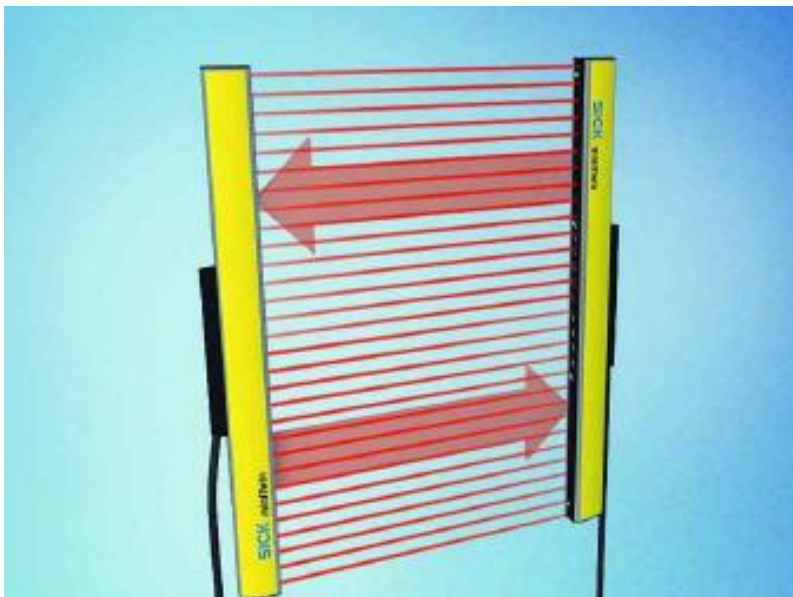
- Tyypin 4 (IEC 61496), SIL3 (IEC 61508), PL e (EN ISO 13849)
- Sokeasta alueesta vapaa laitekonsepti kompaktilla poikkipinta-alalla (15 mm x 32 mm)
- Twin Stick: lähetin ja vastaanotin samassa kotelossa – sarjaankytkettävissä
- Räätelöidyt suojakentän korkeudet 60 mm askelin: 120 mm - 1.200 mm
- Tyypilliset toimintaetäisyydet 0 m ... 5 m
- Älykäs, ilman ohjelmistoa tehtävä kontaktorivalvonnan ja kuittaustoiminnon konfigurointi
- Laiteliitäntä M12, 5-napainen. /14/

8.1.2 Minitwin 4 valoverhon hyödyt

- Edullinen integrointi koneeseen: pieni rakenne, sarjaankytkentä ja suoja-
kenttäpituuksien tiheä porrastus mahdollistavat joustavan sovituksen ko-
neympäristöön
- Standardointi säästää aikaa ja resursseja yksinkertaisen logistiikan, tilausten
käsittelyn ja huollon ansiosta
- Mallikelpoinen käsittely: ilman ohjelmistoa tehtävä, lähes täysautomaatti-
nen käyttöönotto ja helppo käyttö kestäväällä optiikalla
- LED-ohjattu käyttöönotto sekä värilliset LED-valot nopeaan suuntaukseen
ja yksiselitteiseen suojakentän visualisointii huolehtivat nopeasta diagno-
soinnista
- Sarjaankytkentäsovellusten kattava suojakenttä poistaa sokeita alueita, ly-
hentää turvaetäisyyksiä ja kasvattaa näin tuottavuutta
- Sovelluskohtaiset kiinnikkeet lisäävät asennuksen joustavuutta ja lyhentä-
vät asennusaikaa. /14/



Kuva 38. Mallikuva Minitwin 4 valoverhoista.



Kuva 39. Minitwint 4 valoverhojen mittaamisvälin havainnointi.

8.1.3 S300 mini turvalaserskannerin ominaisuudet

- Erittäin kompakti rakenne
- Suojakentän kantama 1 m, 2 m tai 3 m
- Skannauskulma 270°
- 1 kenttäsarja
- Valittavissa oleva resoluutio käden, jalan tai kehon havaitsemiseen
- Muoto referenssinä pystysuuntaisille sovelluksille
- Integroitu kontaktorivalvonta (EDM)
- Helposti konfiguroitavat kentät ja toiminnot

8.1.4 S300 mini turvalaserskannerin hyödyt

- Helppo integrointi erittäin kompaktin rakenteen ansiosta
- Helppo asennus, käyttöönotto ja huolto kiinteissä ja mobiileissa sovelluksissa
- Taloudellisesti lyömätön – 270°-skannauskulma mahdollistaa täydellisen valvonnan vain kahdella skannerilla
- Turvatekniikka – ilman tuottavuuden laskua. /15/

- Vuosikymmenten aikana hyväksi havaittu turvatekniikka takaa hyvän luotettavuuden ja käytettävyyden – myös vaikeissa olosuhteissa
- Yksinkertainen käsittely säästää kustannuksia ja asennusvaiivaa
- Kolmoiskenttätoiminnolla vähennetään seisonta-aikoja ja jarrujen kulumista
- Helppo suuntaus ja turvallinen käyttö pystysuuntaisessa sovelluksessa. /15/



Kuva 40. Mallikuva S300 mini turvalaserskannerista.



Kuva 41. S300 mini trivalaserskannerin mittausalue.

9 YHTEENVETO JA JATKOKEHITYS

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli käyttöönottaa UR10 yhteistyörobotti testausolosuhteissa Suomessa toimivalle Ampner Oy yritykselle. Tavoitteena oli automatisoida piirilevyn asennus ja sen poistaminen testauslaitteelta yhteistyörobottia käyttäen. Työhön kuului robotin ohjelmointi ja sen simulointi, robottisolun rakentaminen ja simuloinnin teko Visual Components ohjelmistolla, robotin tarttujan suunnittelu ja siihen tulevien lisäosien CAD-mallinnus ja 3D-tulostus, I/O selvitys ja suunnittelu laitteistojen välillä ja turvallisuuden suunnittelu testauslaitteeseen.

Opinnäytetyössä tutustuttiin yhteistyörobottiin, johon valittiin työkalut, mallinettiin kokoonpanoon tarvittavat osat ja ohjelmoitiin toimiva robottiohjelma. Testauslaitteen automaattiselle sululle suunniteltiin turvajärjestelmä käyttäen erilaisia antureita. Selvitettiin I/O robotin, testauslaitteen ja anturien välillä. Robottisolusta ja ohjelmistosta luotiin virtuaalinen malli, jota käyttäen pystyttiin hahmottamaan solu ja robotin tarvittavat liikkeet solussa. Työ vaati perehtymistä yhteistyörobottiin, sen työkaluihin, turvallisuus vaihtoehtoihin, I/O:hon, Mallintamiseen ja tulostamiseen, sekä robotinohjelmointiin ja simulointiin. Suurin osa opinnäytetyöstä oli itse robotin ohjelmointia ja simulointia. Kokoonpano testattiin koulussa olevalla robotilla ja työkaluilla, muut tarvittavat osat saatiin Ampner Oy:lta.

Työn tuloksena saatiin aikaan toimiva kokoonpano-ohjelma, miten ja millä komponenteilla kokoonpanotyö saatiin suoritettua ja vielä turvallisesti. Projektiin jäi kuitenkin paljon paranneltavaa aikataulun vuoksi, mutta tämä opinnäyte työ antoi yritykselle hyvän mallin, miten kokoonpanon automatisointi on mahdollista suorittaa turvallisesti ja antoi hyvät lähtökohdat sille joka tätä projektia jatkaa. Työ opetti paljon robotin ohjelmoinnista ja turvallisuudesta sekä antoi paljon kokemusta näistä aiheista, jota voin käyttää myöhemmin työelämässä. Jatkokehityksenä olisi hyvä mallintaa piirikortille jigi, koska pienemmätkin liikkeet robotilla tai testilaitteistolla vaikutti robotin ohjelmointiin. Visual Components ohjelmaan todellisempi ympäristö ja saada robotti liikkumaan mahdollisimman samanlaisesti kuin robotin oikeassa ohjelmassa, ja lisätä simulaatioon automaattinen kortin syöttö laitteistoineen ja luoda ohjelmassa testulaitteelle automaattinen avaus ja sulku. Myös pienellä

tarttujan lisäpalojen muokkauksella voisi piirikortin tartuntaa helpottaa huomattavasti, ja lisäksi tappien vähennys testilaitteistossa helpottaisi robotisoitua kokoonpanon tekemistä huomattavasti.

LÄHTEET

- /1/ About Us. Viitattu 20.4.2018 <https://ampner.com/about-us/>
- /2/ Robotiikka. Viitattu 6.6.2018 <https://www.vtt.fi/Impulssi/Pages/Robotiikka-%E2%80%93-monien-mahdollisuuksien-tekniikka.aspx>
- /3/ Robotiikka. Viitattu 28.5.2018 <http://docplayer.fi/29180796-Robotiikka-m-billing-2015.html>
- /4/ Servicepoint. Viitattu 26.4.2018 <http://servicepoint.fi/uutinen/yhteistyorobottimukautuva-kumppani-piensarjatuotannon-ja-laboratorioiden-tarpeisiin/>
- /5/ Historia. Viitattu 1.5.2018 <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/13540/A-History-of-Collaborative-Robots-From-Intelligent-Lift-Assists-to-Cobots.aspx>
- /6/ Yleistä. Viitattu 27.5.2018 <https://blog.robotiq.com/bid/70716/Human-Robot-Collaboration-Collaborative-Robots-and-Vision-Systems>
- /7/ Yhteistyörobotti. Viitattu 27.5.2018 <http://robotiq.dompteursdesouris.com/solutions/collaborative-robots/>
- /8/ Robotinvalinta. Viitattu 27.5.2018 <https://www.motoman.com/fi/collaborative/resources>
- /9/ Yhteistyörobotin turvallisuus ja standardit. Viitattu 27.5.2018 <https://blog.robotiq.com/what-does-collaborative-robot-mean>
- /10/ ISO/TS 15066:2016 2016. Viitattu 27.5.2018 <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/25661/poikolainen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- /11/ UR10. Viitattu 27.5.2018 https://www.posicraft.fi/wp-content/uploads/UR_Collaborative_esite-1.pdf
- /12/ UR10. Viitattu 27.5.2018 <https://www.posicraft.fi/tuotteet/tarttujat-ja-anturit/robotiq/>
- /13/ UR10. Viitattu 27.5.2018 <https://ampner.com/test-fixtures/>
- /14/ Turvalaitteet. Viitattu 06.6.2018 <https://www.sick.com/fi/fi/valosaehkoeiset-turvalaitteet/turvavaloverhot/miniwin4/c/g187248>
- /15/ Turvalaitteet. Viitattu 06.06.2018 <https://www.sick.com/fi/fi/valosaehkoeiset-turvalaitteet/turvalaserskannerit/s300-mini-standard/c/g214851>

