



Jukka Nikula

Kobottisimulointien teko teknologia- messuille ja Robotstudion työohje

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan

Insinöörityö

21.12.2021

Tiivistelmä

Tekijä:	Jukka Nikula
Otsikko:	Kobottisimulointien teko teknologiamessuille ja Robotstudion työohje
Sivumäärä:	32 sivua + 2 liitettä
Aika:	21.12.2021
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	automaatiotekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Timo Tuominen Lehtori Antti Liljaniemi

Insinööriä tehtiin Metropolia ammattikorkeakoululle ja se kuului osaksi Metropolian Big-Flash-hanketta. Tarkoituksena oli toteuttaa simulointidemot Visual Components- ja Robotstudio-ohjelmistoilla, joilla herätettäisiin kiinnostus mahdollisia teknologian tarjoajia kohtaan lähteä veturiyritykseksi hankkeeseen myöhempiä toteutuksia varten. Lisäksi raporttiin oli tarkoituksena tutkia, mitä on kobottiikka ja mitä kobotteja markkinoilla on saatavilla Suomessa ja maailmalla.

Työ alkoi yhteistyörobotiikan tutkimisella ja Suomen markkinoiden kartoittamisella siitä, että millaisia kobotteja on saatavilla Suomalaisten yritysten kautta. Ulkomaiset markkinat rajattiin työstä pois, koska Suomenkin markkinoilla oli jo niin paljon tarjontaa.

Seuraavassa vaiheessa aloitettiin simulointien työstäminen. Aluksi piti opetella ja muistutella mieliin se, miten työssä käytetyt ohjelmistot toimivat. Kun tarvittavat taidot oli saatu haltuun, piti niiden taitojen avulla vielä miettiä simulointien sisältöä ja toteuttaa ne.

Loppuvaiheessa tehtiin vielä työohje Robotstudion smart componentsin käytöstä, jota käytettäisiin myöhemmin tähän asiaan perehtymisessä opiskelijoiden ja miksei opettajienkin apuna.

Työn tuloksena syntyi kaksi simulointivideota, kaksi simulointitiedostoa, työohje ja kartoitus yhteistyörobotiikasta ja Suomalaisten yritysten kautta saatavista kobottituotteista, jotka liitettiin tähän raporttiin. Simulaatioita ei päästy vielä esittämään Helsingin teknologiamessuilla, koska ne siirrettiin projektin aikana marraskuulta ensi vuoden toukokuulle. Työohjetta voidaan jatkossa hyödyntää Robotstudion opiskelussa ja kartoituksia kobottiikan opiskelussa, sekä uusien kobottimallien hankinnassa koululle.

Avainsanat: kobotti, robotiikka, yhteistyörobotti, simulaatio, big-flash

Abstract

Author: Jukka Nikula
Title: Cobotsimulations for technology fairs and workinstructions for Robotstudio
Number of Pages: 32 pages + 2 appendices
Date: 21 December 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation engineering
Professional Major: Automation engineering
Instructors: Timo Tuominen, Senior Lecturer
Antti Liljaniemi, Senior Lecturer

This thesis study was done for Metropolia University of Applied Sciences as part of Metropolia's Big-Flash project. The aim was to implement simulation demos using Visual Components and Robotstudio software, which could attract the interest of potential technology providers to join the project at later stages. In addition, the thesis report had to examine what cobotic means and what cobots are available on the market in Finland and worldwide.

The thesis began by researching collaborative robotics and mapping the Finnish market to find out what kind of cobots are available through Finnish companies. The foreign market was excluded from the thesis study because there was so much material available in the Finnish market.

In the next stage, the processing of the simulations was started. At first, it was needed to learn and understand how the software used in the thesis study works. Once the necessary skills had been acquired, the content of the simulations and implementation were considered.

In the final stage, work instructions were made on the use of Robotstudio's Smart Components, which would be used later to teach students and, possibly, teachers with this issue.

The result is two simulation videos and simulation files, work instructions for Robotstudio and studies of cobotics and their markets.

Keywords: cobot, robotics, collaborative robot, simulation, big-flash

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Käytetyt simulointiohjelmistot	2
2.1	Visual Components	2
2.2	Robotstudio	3
3	Yhteistyörobotti	5
3.1	Yhteistyörobotti	5
3.2	Käyttötarkoitus	6
3.3	Ohjelmointi ja käyttöönotto	6
3.4	Mobiilirobotti	7
4	Suomessa saatavilla olevia yhteistyörobotteja	8
4.1	Techman/Orion	8
4.2	KUKA	9
4.3	YASKAWA	9
4.4	Universal Robots	10
4.5	ABB	11
4.6	Kassow	12
4.7	Fanuc	13
4.8	Han's Robot	14
5	Simulaatiotyön kulku	15
5.1	Työssä käytetyt yhteistyörobotit	15
5.1.1	ABB single arm ja dual arm	15
5.1.2	Fanuc CR-15iA	16
5.1.3	Omron LD60	17
5.1.4	Omron/Techman TM12	18
5.1.5	Universal Robots UR16e	19
5.2	Simulaatioiden sisältö ja työstäminen	20
5.2.1	Visual Components -simulaatio	20
5.2.2	Robotstudio -simulaatio	20

5.3	Ohjelmointi	23
5.4	Simulaatiotyön ongelmanratkaisut	24
5.5	Geometria eli Robo Garagen ympäristö	25
5.6	Työn tekemisen ja toimintatapojen arviointi	28
5.7	Simulaatioiden lopputulos	28
6	Jatkokehitysmahdollisuudet	29
7	Yhteenveto	30
	Lähteet	31
	Liitteet	
	Liite 1: Simulaatiovideoiden osoitteet	
	Liite 2: Robotstudio työohje	

Lyhenteet

ABB: *Asea Brown Boveri*. Sähkö- ja teknologia-alan yritys.

CAD: *Computer aided design*. Tietokoneavusteinen suunnittelu.

1 Johdanto

Insinööriytyö toteutettiin Metropolian kanssa osana Big-Flash-hanketta. Insinööriytyössä on tarkoituksena tehdä kobottisimuloinnit ABB:n Robotstudiolla ja Visual Componentsin Visual Components-ohjelmalla ja nauhoittaa niistä videot teknologiamessuille. Simulointien tarkoitus on herättää mahdollisten veturiyritysten mielenkiinto lähteä mukaan projektin myöhempiin toteutuksiin. Veturiyrittäjä voisi tarjota kobotteja ja lisävarusteita opiskelijoiden käyttöön ja saada vastapainoksi uusia innovatiivisia tapoja markkinoida ja käyttää tuotteitaan.

Simulointeihin tulee sisällyttää Universal Robotsin, ABB:n, Omronin ja Techmanin yhteistyörobotteja tai mobiilirobotteja, joilla voitaisiin tehdä myös Metropolian Robo Garage -työtilassa vastaavat simuloinnit myöhemmin Big-Flash-hankkeen edetessä. Lisäksi simulointiympäristöjen tulisi vastata koulun Robo Garage-työtilaa. Simulointien olisi tarkoitus herättää teknologiamessuilla potentiaalisten veturiyritysten mielenkiinto lähteä projektiin mukaan ja toimia pohjana vastaaville simuloinneille myöhemmin projektissa. Lisäksi opinnäytetyössä työstettiin työohje Robotstudion Smart Componentsin käytöstä.

Työn raportissa esitellään aluksi käytettyjä simulointiohjelmistoja ja perehdytään yhteistyörobotiikkaan. Sen jälkeen raportissa näytetään millaisia kobotteja Suomessa on tällä hetkellä saatavilla. Tämän jälkeen raportissa perehdytään työn kulkuun ja mietitään työn tuloksille sopivia mahdollisuuksia jatkokehitykseen ja käyttöön liittyen. Raportin lopussa on vielä yhteenveto työstä.

2 Käytetyt simulointiohjelmistot

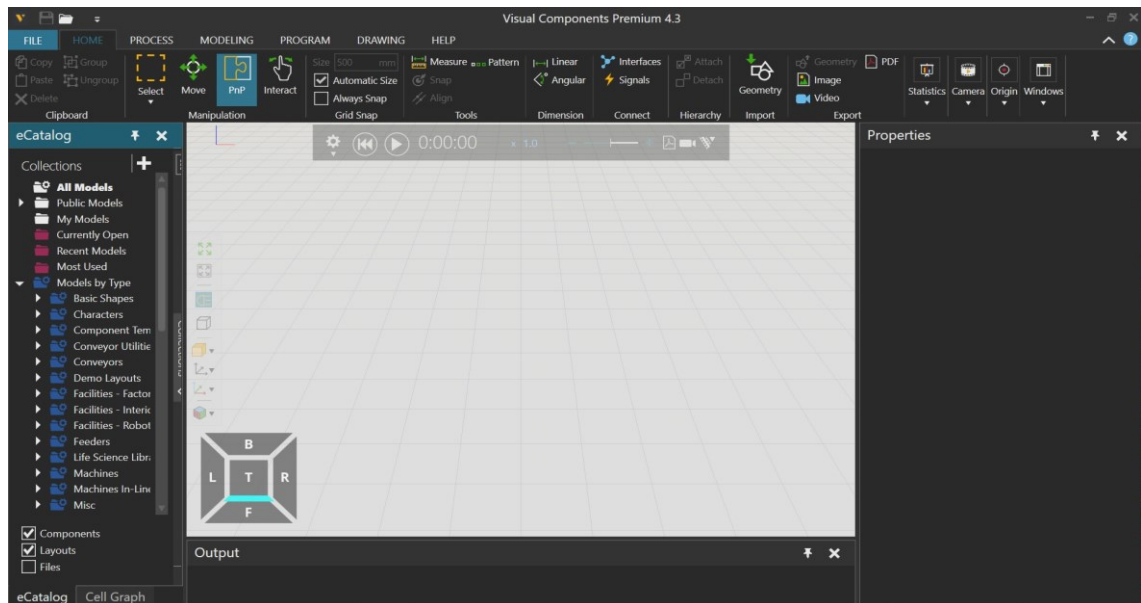
Tässä insinööriyössä on tarkoituksena simuloida kobotteja, jotka esimerkiksi pakkaavat tavaroita lavoille tai tarjottimille. Simulointien avulla on tarkoitus teknologiamessuilla näyttää mitä näillä koboiteilla voisi koululla tehdä. Kohderyhmänä on kobottivalmistajat, jotka yritetään houkutella mukaan Big-Flash-hankkeeseen myöhemmille toteutuksille. Simulaatiot on tarkoitus nauhoittaa videolle ja näyttää sitä siis messuilla. Simulointiohjelmistoja on erilaisia ja tässä työssä käytettiin kahta 3D simulointiohjelmistoa. Toinen oli ABB:n ohjelmisto Robotstudio (2021 vuoden versio) ja toinen Visual Componentsin Visual Components 4.3 Premium.

2.1 Visual Components

Visual Components on vuonna 1999 perustettu simulointitekniikka-alan yritys. Heidän tavoitteenaan yritystä perustettaessa oli tehdä valmistussuunnittelusta ja simulaatioteknologiasta helppokäyttöinen ja sen teknologian tulisi olla myös kaiken kokoisten yritysten käytettävissä. Nykyisin Visual Components sanoo jatkavansa parhaan 3D simulaatio-ohjelmiston kehittämistä muiden seurattavaksi. [1.]

Ohjelmistona siis oli Visual Components Premium 4.3, josta koululla oli saatavilla opiskelijaversio. Tässä ohjelmassa on simuloiteihin lisättävissä monen eri robottivalmistajan laitteita ja lisäksi Visual Components on tehnyt sinne omia komponentteja ja laitteita, joilla voi monipuolistaa simuloiteja ja niiden ympäristöä. Tällä ohjelmalla voi simuloida myös joitakin prosesseja, joissa ihminen on mukana tekemässä osan työstä yhdessä robottien kanssa. Tämä oli hyvä asia simulointityön näkökulmasta, koska yhteistyörobotiikka tarkoittaa juuri sitä, että robotit tekevät työtä yhdessä ihmisten kanssa. Visual Components -ohjelmistossa oli saatavilla yli 60 eri robottivalmistajan malleja. Kuvassa 1 on tämän ohjelmiston ympäristö. Vasemmassa laidassa näkyy eCatalog -valikko, josta robotit yms. lisälaitteet ovat valittavissa, keskellä isossa ruudussa tapahtuvat itse

simuloinnit ja oikealla on properties -ikkuna. Lisäksi ylhäällä näkyy muita vaihtuvia valikoita.

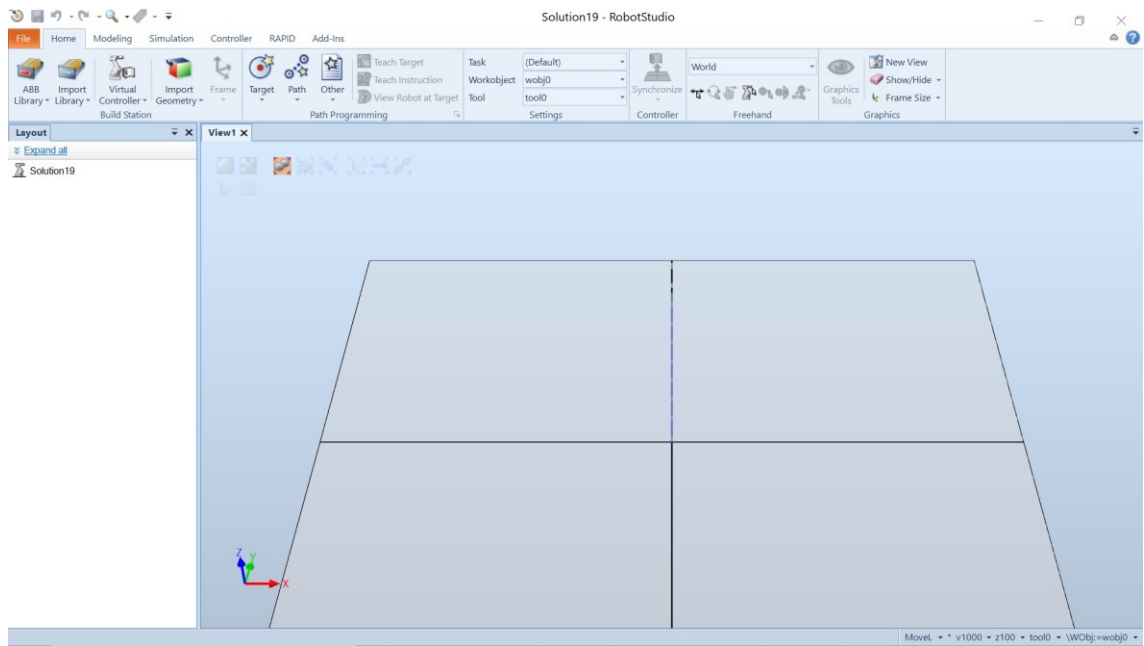


Kuva 1. Visual Components ympäristö.

2.2 Robotstudio

Robotstudio on ABB:n kehittämä simulointiohjelmisto. ABB on muodostettu vuonna 1988 sulauttamalla yhteen Asean ja Brown Boverin sähkötekniiset liiketoiminnot. Nykyisin ABB sanoo olevansa johtava teknologian edelläkävijä. Sen tarjonta kattaa sähköistystuotteet, robotit ja liikkeenohjauksen sekä teollisuusautomaation ja sähköverkkoratkaisut [2.]

Työssä oli alkuun käytössä Robotstudio 2021 version 30 päivän trial (kokeiluversio) ja loppuvaiheessa 2020 version opiskelijaversio, koska kokeiluversion aika ei riittänyt työn loppuun saattamiselle. Tämä ohjelmisto sisältää ABB:n omia robotteja. Kuvassa 2 näkyy ohjelmiston ympäristö. Vasemmassa laidassa on layout eli ulkoasuvalikko ja keskellä isossa ruudussa tapahtuvat itse simuloinnit. Ylhäältä löytyvät vaihtuvat valikot.



Kuva 2. Robotstudion ympäristö.

3 Yhteistyörobotti

Insinööriyössä tutkittiin myös yhteistyörobotiikkaa ja tässä kappaleessa esittelen tämän tutkimuksen tuloksia. Lisäksi yhteistyörobotteja käytettiin simulaatioissa, jotka tehtiin teknologiamessuille.

3.1 Yhteistyörobotti

Yhteistyörobotti eli kobotti (tulee englanninkielisistä sanoista collaborative robot) on melko uusi ja kasvava robotiikan muoto, joka on tarkoitettu toimimaan yhdessä ihmisen kanssa. Se pystyy monenlaisiin tehtäviin, kuten pakkaamiseen, ruuvaamiseen, kokoonpanotöihin ja liimaukseen. Yhteistyörobotit on suunniteltu myös siirtämään tavaroita, mutta raskaampia taakkoja ja pidempiä matkoja varten käytetään yleensä mobiilirobottia. Niitäkin voidaan kutsua yhteistyörobotiksi, mutta yleisemmin yhteistyörobotiksi mielletään käsivarsirobotti. Kobotti on pieni, ketterä, turvallinen ja monipuolinen työkaveri. Se on helppo ohjelmoida uusiin tehtäviin ja siirtää paikasta toiseen. Kobotit eivät tarvitse ympärilleen turva-aitaa, toisin kuin isot teollisuusrobotit, joiden törmäys ihmisen kanssa voi olla hengenvaarallinen. Pienen ja kevyen koon lisäksi monissa koboteissa on turvatoimintoja takaamassa turvallinen yhteistyö ihmisen kanssa. [3.]



Kuva 3. UR3e -yhteistyörobotti. [4.]

3.2 Käyttötarkoitus

Kobotteja hyödynnetään töissä, jotka ovat ihmiselle liian rasittavia, tylsiä tai joihin ihminen on liian hidas. Koboteilla ehkäistään rasitusvammoja ja parannetaan pienten yritysten kilpailukykyä. Kobotti sopii esimerkiksi tuotantolinjalle ihmisen kaveriksi, nopeuttamaan tuotteiden valmistusta ja hoitamaan ihmisen puolesta haitallisia työvaiheita, kuten toistuvia liikkeitä. Lisäksi kobotin ansiosta työvoimaa vapautuu mielekkäämpiin tehtäviin. Monesti tuotantolinjat ovat auki ympäri vuorokauden ja kobotti soveltuukin myös yötyöhön. Ihmisten tehdessä työt tulee vuorokauden aikana katkoja esimerkiksi taukojen tai vuoronvaihtojen välillä, mutta kobotin ansiosta tuotanto voi pyöriä kaiken aikaa, eikä siitä tule lisäkuluja esimerkiksi vuorolisien takia. Lisäksi monet yritykset joutuvat pakon edessä siirtämään tuotantoaan ulkomaille, koska Suomessa tuotanto kävisi liian kalliiksi suurten palkkakulujen yms. takia. Kobotin hankkiminen voisi auttaa monia yrityksiä taloudellisempaan tuotantoon ja työpaikat voisivat myös näin säilyä paremmin Suomessa, kun ei tuotantoa tarvitsisikaan siirtää edullisemmän työvoiman takia ulkomaille. Kobotin keskimääräinen takaisinmaksuaika on 10,5 kuukautta, mutta esimerkiksi laaduntarkistustyössä se voi maksaa itsensä takaisin jopa vain neljässä kuukaudessa. [5.]

3.3 Ohjelmointi ja käyttöönotto

Kobotti on helppoa ohjelmoida ja ottaa käyttöön. Käyttöönotossa ei tarvitse osata perinteisiä ja monimutkaisiakin ohjelmointikieliä. Käyttöönotto voi tapahtua ns. kädestä pitäen menetelmällä, eli opetetaan kobotille halutut liikkeet pistepisteeltä. Kobotti tallentaa pisteiden koordinaatit muistiin ja osaa jatkossa toimia itsenäisesti opetetussa työtehtävässä. Toinen vaihtoehto ohjelmoida kobotti on valmiilla liikeradoilla, jotka löytyvät yleensä käyttöliittymästä valmiina. Käyttöliittymä, joka kommunikoi robotin kanssa voi löytyä esimerkiksi tabletilta. Jos on opettanut yhdelle kobotille jonkun työtehtävän valmiiksi, on se helppoa siirtää muille vastaaville koboteille esimerkiksi muistitikun avulla. Kobotin toimittaja myös yleensä auttaa asiakkaan alkuun sen käyttöönotossa ja perehdyttää tarvittavat asiat, jotta kobotti saadaan mukaan tuotantoon heti alusta alkaen. [5.]

3.4 Mobiilirobotti

Mobiilirobotit ovat hieman erilaisia muihin kobotteihin nähden, sillä ne eivät ole käsivarsirobotteja, mutta toimivat kuitenkin yhteistyössä ihmisen kanssa turvallisesti samassa tilassa. Mobiilirobotit ovat itsenäisiä, älykkäitä ja pieniä ajoneuvoja. Ne sopivat hyvin esimerkiksi siirtämään raskaita pakattuja kuormalavoja paikasta toiseen. Kun haluttu reitti on opetettu mobiilirobotille kerran, se voi jatkossa liikkua itsenäisesti.. Se tunnistaa tielle tulevat esteet ja kiertää ne tai odottaa kunnes reitti vapautuu. Ne voivat toimia yksittäin, tai suurempina laivueina. Mobiilirobottiin voi laittaa lisävarusteeksi esimerkiksi robottikäsivarren tai lukittavan säilytystilan, mikä monipuolistaa sen käyttömahdollisuuksia. Mobiilirobotteja käytetään esimerkiksi varastoissa ja lääketeollisuudessa. Kuvassa 4 on Omronin LD -mobiilirobotti, jonka kantokyky on 90 kg. [6.]



Kuva 4. Omronin LD -mobiilirobotti. [6.]

4 Suomessa saatavilla olevia yhteistyörobotteja

Suomessa on saatavilla yhteistyörobotteja, joita valmistaa mm. seuraavat laitevalmistajat: Techman, KUKA, YASKAWA, Universal Robots, ABB, Fanuc, Han's Robot ja Kassow. Edellisten lisäksi voi löytyä muitakin, mutta opinnäytetyössä keskitymme näiden laitevalmistajien saatavilla oleviin käsivarsirobottimalleihin.

4.1 Techman/Orion

Techman valmistaa TM-sarjaa, jota Suomessa jälleenmyy ainakin Wisematic ja Robia Oy. Techman sarjan markkinoinnista ja myynnistä vastaa kansainvälisesti myös Orion. Saatavilla on neljä eri mallia, eli TM5-700, TM5-900, TM12 ja TM14. Techmanin sarjan mallit TM12 ja TM14 on mahdollista integroida myös mobiilirobottiin, joita myös saa ostettua Wisematicin kautta. Lisäksi kaikissa saatavilla olevissa malleissa on sisäänrakennettu konenäköjärjestelmä. Kaikki nämä TM-sarjan mallit ovat 6-akselisia. Ulottuma niissä on 700–1300 mm. Kuorman kantokyky vaihtelee 4–14 kg:n välillä. Kuvassa 5 on yksi TM sarjan yhteistyörobottimalleista. [7.]



Kuva 5. TM5-700. [7.]

4.2 KUKA

KUKAlta on saatavilla kahta eri sarjaa yhteistyöroboteista. Sarjat ovat LBR iiwa ja LBR iiyo. Näitä kobotteja Suomessa toimittaa Ferob Oy. Näiden kobottien kantokyky on 3–14 kg. Ulottuvuutta niillä on 600–820 mm. Kaikissa malleissa on voimantunnistus. Niissä on myös KUKA Sunrise -robottiohjaimet, missä on Java-pohjainen ohjelmointiympäristö. Kuvassa 6 on KUKA-yhteistyörobotti mallia LBR iiwa. [8.]



Kuva 6. LBR iiwa. [8.]

4.3 YASKAWA

YASKAWA valmistaa MOTOMAN HC sarjaa, joita saa Suomesta hankittua ainakin suoraan YASKAWAn kautta. Saatavilla on HC10 ja HC20 mallien kobotteja. HC10 mallissa ulottuvuus on 1379 mm ja HC20 mallissa 1900 mm. Hyötykuorman kantokyky HC10 mallissa on 10 kg ja HC20 mallissa 20 kg. Näissä

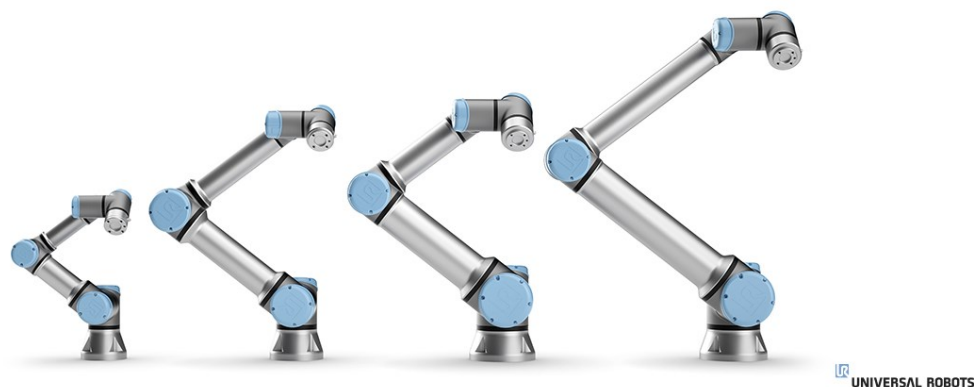
kobotti malleissa on myös voimantunnistus ominaisuus. Kuvassa 7 on MOTOMAN HC10 -mallinen yhteistyörobotti, joka on YASKAWAN valmistama. [9.]



Kuva 7. MOTOMAN HC10. [10.]

4.4 Universal Robots

Universal Robots valmistajan kobotteja välittää Oy Machine Tool Co ja Robia Oy. Universal Robots valmistaa UR sarjaa, josta saatavilla on 4 eri mallia, jotka on UR3e, UR5e, UR10e ja UR16e. Kantokyky näillä koboteilla vaihtelee 3-16 kg välillä. Ulottuvuutta on 500–1300 mm. Äänenvoimakkuus vaihtelee 60-65 dB välillä ja painoa näillä koboteilla virtajohdon kanssa on 11,2–33,5 kg. Kuvassa 8 on edellä mainitut mallit Universal Robots yhteistyöroboteista. [4.]



Kuva 8. Yhteistyörobotit UR3e, UR5e, UR10e ja UR16e [4.]

4.5 ABB

ABB valmistaa GoFa-, YuMi- ja SWIFTI-yhteistyörobotteja, joita se myös itse myy Suomessa. YuMi IRB14000 -mallissa on erikoisuutena kaksi robottikättä, jotka toimivat yhteistyössä samassa robotissa. Tämä Yumi -malli jaksaa kantaa vain 0,5 kg:n painoista kuormaa. Samasta kobottimallista on myös yksikätkäinen versio. Ulottuvuus molemmissa versioissa on 559 mm. Painoa yksikätkisellä versiolla on 9,6 kg ja kaksikätkisellä 38 kg. [11.]

GoFa -mallin kuormankantokyky on 5 kg. Ulottuvuutta sillä on 950 mm ja painoa 27 kg. Se on suunniteltu erityisesti ensikertalaisten käyttöä varten. [12.]

SWIFTI-mallissa puolestaan kuormankantokyky on 4 kg. Ulottuvuutta on 475 / 580 mm ja painoa 21 kg. Myös tämä malli on suunniteltu ensikertalaisille tai vähän osaaville. Kuvassa 9 on Yumi dual arm, eli IRB 14000 -yhteistyörobotti. [13.]



Kuva 9. Yumi IRB14000. [14.]

4.6 Kassow

Kassow valmistaa KR-sarjaa, jota jälleenmyy Suomessa Robia Oy. Kassowin valmistamissa koboiteissa erikoisuutena on seitsemän akselia, perinteisen kuuden sijaan. Seitsemäs akseli mahdollistaa esimerkiksi sorvin tai muun työstökoneen paremman palvelemisen. KR-sarjaan kuuluu viisi erilaista mallia, jotka ovat KR810, KR1018, KR1205, KR1410 ja KR1805. Ulottuma näissä malleissa on 850–1800 mm ja kuormankantokyky on 5–18 kg. Kuvassa 10 on esitelty KR-sarjan yhteistyörobotteja. [15.]



Kuva 10. Kassow KR yhteistyörobotti. Vasemmalta luettuna KR1805, KR1410, KR1205, KR1018 ja KR810. [15.]

4.7 Fanuc

Fanuc valmistaa yhteistyörobotteina CR-sarjaa, jossa Suomessa jälleenmyyjänä toimii MTC Flextek Oy Ab. Fanucin malleja on saatavilla seuraavanlaisia: CR-4iA, CR-7iA, CR-7iA/L, CRX-10iA, CRX-10iA/L, CR-14iA/L, CR-15iA ja CR-35iA. Ulottuvuus näillä roboteilla on 550–1813 mm. Kuormankantokyky on puolestaan 4–35 kg. Kuvassa 11 on Fanuc CR4iA -mallinen yhteistyörobotti. [16.]



Kuva 11. Fanuc CR4iA. [16.]

4.8 Han's Robot

Robia Oy myy myös Han's Robot -nimisen valmistajan yhteistyörobotteja. Han's Robot on isomman Han's Laser Technology Groupin tytäryhtiö, joka valmistaa pääosin laserkoneita ja työllistää yli 13000 henkilöä. Han's Robot valmistaa E-lin nimistä sarjaa, josta on saatavilla 6 mallivaihtoehtoa. Nuo mallit ovat E3, E5, E5-L, E10, E10-L ja E15. Kantokyky näissä koboiteissa on 3–15 kg ja ulottuvuus 590–1300 mm. Kuvassa 12 on yksi tämän sarjan malli. [17.]



Kuva 12. Han's Robot -yhteistyörobotti. [17.]

5 Simulaatiotyön kulku

Teknologiamesuille tehtävässä simulaatiotyössä on tarkoituksena toteuttaa simulaatiotiedostot ja nauhoittaa niistä videot. Simulaatioon tulisi laatia sellainen ympäristö, joka vastaisi Metropolian Myyrmäen kampuksella olevaa Robo Garage -työtilaa. Simulaatioiden on tarkoitus sisältää myös yhteistyörobotteja, jotka pakkaisivat jotain esimerkiksi tarjottimille, liikuttelisivat tavaraa paikasta toiseen, hitsaisivat tai liimaisivat jotain. Työlle annettiin asiakkaan puolesta melko vapaat kädet määritellä työn sisältö noiden ohjeiden mukaan.

Työ alkoi tutustumisella Visual components- ja Robotstudio -ohjelmistoihin. Tutustumisen ja opettelun lisäksi piti miettiä, millaiset simulaatiot voisivat olla sovelia messuja varten. Suunniteltiin tehtäväksi jotain Yumin dual arm -yhteistyörobotilla, josta oli tarkoitus tehdä toinen työ myös kobotin oikealla versiolla. Tällä kobotilla voisi pakata jotain, esimerkiksi tarjottimen näköiselle kappaleelle. Toinen simulaatio voisi olla Visual componentsilla ja KR3 yhteistyörobotilla tehty liimaus tai hitsaus. Tutkittiin näihin liittyviä videoita.

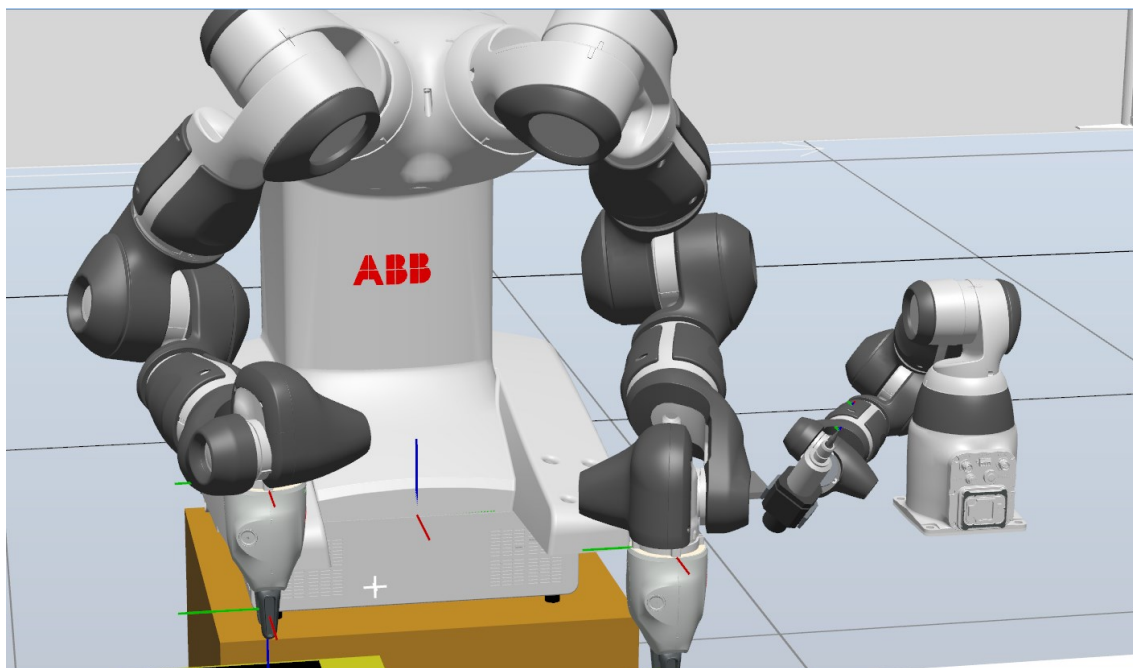
5.1 Työssä käytetyt yhteistyörobotit

Seuraavassa esitellään kobottimallit, jotka olivat käytössä simuloinneissa ja niiden tehtävät siinä.

5.1.1 ABB single arm ja dual arm

ABB single arm- ja dual arm -kobottimallit olivat käytössä ABB:n Robotstudio -ohjelmistossa. Single arm malli oli simulaatiossa vain rekvisiittana, koska loppuvaiheessa ei enää riittänyt aika sen ohjelmoimisen opetelemiseen. Dual arm mallia eli kaksikäätistä - käytettiin liikuttamaan ohjelmistolla luotuja kappaleita liukuhihnalta tarjottimen päälle. Tässä ajatuksena oli se, että dual arm voisi toimia apulaisena esimerkiksi keittiössä ja pakata tavaraa tarjottimille. Pakatut tarjottimet ihminen voisi siirtää eteenpäin esimerkiksi pöytiin. Työkaluina kobotilla oli molemmissa käsissään tarttujat, jotka aukeavat 0–25 mm, eli kovinkaan isoja

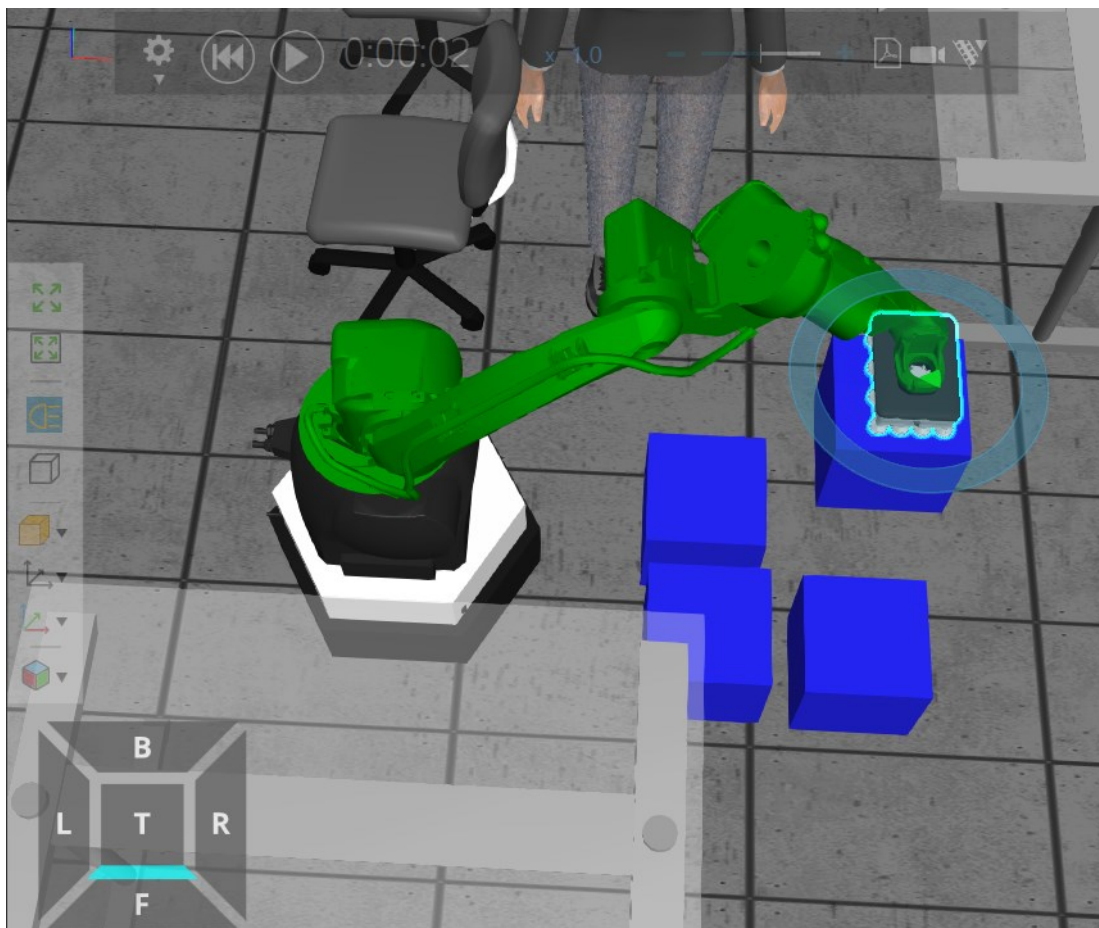
esineitä se ei pystynyt niillä siirtämään. Tämä piti ottaa huomioon kappaleiden mallinnuksessa, jotka olivat paksuudeltaan vain 20 mm. Onhan dual arm -kobottiin saatavilla isompiakin tarttuvia, joilla on mahdollista siirrellä isompia kappaleita, mutta tähän tarkoitukseen tuokin tarttuvia kävi hyvin. Kuvassa 13 on Robotstudioissa käytetyt yhteistyörobotit, eli ABB:n single arm ja dual arm.



Kuva 13. Dual arm- ja single arm-yhteistyörobotit.

5.1.2 Fanuc CR-15iA

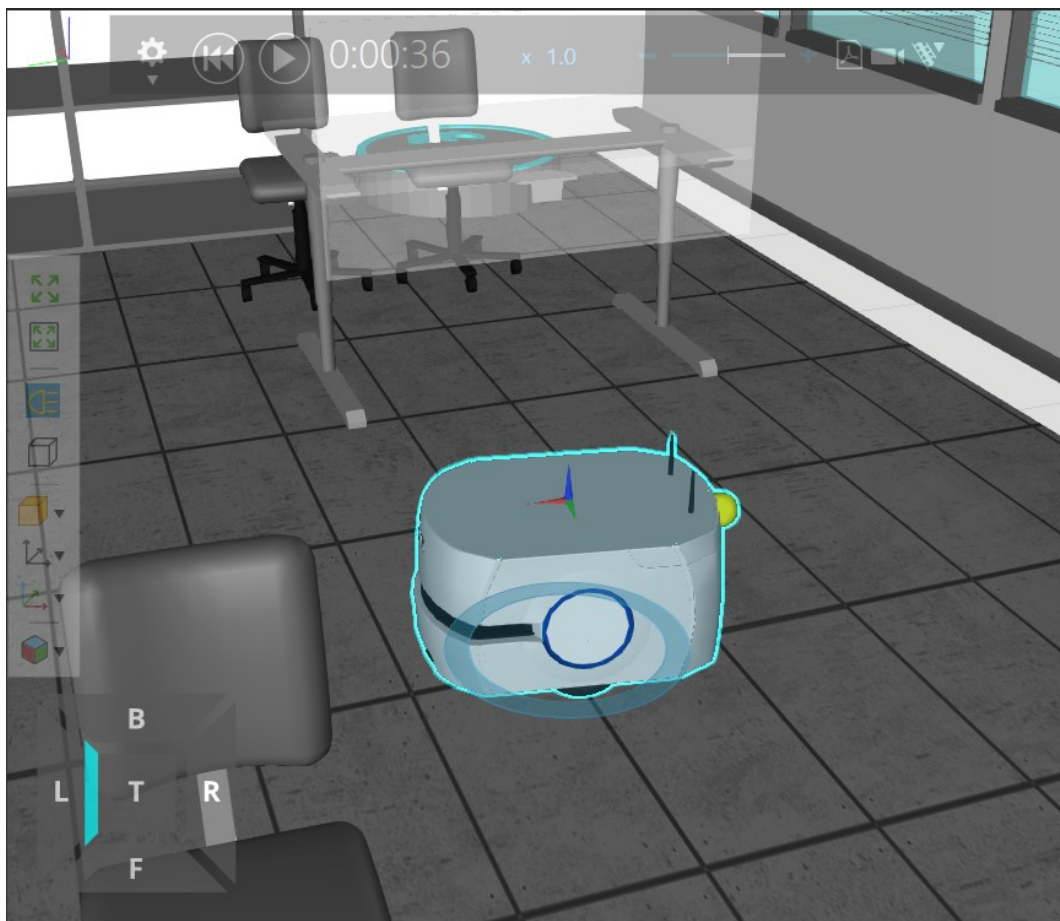
Fanucin kobottimalli eli CR-15iA ja kaikki loput kobottimallit, jotka esitellään alempana, olivat käytössä Visual Componentsin simuloinnissa. Tässä simuloinnissa CR-15iA siirteli isoja kuutioita alipainetarttujan avulla. Tämä alipainetarttuja oli mallia VGP 20 Gripper. Kuvassa 14 on esitelty Fanuc CR-15iA -yhteistyörobotti ja VGP20 Gripper -tarttuja.



Kuva 14. Fanuc ja VGP 20 Gripper.

5.1.3 Omron LD60

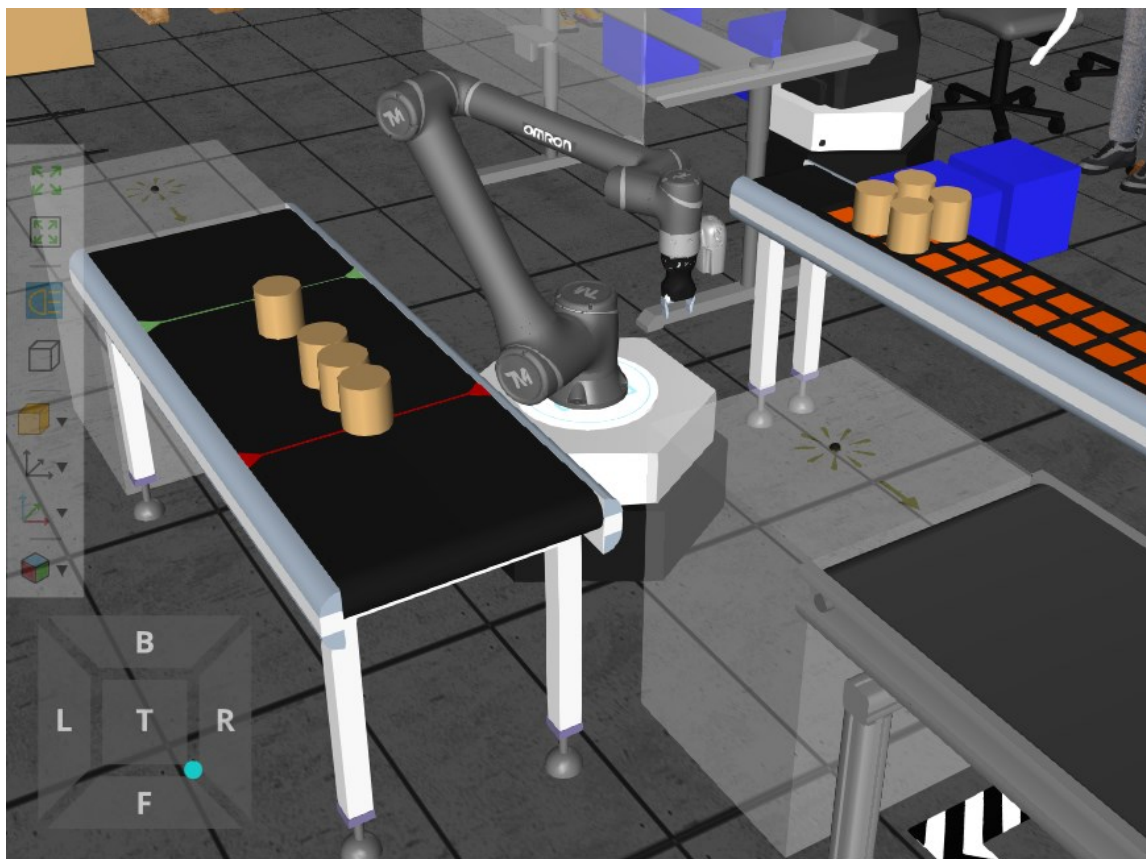
Omronin LD60 mobiilirobotti on ns. ajoneuvorobotti, mutta se luokitellaan usein myös yhteistyörobotiksi, koska se toimii yhteistyössä samalla alueella ihmisten kanssa. Tämän kobotin tehtävänä oli siirrellä sylintereitä lattialla yhdestä paikasta toiseen paikkaan. Kuvassa 15 on LD60 -mobiilirobotti Visual Components -simulaatiossa.



Kuva 15. Omronin LD60 mobiilirobotti.

5.1.4 Omron/Techman TM12

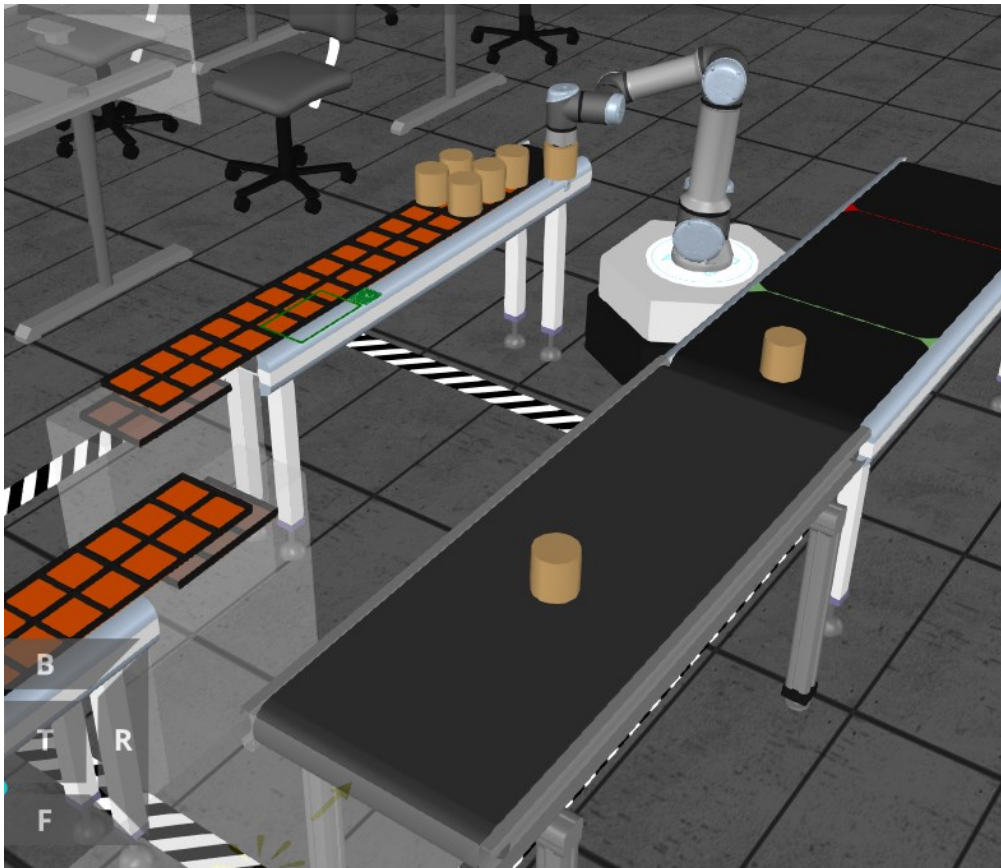
Techmanin TM12-sarjan kobotti siirteli sylintereitä liukuhihnalta tarjottimelle, jotka kulkivat toisella liukuhihnalla. Tarjottimen liukuhihna siis pysähtyi aina loppussa ja odotti että kobotti saa tarjottimen täyteen ja sitten taas kuljetti täyden tarjottimen eteenpäin. Sylintereitä kuljettava liukuhihna ei pysähtynyt ollenkaan, mutta sillä liikenopeus on sen verran rauhallinen, että kobotti ehtii siirtää kaikki sylinterit tarjottimille. Kuten dual armilla myös tällä kobotilla oli työkalunaan tarttuja. Kuvassa 16 on TM12-kobotti ja Robotiq -valmistajan Hand-e tarttuja.



Kuva 16. Omronin/Techmanin TM12.

5.1.5 Universal Robots UR16e

Universal Robotsin UR16e:n tehtävä oli sama kuin ylempänä esitellyn TM12-kobotin, eli siirtää sylintereitä liukuhihnalta toiselle liukuhihnalle, jossa kulkee tarjottimet. Kuvassa 17 UR16e-kobotti ja Robotiq -valmistajan Hand-e-tarttuja.



Kuva 17. Universal Robotsin UR16e

5.2 Simulaatioiden sisältö ja työstäminen

Tässä alakappaleessa kerron, että miten teknologiamessuille tarkoitetut simulaatiot työstettiin ja mikä oli niiden sisältö.

5.2.1 Visual Components -simulaatio

Tämä työ aloitettiin ympäristön luomisella. Yritettiin hyödyntää erään ohjaajan aikaisemmin tekemää autocad -tiedostoa, jossa oli Myyrmäen kampuksen Robo Garage -työtilan huoneet piirrettynä 3d-muodossa. Tämä tiedosto ei avautunut alkuun ollenkaan, mutta lopulta monen uudelleen tallennuksen myötä saatiin se näkyviin ohjelmistoon. Tämä ei kuitenkaan auttanut, koska ympäristöstä tuli aivan liian pieni, eikä sen suurentaminen onnistunut mitenkään. Kuvassa 20, joka näkyy myöhemmin raportissa, on jäljitelty ympäristö ja kuvassa 21 tähän

simulaatioon luotu ympäristö. Ympäristöön tuli tummanharmaa lattia, työpöytiä ja tuoleja, iso tavarahylly ja rappuset, jotka kuvasivat sitä, että tilassa on kaksi kerrosta. Ympäristö on rajattu vaaleilla seinillä, mutta huoneen mittakaava ei ole ihan yksi yhteen alkuperäisen tilan kanssa.

Seuraavassa vaiheessa lisättiin työhön UR3e-kobotin, kaksi kuljetinta ja niihin tavaransyöttäjät (feeders). Kobottiin lisättiin työkaluksi tarttuja. Simulaatio saatiin toimimaan niin, että ensimmäinen tavaransyöttäjä syöttää sylintereitä ja kuljetin 1 kuljettaa ne eteenpäin ja toinen tavaransyöttäjä syöttää tarjottimia, jotka kuljetin 2 kuljettaa eteenpäin. Kuljettimen loppupäässä yhteistyörobotti siirtää sylinterit tarjottimille, josta kuljetin 2 kuljettaa sekä sylinterit, että tarjottimet pakattuina eteenpäin. Vastaavanlainen simulaatio toteutettiin myös toisella yhteistyörobotilla, eli TM12-mallilla ja toisilla kuljettimilla, jotka lisättiin samaan simulaatioon.

Seuraavaksi simulaatioon lisättiin Fanuc CR-15iA ja sille imukuppitarttuja VGP20. Lisäksi lattialle lisättiin eur-lava, ihmisiä ja neljä sinistä isoa kuutiota. Lava ja ihmiset ovat simulaatiossa vain rekvisiittana. Simulaatiossa saatiin Fanuc-kobotti toimimaan siten, että se siirtelee niitä neljää isoa kuutiota lattialla paikasta toiseen, kahden ihmisen tiukassa valvonnassa. Ihmisten avulla videolta näkee myös simulaatiossa olevien kobottien kokoluokan hyvin.

Lopuksi työhön lisättiin vielä Omronin LD60 -mobiilirobotti ja pari tavaransäilytykseen tarkoitettua alustaa. Simulaatiossa ensimmäinen alusta luo sylintereitä, jotka mobiilirobotti käy hakemassa ja jotka siirtyvät automaattisesti tämän robotin kyytiin. Siitä tämä mobiilirobotti jatkaa matkaa toiselle alustalle, johon saavuttuaan kuorma tyhjenetään sille alustalle. Sitten robotti jatkaa taas ensimmäiselle alustalle hakemaan uutta kuormaa. Työhön lisättiin vielä kolmas ihminen pitämään silmällä mobiilirobotin toimintaa.

Tästä Visual Components -simulaatiosta tuli noin yhden minuutin pituinen video. Tämä valmis simulaatiovideo löytyy liitteestä 1.

5.2.2. Robotstudio -simulaatio

Tämänkin simulaation teko alkoi ympäristön luomisella. Tähän hyödynnettiin samaa ohjaajan aikaisemmin luomaa autocad 3d-mallipohjaa Robo Garage -työtilasta, kuin mitä yritettiin hyödyntää Visual Components simulaatiossa. Tämä 3d-tiedosto olikin hyödyllinen tässä tapauksessa, koska huoneisto saatiin vastaamaan alkuperäistä tilaa melko hyvin, myös mittakaavaltaan. Aluksi siis tuotiin autocad -pohja Robotstudioon ja työstettiin mittakaava oikean kokoiseksi. Sen jälkeen kaikkiin pintoihin ja elementteihin piti lisätä oikeanlaiset värit, koska niitä ei alkuperäisestä tiedostosta tullut. Ympäristöstä tuli lyhyesti kuvattuna seuraavanlainen: Vaalean harmaa lattia, työpöytiä ja tuoleja, kaksi kerrosta (ylemmässä kerroksessa lisää pöytiä ja tuoleja ja pöydillä kannettavat tietokoneet), iso hylly takaseinälle ja rappuset. Kuvassa 20 voi nähdä jäljitellyn ympäristön ja kuvassa 22 tämän Robotstudion ympäristön.

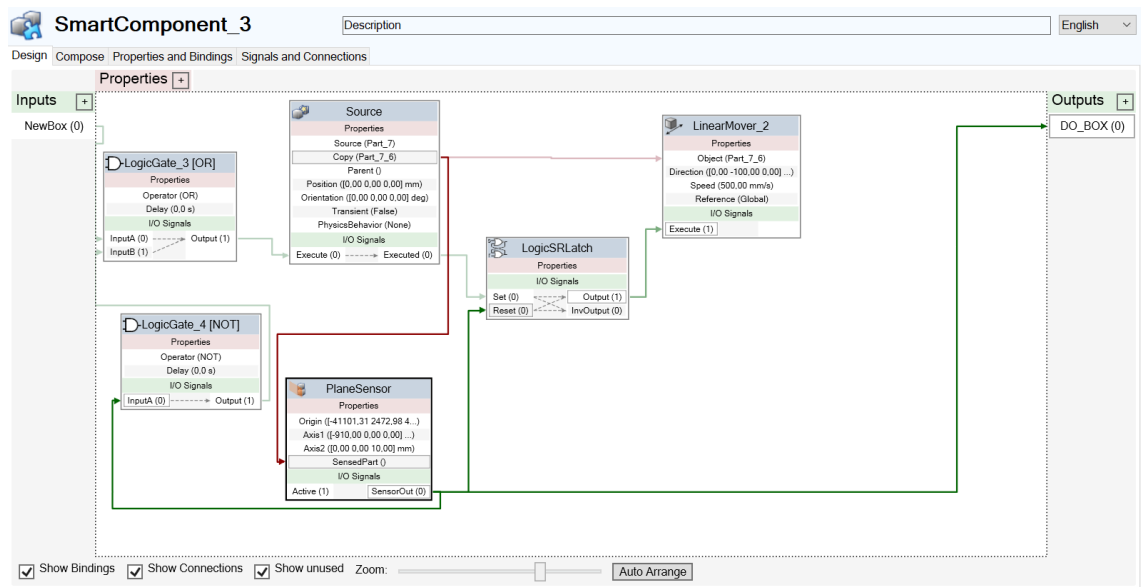
Seuraavaksi simulointiin lisättiin ABB:n dual arm -kobotti, joka asetettiin seisomaan melko keskelle ensimmäisen kerroksen huonetta. dual arm -kobotille laitettiin molempiin ”käsiin” työkaluiksi tarttujat. Viereen laitettiin kuljetin, joka toteutettiin Smart Components -ominaisuudella, ja iso kuutio, jonka päällä oli tarjotin. Lisäksi rekvisiitaksi lisättiin ihminen vartioimaan dual arm -kobotin ja kuljettimen toimintaa. Rekvisiitaksi lisättiin myös ABB:n single arm -kobotti. Lopuksi vielä luotiin kappale, jota simulaatiossa käytettäisiin pakattavana objektina. Kappaleesta tuli 20 mm paksu ja 60 mm pitkä ja harmaa kappale.

Tässä simulaatiossa kuljettimen päästä lähtee luotu kappale liikkeelle, joka kulkee kuljettimen päähän asti. Siellä anturi (plane sensor) tunnistaa kappaleen saapuneeksi ja ilmoittaa kuljettimelle, että pitää pysähtyä. Tämän jälkeen dual arm -kobotti käy nostamassa kappaleen vasemmalla kädellään ja antaa sen oikeaan käteensä, jonka avulla laittaa kappaleen tarjottimelle. Tämän jälkeen kuljetin tuo taas uuden kappaleen sen päähän, jonka dual arm taas noutaa. Kun kolme kappaletta on siirretty tarjottimelle, tarjotin on täynnä ja sarja alkaa taas alusta.

Robotstudion simulaatiosta tehtiin noin 40 sekunnin mittainen video. Tästä videosta on linkki liitteessä 1.

5.3 Ohjelmointi

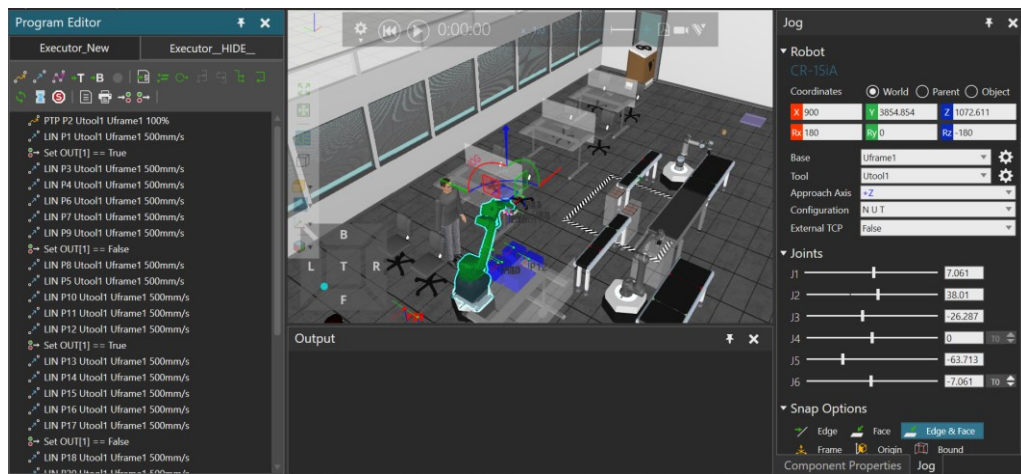
Seuraavassa esitellään pari insinööriyössä syntyneitä ohjelmointia. Kuvassa 18 on esiteltyä Robotstudion kuljettimen ohjelmointi Smart Components osiossa. Tämä ohjelma sai kuljettimen toimimaan niin, että joko painamalla tulo NewBox aktiiviseksi tai PlaneSensorin tieto siitä, että mitään kappaletta ei ole kuljettimen päässä antaa tiedon, että kuljettimeen pitäisi tuottaa uusi kappale. Source komponentti tuottaa kopion alkuperäisestä kappaleesta, joka liikkuu kuljettimen mukana eteenpäin. Linear Moverin on tarkoitus määritellä kuljettimen liike (suunta/nopeus). Plane Sensor havaitsee sen, kun kappale on tullut kuljettimen päähän. Tämä ohjelma kuului siis kuljettimeen, joka luo uuden kappaleen aina, kun kuljettimen päässä oleva anturi ei sellaista havaitse ja kuljettaa sen kuljettimen loppupäähän, mihin kuljetus pysähtyy.



Kuva 18. Kuljettimen ohjelma Robotstudiossa.

Toisen insinööriyössä syntynyt ohjelma näytetään Visual Componentsin simuloinnista. Tässä ohjelmointimenetelmänä on käytetty nykyaikaista

yhteistyöroboteilla toteutettavaa menetelmää. Tässä menetelmässä robotille tai kobotille on opetettu jokainen liike erikseen, kirjaamalla se muistiin piste pisteeltä. Lisäksi on määritelty liikenopeudet. Simulaatiossa kobotti pysähtyy, mikäli se ei voi saavuttaa kyseistä pistettä syystä tai toisesta. Silloin kannattaa määrittää piste uudelleen, laittaa välipiste tai muuttaa liikenopeuksia/muita asetuksia. Kuvassa 19 vasemmalla näkyy ohjelmaan määritetyt pisteet, keskellä on simulointiruutu ja oikealla asetusruutu, jossa voi määrittellä kobotin liikuttamiseen liittyviä asetuksia.



Kuva 19. kädestä pitäen ohjelmointi Visual Componentsissa.

5.4 Simulaatiotyön ongelmanratkaisut

Työn aikana tuli muutamia ongelmatilanteita, joihin työ jumiutui pariiksi päiväksi kerrallaan. Ensimmäinen isompi ongelma oli, kun yritettiin käyttää Robo Garage tilasta tehtyä autocad pohjaa simulointiohjelmistoissa. Ensimmäinen sähköpostilla ohjaajalta saatu tiedosto ei suostunut avautumaan kummassakaan ohjelmistossa ollenkaan. Sitten mietittiin, että millä saataisiin tallennettua tiedosto sellaiseen muotoon, jota voitaisiin hyödyntää. Ensimmäisenä ladattiin Cadmatic niminen ohjelman ja avattiin tiedosto sillä ja tallennettiin uudestaan. Lopputulos oli se, että nyt tiedosto avautui Robotstudiolla, mutta värittömänä ja todella

pienessä koossa, niin pienessä, että käytetyt robotitkin olivat sitä isompia. No seuraavana sitten ladattiin ja asennettiin erään opettajan suosittama Pcon Planner niminen ohjelmisto. Taas avattiin tiedosto ja tallennettiin uudestaan. Lopputulos tästä oli se, että tiedosto avautui nyt oikeassa koossa, ilman värejä Robotstudion ohjelmistossa, mutta Visual Componentsin ohjelmistolla ei vielä. Kokeiltiin vielä kolmatta ohjelmaa, eli Autocad 2021, mutta lopputulos oli sama kuin edellisenkin jälkeen. Päätettiin sitten ottaa tämä ympäristön Robotstudioon ja luoda kokonaan uusi ympäristö Visual Componentsiin sen valmiilla komponenteilla. Robotstudion versioon piti vielä lisätä värit erikseen jokaiseen komponenttiin.

Toinen isompi ongelma tuli, kun oltiin tekemässä Robotstudion simuloinnissa kuljetinta, joka toimii Smart Componentin avulla. Siinä käytettiin kuljettimen päässä pinta-anturia (plane sensor), kun anturi tunnistaa kappaleen kuljetin pysähtyy ja kun kappale poistuu, kuljetin taas käynnistyy. Tätä ei meinattu kuitenkaan millään saada toimimaan, vaan kuljetin jatkoi kulkuaan niin kauan, kunnes simulaatio loppui. Vikaa etsittiin monesta eri paikkaa, mutta mikään ei tahtonut auttaa, mutta lopulta huomattiin, että anturi oli asennettu liian matalalle ja se tunnisti koko ajan kappaleeksi itse kuljettimen. Tämä asia ratkaistiin lopulta nostamalla anturia ylemmäs. Tämän olisi voinut ratkaista myös niin, että olisi vain muutettu asetuksista kuljettimen antureille huomaamattomaksi (mitä ei pysty tosielämässä tekemään).

5.5 Geometria eli Robo Garagen ympäristö

Tässä alaluvussa esitellään alkuperäisen ympäristön ja simuloiteihin tehdyt jäljitellyt ympäristöt. Kuvassa 22 on työn alussa otettu kuva alkuperäisestä ympäristöstä, jota simuloiteihin oli tarkoitus jäljitellä, eli koulun Robo Garagen työtilasta.



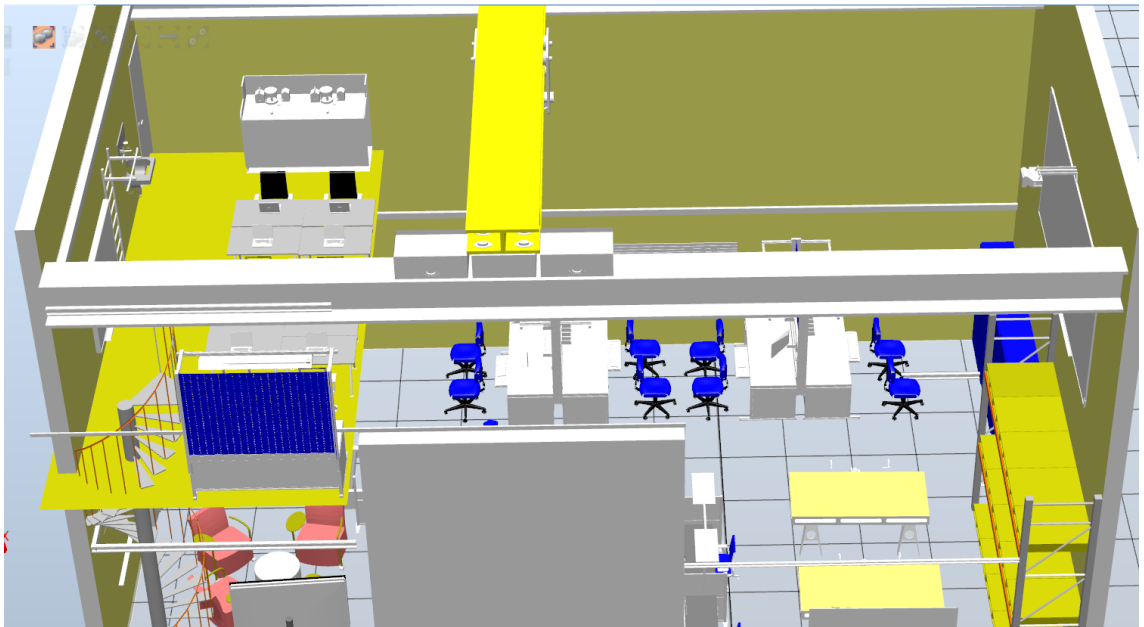
Kuva 20. Robo Garagen työtila.

Kuvassa 21 on ympäristö, joka tuli Visual Componentsin simulointiin. Tämä luotiin käyttämällä Visual Componentsin kirjastossa olevasta valmiista pohjasta, sitä muokkaamalla ja lisäämällä siihen erilaisia komponentteja, kuten pöydät, tuolit yms.



Kuva 21. Visual Components simulaation ympäristö.

Kuvassa 22 on Robotstudioon tehty ympäristö, johon käytettiin pohjana erään opettajan aiemmin tekemää CAD-tiedostoa.



Kuva 22. Robotstudion ympäristö.

5.6 Työn tekemisen ja toimintatapojen arviointi

Työssä käytetyt ohjelmistot olivat huippuluokkaa, niiden valinnat olivat onnistuneet työn lopputuloksen kannalta. Työssä oli tarkoituksena käyttää samoja sovelluksia, joihin koululla on olemassa lisenssit, jotta tiedostojen jatkokäyttö olisi ylipäänsä mahdollista. Aluksi olisi tosin voitu tarkistaa, mikä versio työssä käytetyistä ohjelmistoista koululla oli käytössä, jotta lopputuloksista olisi saatu tehtyä paras mahdollinen koululle.

Välillä käytettävissä ollut aika aiheutti turhaa henkistä raskautta. Näin kävi, koska työn alku hieman viivästyi ja näin työlle oli varattu vain pari kuukautta tehokasta työaika. Tämä aiheutti sen, että mikäli tuli sairastumisia yms. viivästyksiä, jonka aikana työn tekeminen ei onnistunut, se piti ottaa jostain pois. Onneksi kuitenkin työ saatiin suoritettua sovittuun aikaan mennessä.

5.7 Simulaatioiden lopputulos

Työn lopputuloksena oli yksi minuutin pituinen video Visual Components -simuloinnista, yksi 40 sekunnin pituinen video Robotstudio -simuloinnista (liitteessä 1 linkit videoihin), sekä Visual Componentsin ja Robotstudion tiedostot simulointiohjelmista, joissa on mukana ympäristö Robo Garage työtilasta.

Lopputulos työstä oli aikatauluun nähden hyvä. Työn lopputuloksen kokoon vaikutti myös se, että monet asiat mitä työssä toteutettiin, piti ensin opetella ja sitten vasta sai lisättyä ne itse insinööriyöhön. Siksi ei arvioitu tulosta pelkästään sen laajuuden valossa. Lisäksi monesti tuli vielä ongelmia itse asioiden toteuttamisessa insinööriyössä (esimerkkinä ohjelmointi vikailmoitukset, jotka estivät eteenpäin pääsyn ennen kuin ne oli korjattu). Lopputuloksessa jäi kuitenkin harmittamaan Robotstudio demon vähäinen robottimäärä, koska lisämäärä olisi tuonut enemmän mielenkiintoa simulointivideoon. Lisäksi aloituskokouksessa ehdotetut liimaus ja hitsaussimuloinnit jäivät lopputuloksesta pois, koska niiden opettelu ei onnistunut projektin aikataulussa, vaan aika loppui sen osalta kesken. Loppuvaiheessa huomattiin myös, että koululla on käytössä vain 2020

vuoden versio ohjelmistosta ja työ on tehty 2021 vuoden versiolla, ja kun testattiin simulointia 2020 versiolla, se ei täysin toiminut niin kuin uudemmalla versiolla. Jatkokäyttöön tuon ongelman ei pitäisi vaikuttaa, koska videot saatiin uudemmalla versiolla nauhoitettua ja ympäristö toimi vanhalla versiolla yhtä hyvin kuin uudella. Työn loppuvaiheessa lisättiin mobiilirobotti Visual Componentsin simulointiin ohjaajan toiveiden mukaan. Ja tehtiin työohje Smart Componentsin käyttöä varten, josta ei ollut puhetta vielä aloituskokouksessa. Varmasti myöhemmin lisätyt asiat voivat korvata puutteet, joita ei saatu työhön.

6 Jatkokehitysmahdollisuudet

Projektissa syntyi Visual Componentsin ja Robotstudion simulointitiedostot, molemmista omat videoklipit (liite 1), työohje Robotstudioon (liite 2) ja lisäksi tässä raportissa on Suomessa saatavilla olevia malleja yhteistyöroboteista ja yleistä tietoa yhteistyörobotiikasta. Jatkossa olisi tarkoitus näitä nauhoitettuja videoklippejä näyttää teknologiamessuilla.

Jatkoa ajatellen koululla on nyt pohjat, joihin on hyvä kehittää projektin esimerkiksi simulointeja Big-Flash-hankkeen jatkokon liittyen. Visual Componentsin ympäristöä Robo Garagen tiloista olisi myöhemmissä projekteissa järkevää mallintaa vielä enemmän muistuttamaan alkuperäistä tilaa. Sitä vastoin Robotstudion ympäristö on jo paljon lähempänä aitoa Robo Garagen tilaa (esimerkiksi mittasuhteiltaan), mutta kummassakaan versiossa ei tarvitse tilan osalta lähteä enää tyhjästä liikkeelle. Lisäksi raportissa oleva markkinoilla olevien yhteistyörobottien kartoitus voi olla hyödyksi, kun mietitään uusia mahdollisia veturiyrityksiä hankkeelle. Työohjetta voidaan käyttää apuna, kun halutaan esimerkiksi perehtyä Smart Componentsin käyttöön ja sitä ohjettakin voidaan edelleen kehittää monipuolisemmaksi tulevaisuudessa.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli oppia tuntemaan yhteistyörobotiikkaa, tutkia niiden markkinoita, tehdä simulaatiovideot teknologiamessuille, ja työohje Robotstudioon. Simulaatiovideoissa tuli olla Myyrmäen kampuksen Robo Garage -työtilan ympäristö. Työohje liittyi Smart Components -toimintoon.

Insinööriyö oli moniosainen. Alussa tutkittiin verkon lähteistä yhteistyörobotiikkaa ja markkinoita. Sen jälkeen opiskeltiin kobottisimulointia Visual Components- ja Robotstudio -ohjelmistoilla ja laadittiin simulaatiot ja niistä vielä videot. Lopuksi vielä kirjoitettiin kaksisivuinen työohje Robotstudion Smart Componentsista. Valitettavasti teknologiamessut siirtyivät ensi vuodelle ja tämän johdosta videoiden lopputulos ei ehtinyt selvitä tähän raporttiin.

Työn aikana opittiin paljon uutta, mitä ei vielä koulutuksen aikana ollut aikaisemmin opittu. Tästä esimerkkeinä dual arm robotin ohjelmointi ja Smart Componentsin opettelu. Työssä päästiin myös hyödyntämään ja näyttämään koulutuksen aikana opittuja asioita, kuten käsivarsimallisten kobottien ohjelmoinnit. Kaiken kaikkiaan työssä päästiin näkemään se, että millaisia ne tulevat työtehtävät voisivat tällä alalla olla. Opittiin myös näkemään, että onko robotiikka sellainen ala, joka kiinnostaisi myös jatkossa, jos/kun tulee ajankohtaiseksi miettiä millaiseen työpaikkaan, haluaa hakea automaation eri vaihtoehtoista. Tärkein asia oli se, että työstä saatiin näkyviä tuloksia, kuten simulaatiovideot ja työohje Robotstudioon. Tästä on hyvä jatkaa kohti uusia projekteja.

Lähteet

1. About us. Verkkoaineisto. Visual Components. <<https://www.visualcomponents.com/about-us/>>. Luettu 5.11.2021.
2. Historia. Verkkoaineisto. ABB. <<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia>>. Luettu 5.11.2021.
3. Yhteistyörobotit vastaan teollisuusrobotit. Verkkoaineisto. Machinetool. <<https://www.machinetool.fi/blogi/yhteistyörobotit-vastaan-teollisuusrobotit>>. Luettu 5.11.2021.
4. Universal Robots -yhteistyörobotit. Verkkoaineisto. Machinetool. <<https://www.machinetool.fi/robotiikka/universal-robots-yhteistyörobotit>>. Luettu 5.11.2021.
5. Tehosta tuotantoa yhteistyöroboteilla. Esite. Machinetool. <https://www.machinetool.fi/hubfs/2019/Esitteet/Tehosta%20tuotantoa%20coboteilla_Machine%20Tool.pdf>. Luettu 5.11.2021.
6. Omron LD -mobiilirobotti. Verkkoaineisto. Algotechnics. <https://www.algotechnics.fi/ratkaisut/sairaalaratkaisut/omron-ld-mobiilirobotti?gclid=Cj0KCQjw4eaJBhDMARIsANhrQABNDODG9ydUWrcliFNnh_fD5elpefUIRHMpS78AKKau8Hc_ncFWT0YaAoGvEALw_wcB>. Luettu 5.11.2021.
7. Yhteistyörobotit. Verkkoaineisto. Wisematic. <<https://www.wisematic.com/fi/project/yhteistyörobotit/>>. Luettu 5.11.2021.
8. KUKA-Robotit eri sovelluksiin. Verkkoaineisto. Ferob. <<https://www.ferob.fi/teollisuusrobotit/kuka-robotit/>>. Luettu 5.11.2021.

9. HC- sarjan yhteistyörobotit. Verkkoaineisto. Yaskawa. <https://www.yaskawa.fi/tuotteet/robotit/yhteisty%25C3%25B6robotit/seriesdetail/serie/hc--sarjan-yhteistyorobotit_493>. Luettu 5.11.2021.
10. HC10. Verkkoaineisto. Motomanrobot. <<https://www.motomanrobot.se/produkt/hc10/>>. Luettu 5.11.2021.
11. Yumi. Verkkoaineisto. ABB. <<https://cobots.robotics.abb.com/en/robots/yumi/>>. Luettu 5.11.2021.
12. GoFa. Verkkoaineisto. ABB. < <https://cobots.robotics.abb.com/en/robots/gofa/>>. Luettu 5.11.2021.
13. SWIFTI. Verkkoaineisto. ABB. < <https://cobots.robotics.abb.com/en/robots/swifti/>>. Luettu 5.11.2021.
14. Dual-arm YuMI IRB 14000. Verkkoaineisto. ABB. <<https://webshop.robotics.abb.com/us/catalog/product/view/id/87/s/dual-arm-yumi-irb-14000-part-handling/category/3/>>. Luettu 5.11.2021.
15. Kassow-yhteistyörobotit. Verkkoaineisto. Robia. <<https://www.robia.fi/kassow-yhteistyorobotit/?cn-reloaded=1>>. Luettu 5.11.2021.
16. Collaborative Robots. Verkkoaineisto. Fanuc. <<https://www.fanuc.eu/pl/en/robots/robot-filter-page/collaborative-robots>>. Luettu 5.11.2021.
17. Han's robot. Verkkoaineisto. Robia. <<https://www.robia.fi/hans-robot/>>. Luettu 5.11.2021.

Simulointivideoiden osoitteet

Visual Components -simulaatio.

< <https://www.youtube.com/watch?v=iOF2H7QZhKA> >.

Robotstudio -simulaatio.

< <https://www.youtube.com/watch?v=qUVAYafmA2I> >.

Työohje Robotstudion Smart Componentin käyttöön

Tässä työohjeessa tutustutaan Smart Componentin käyttöön

Smart Component luodaan valitsemalla **Modeling→Smart Component** sen jälkeen aukeaa SmartComponent ikkuna

Kohdassa child component lisätään työssä tarvittavia komponentteja.

Valitaan esimerkiksi seuraavat komponentit (näitä komponentteja tarvitaan, jos halutaan luoda kuljetin, joka luo kappaleen ja liikuttaa sitä, kunnes pysäyttää kappaleen kuljettimen loppupäässä ja luo uuden kappaleen, kun vanha on siirretty pois):

Source (add component→actions→source)

Linear Mover (add component→manipulators→linear mover)

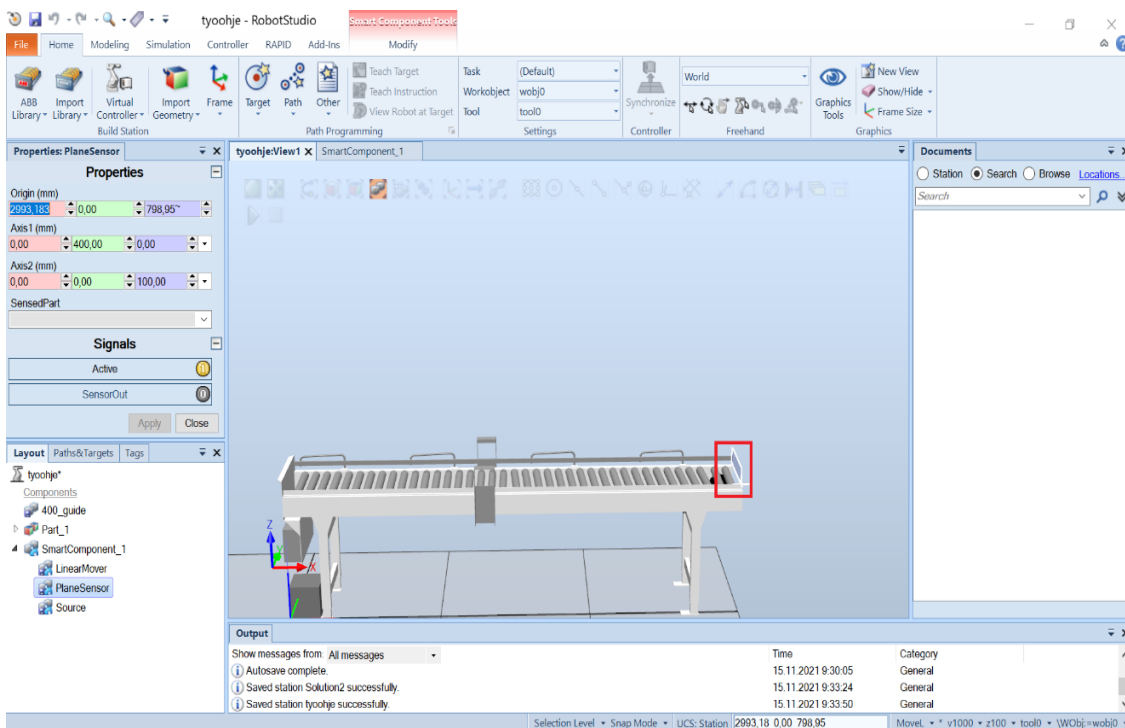
Plane sensor (add component→sensors→plane sensor)

Queue (add component→other→queue)

Sourcen properties ikkunassa voidaan valita source kohtaan kappale, joka on esimerkiksi aiemmin luotu kappale, tai jokin valmiskappale, joka löytyy kirjastosta. Tähän valitaan siis kappale, jota halutaan liikuttaa kuljettimen avulla. Position kohdassa voidaan valita paikka, josta kappaleet lähtevät liikkeelle kuljettimella. Klikkaa siis kuljettimen paikkaa sen alkupäästä ja paina **Apply**.

Linear moverin properties ikkunassa speed kohtaan voidaan kirjoittaa haluttu nopeus kuljettimelle, esimerkiksi 500 on yleensä aika hyvä ja hyväksytään valinta painamalla **Apply**.

Valitsemalla plane sensor ja Axis1 ja Axis2 kohtaan tulee mitat, minkä kokoisen anturin halutaan laittaa paikkaan, jonne halutaan liikkeen pysähtyvän. (yleensä kuljettimen loppupäähän). Origin kohdasta määritellään, että missä paikassa on anturin origo. Se on tärkeää määritellä aina.



Ai niin, myös itse kuljetin kannattaa tiputtaa Smart Componentsiin drag & drop tyyliin, jos se kuuluu tehtävään työhön (näky compose valikossa other kohdassa, jos on tiputettu).

Sitten kun komponenteille on määritelty sopivat ominaisuudet Design kohdasta voi tehdä ohjelmointiosuuden. Alla on esimerkkikuva kuljettimen ohjelmoinnista.

