

Ville Peltomaa

ROBOTISOITU TYÖSTÖKONEEN PALVELU

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Tuotantotalouden koulutus
Maaliskuu 2019**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Maaliskuu 2019	Tekijä/tekijät Ville Peltomaa
Koulutusohjelma Tuotantotalous		
Työn nimi Robotisoitu työstökoneen palvelu		
Työn ohjaaja Jari Kaarela, Sakari Pieskä		Sivumäärä 45
Työelämäohjaaja Jari Mäkelä		
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja simuloida Centrian tuotantolaboratorion tapainen tuotantosolu, johon lisätään käsivarsirobotti. Tuotantolaboratoriossa on Deckel Maho DMU 80 T -työstökone. Työ tehtiin Centria Ammattikorkeakoululle I3-hankkeeseen.</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin SolidWorks ja Visual Components ohjelmistoilla. SolidWorks 3D-ohjelmistolla suunniteltiin kaikki tarvittavat kappaleet. Visual Components -ohjelmistolla työ simuloitiin. Simuloinnin valmistuttua siitä tehtiin malli, jota voidaan katsoa AR- ja VR-lasien avulla.</p> <p>Simulointi onnistui Universal Robots 10 -käsivarsirobotin kanssa hyvin, mutta pienemmän UR3-mallin kanssa oli ongelmia sen pienen koon vuoksi.</p> <p>Opinnäytetyön seuraava kehittämismahdollisuus voisi olla toteuttaa tämä työ käytännössä.</p>		

Asiasanat AR-lasit, Käsivarsirobotti, Simulointi, SolidWorks, Universal Robots, Visual Components, VR-lasit.
--

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date March 2019	Author Ville Peltomaa
Degree programme Industrial Management		
Name of thesis Automated machine tool service		
Instructor Jari Kaarela, Sakari Pieskä		Pages 45
Supervisor Jari Mäkelä		
<p>The aim was to plan and simulate a production cell with a robotic arm similar to a cell in Centria production laboratory. The Deckel Maho DMU 80 T machine tool is situated in this laboratory. The work was done for Centria I3 project.</p> <p>The thesis was made with the help of SolidWorks and Visual Components repertoires. All the needed objects were designed with SolidWork's 3D repertoire. The work was simulated with Visual Components. After the simulation was finished, a mockup, which can be seen with the help of AR and VR glasses, was created.</p> <p>The simulation succeeded well with the Universal Robots 10 robotic arm but there were issues with the smaller mockup due the small size.</p> <p>The next step would be execute it in practise.</p>		

Key words

AR-glasses, Robotic arm, Simulate, SolidWorks, Universal Robots, Visual Components, VR-glasses.

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

AR-lasit = AR-lasit (augmented reality) eli lisätyn todellisuuden lasit tuovat käyttäjän näkökenttään hologrammeja ja uusia informaatioita todellisen maailman päälle.

SolidWorks= 3D-CAD-suunnitteluohjelmisto

UR = Universal Robots eli robottivalmistaja

Visual Components = Simulointiohjelma

VR-lasit = Virtuaalisessa todellisuudessa katsojille heijastetaan näkymä, joka peittää todellisen maailman näkymän ja samalla korvaa sen synteettisillä olennoilla, jotka voivat muistuttaa oikean maailman olentoja tai abstrakteja olentoja.

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 TEOLLISUUSROBOTTI	2
2.1 Robottien historia	2
2.2 Robotin määritelmä.....	3
2.3 Teollisuusrobottien kehitys	4
2.4 Teollisuusrobottien rakenteet	7
3 ROBOTTIEN OHJELMOINTI.....	11
3.1 Johdattamalla ohjelmointi.....	11
3.2 Opettamalla ohjelmointi.....	12
3.3 Etäohjelmointi (off-line)	13
3.3.1 Etäohjelmointijärjestelmän käyttöönotto.....	16
3.3.2 Etäohjelmoinnin esimerkki pistehitsauksessa.....	17
4 ROBOTIIKAN TULEVAISUUS	19
4.1 Yleistä	19
4.2 Yhteistyörobotit	22
4.2.1 Yleistä.....	22
4.2.2 Anturitekniikat.....	23
5 LISÄTTY- JA VIRTUAALINEN TODELLISUUS	26
5.1 AR-lasit.....	26
5.2 AR-lasien käyttömahdollisuudet	28
5.2.1 Teollisuus	28
5.2.2 Lääketiede	29
5.2.3 Markkinointi	29
5.2.4 Peliteollisuus	30
5.2.5 CAD-suunnittelu	30
5.3 Virtuaalinen todellisuus.....	31
5.3.1 VR-lasit.....	31
5.3.2 VR-lasien käyttömahdollisuuksia	34
5.3.3 Arkkitehtuuri.....	35
5.3.4 Sotilaiden koulutus.....	35
5.3.5 Terveystieteidenhuollossa	35
6 ROBOTISOITU TYÖSTÖKONEEN PALVELU	36
6.1 SolidWorks-mallinnukset	36
6.2 Työstökoneen tasojen mittaukset.....	38
6.3 Simuloinnin suunnittelu Visual Components ohjelmistolla	40
7 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	43

KUVAT

KUVA 1. Käsivarsirobotti UR 3	6
KUVA 2. Suorakulmainen robotti.....	7
KUVA 3. Scara- Robotti.....	8
KUVA 4. Kiertyvänivelrobotti.....	9
KUVA 5. ABB IRB 360 -rinnakkaisrakenteinen robotti.....	9
KUVA 6. Sylinterirobotti.....	10
KUVA 7. Napakoordinaatistorobotti.....	10
KUVA 8. Yleisimmät teknologiat robotiikassa.....	19
KUVA 9. Yhteisrobottien yhteistoiminnot.....	23
KUVA 10. IKEA:n virtuaalinen huonekalujen katseluohjelma.....	30
KUVA 11. OCULUS Rift VR-lasit.....	32
KUVA 12. HTC Vive.....	33
KUVA 13. Sony Playstation VR.....	33
KUVA 14. Acer VR-lasit.....	33
KUVA 15. Samsung VR-lasit.....	34
KUVA 16. Deckel Maho dmu 80 -työstökone.....	36
KUVA 17. UR 3 ja sen pöytä.....	36
KUVA 18. Työstettävä kappale 6*40*170.....	37
KUVA 19. Palettipöytä 460mm*800mm*730mm.....	37
KUVA 20. Paletti 270mm* 800mm* 28mm.....	38
KUVA 21. FARO-käsivarsimittauslaite.....	38
KUVA 22. FAROn mittauskärki.....	39
KUVA 23. Työtasojen mittaus.....	39
KUVA 24. Tietokoneohjelman piirtämät tasot.....	40
KUVA 25. UR3- ja UR10-robottien layout.....	41

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössäni kerron aluksi teollisuusroboteista yleisesti sekä niiden ohjelmoinnista, ja lisäksi käyn hieman läpi robotiikan tulevaisuutta. Tämän jälkeen kerron yleisesti lisätystä ja virtuaalisesta todellisuudesta. Toteutin opinnäytetyössäni projektin, joka tehdään Centria-ammattikorkeakoululle I3-hankkeeseen. Projektin tavoitteena on simuloida Centrian tuotantolaboratorion tapainen tuotantosolu, johon lisätään käsivarsirobotti.

Opinnäytetyön tavoitteena oli työstökoneen automatisoitu palvelu, eli käytännössä pystytäänkö koulun käsivarsiroboteilla ottamaan työstettävä aihio paletista ja viemään se Deckel- työstökeskukseen. Työssä käytettiin Universal Robotsin 3- ja 10-malleja. Työstökoneena toimi Deckel Maho DMU 80 T. Työssä käytettiin SolidWorks- ja Visual Components -ohjelmistoja. SolidWorks-ohjelmistolla suunnitellaan kaikki kappaleet työtä varten, ja Visual Components -ohjelmistolla työ simuloidaan. Lisäksi Visual Components -simuloinnista tehdään malli, jota pystytään katsomaan AR- ja VR- laseilla.

Lopuksi yhteenvedossa kerron, kuinka projekti onnistui. Lisäksi yhteenvedossa nostan esille omia ajatuksia projektista. UR3 -käsivarsirobotin kanssa ilmeni kuitenkin ongelmia projektia tehdessä ja niistä kerron lisää yhteenvedossa.

2 TEOLLISUUSROBOTTI

Sana robotti tarkoittaa useimmiten mekaanista konetta tai laitetta, joka kykenee toimimaan jollain tavoin fyysisessä maailmassa. Alkujaan robotti - sanalla on tarkoitettu etymologian mukaisesti työläistä tai orjaa. Tämä vaikuttaa robotti sanan merkitykseen yhä niin, että mikä tahansa automaattisesti toimiva kone ei ole robotti vaan robotilla täytyy olla ihmisen kanssa samoja piirteitä. Esimerkiksi yleisesti teollisuudessa käytössä oleva nivelvarsirobotti mukailee ihmisen käsivarren rakenteita. Tarkasti käsitettynä kauko-ohjattuja laitteita ei voi kutsua roboteiksi. Sana robotti juontaa juurensa 1920-luvulla esitetystä tšekkiläisen kirjailijan Karel Capekin näytelmästä R.U.R (Rossum's Universal Robots). Sana robota on tšekinkielinen termi, joka tarkoittaa pakkotyötä. (Aaltonen & Torvinen 1997, 138.)

2.1 Robottien historia

Vuonna 1959 valmistui ensimmäinen teollisuusrobotti ja jo 1960-luvulla GM (General Motors) otti ensimmäisen teollisuusrobotin käyttöön autotehtaalla. Robotti teki erilaisia sisustan osia autoihin ja myöhemmin robotteja on käytetty autojen pistehitsaukseen. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2011.)

Tietokoneohjattu robottikäsi kehitettiin vuonna 1969 ja siinä oli kuusi akselia. Ensimmäinen ”ihmismäinen” robotti syntyi 1973 ja sen nimi oli WABOTI. Sen kehitti Ichiro Kato ja robotilla oli konenäkö, ja sen käsiä ja jalkoja pystyi liikuttamaan. Lisäksi robotilla pystyi kommunikoidaan. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2011.)

Hiroshi Makino kehitti vuonna 1979 SCARA-robotin, josta tuli laajasti käytetty teollisuusrobotti. Ensimmäinen täysin sähköisen mikroprosessoriohjatun robotin kehitti ASEA 1970-luvun alkupuolella. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2011.)

General Robotics kehitti vuonna 1985 ohjelmoitavan robotin, jossa oli infrapuna-anturit, kamera- ja äänilyhteys, törmäysanturit ja äänisyntetisaattori. Robotti pystyi toimimaan täysin itsenäisesti ja oppimaan oman ympäristönsä. Ensimmäiset tällaiset robotit otettiin käyttöön vuonna

1988 Connecticutilaisessa sairaalassa. Sony julkaisi vuonna 1999 Aibon, joka muistutti koiraa. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2011.)

Honda kehitti P2-robotin vuonna 1996, joka oli ensimmäinen askel kohti tunnettua ASIMO-robotia. Honda julkaisi vuonna 2002 ASIMOn. Robotin tarkoitus oli toimia ihmisen henkilökoh-
taisena avustajana. ASIMO pystyi kommunikoimaan eleillä tai äänellä sekä se pystyi tunnistamaan omistajansa. Honda jatkoi ASIMOn kehitystä ja sen viimeisin versio valmistui vuonna 2011. Robotti pystyy juoksemaan 9 km/h ja hyppäämään ilmaan. Tuolloin robottien kehitystä johti ATLAS, joka on Boston Dynamicsin kehittämä humanoidirobotti. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2011.)

2.2 Robotin määritelmä

Yksikäsitteisesti robotin määrittelemisen on vaikeaa. Teollisuusrobotti voidaan määrittää toimilaitteiden, ohjelmointitavan, nivelrakenteensa ja käyttötarkoituksen perusteella. (Aaltonen, Torvinen 1997, 141.)

Standardin (ISO 8373) mukaan teollisuusrobotti on uudelleen ohjelmoitavissa oleva moninive-
linen mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttelemaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikois-
laitteita ohjelmoitavin liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluk-
sissa. Uudelleen ohjelmoitavuus on siis olennaista, mutta nykypäivänä robottisovelluksissa uu-
delleen ohjelmoitavuus ei enää riitä, vaan robotit on saatava muodostamaan tuotteiden suun-
nittelu tiedoista ja ympäristömallista liikeratansa, jonka mukaan prosessia tarkkaileva anturi
päivittää. (Kuivanen 1999, 12-13.)

Teollisuusrobotti on yksinkertaistettuna mekaaninen kone, joka siirtää työkalun kiinnityslaippaa
halutulla tavalla. Liikerata voi olla kokonaan etukäteen määriteltä, toimintaympäristön tapahtu-
mien perusteella valittava tai antureiden perusteella liikkeiden aikana luotu. Robotin ja työkalun
välissä on useita tukivarsia, jotka nivelet liittävät toisiinsa ohjattavien servomootoreiden avulla.
(Kuivanen 1999, 13.)

2.3 Teollisuusrobottien kehitys

Robottien kehitys pohjautuu 1800-luvun loppupuolen keksintöihin. G. C. Devol kehitti vuonna 1946 USA:ssa ohjauslaitteen, jonka avulla pystyttiin taltioimaan sähköiset signaalit magneettisesti ja käyttämään signaaleja ohjaamaan toimilaitetta. Vuonna 1952 keksinnölle myönnettiin patentti. Ensimmäisen NC-koneen kehitti ja patentoi Massachusettsin teknillinen korkeakoulu vuonna 1957. (Aaltonen & Torvinen 1997, 138-139.)

1970-luvulla robotit yleistyivät teollisuuskäytössä. Samalla niiden luotettavuus kohentui ja ohjelmoinnista tuli yksinkertaisempaa ja nopeampaa. 1980-luvulla robottien älykkyys kehittyi ja aistitietojen hyödyntäminen alkoi. 1990-luvulla Robottien ohjaukset ovat tulleet paremmiksi ja nopeammiksi. Etäohjelmointi on kehittynyt nopeasti. (Aaltonen & Torvinen 1997, 139.)

Aikaisemmin kappaleenkäsittelyn automaatiosovelluksissa on käytetty mekaanisia, hydraulisia ja pneumaattisia toimilaitteita, jotka rakennettiin aina sovelluskohtaisesti. Näiden koneiden asetukset kestivät useita päiviä, mikäli niitä oli mahdollista edes muuttaa. Tyypillisiä automatisointikohteita olivat koneiden panostus, kappaleiden siirrot ja valmiiden kappaleiden purku koneesta. Tällaiset automatisointiratkaisut sopivat parhaiten suurien sarjojen ja pitkäikäisten tuotteiden valmistukseen. (Aaltonen & Torvinen 1997, 139.)

Käyttäjän kannalta alkuaikojen robotit olivat valitettavan kalliita ja epäluotettavia. Työstä toiseen robotin vaihtaminen oli hankalaa. Robotti sovellukset vastasivat joustavuudeltaan aikaisempia manipulaattori- ja toimilaitteautomatisointeja. Piensarjatuotannon kappaleenkäsittelyongelmiin ratkaisuna olivat servo-ohjatut ohjelmoitavat robotit. (Aaltonen & Torvinen 1997, 139.)

Suomessa robotiikan parissa työskentelevät yritykset ovat pyrkineet tuottamaan jotain erilaisia kokonaisuuksia kuin perinteiset nivelvarsirobotit. Suomessa robotiikan parissa toimivat seuraavat yritykset: Blastman Robotics Ltd, Cimcorp Oy, Fastems Oy ja Posicraft Oy.

Blastman Robotics valmistaa puhdistusrobotteja ja manipulaattoreita. Yritys perustettiin 1980-luvulla ja alun perin se toimi nimellä Tammec. Yritys toimi Tampellan tytäryhtiönä ja aluksi yritys valmisti manipulaattoreita. Ensimmäinen robotti, jossa oli automaattinen ohjausjärjestelmä, toimitettiin Jyväskylään Valmetille vuonna 1985. Vuonna 1988 Rautaruukki Oy osti Tammecin. Vuonna 1997 Blastman Roboticsista tuli itsenäinen yritys, koska Rautaruukki päätti keskittyä ydinliiketoimintaansa. Nykyään Blastman-robotteja ja manipulaattoreita on käytössä maailmanlaajuisesti. (Blastman 2018.)

Cimcorp Oy sai alkunsa vuonna 1975 Rosenlewin työkalutehtaan automaatio-osastona, jonka erikoisalaa oli robotiikka. Yrityskaupan kautta Cimcorp Oy:stä tuli Wärtsilän tytäryhtiö vuonna 1986. Yritys on toiminut muutamalla eri nimellä sen olemassa olon aikana yrityskauppojen vuoksi, mutta toimii nykyään nimellä Cimcorp Oy. Vuonna 2010 yritys osti kanadalaisen robotivalmistaja RMT Roboticsin, joka muutti nimensä oston yhteydessä Cimcorp Automation Ltd:ksi 1.1.2015 lähtien. Vuonna 2014 Japanilainen Murata Machinery Ltd osti koko Cimcorpin osakekannan. Yrityksen liiketoiminta jatkui ennallaan omistajavaihdoksesta huolimatta. 2000-luvulla yrityksen liiketoiminta siirtyi uusille alueille. Yritys alkoi automatisoida elintarviketeollisuuden lähettämöitä ja autonrenkaiden valmistusta. Cimcorp Oy:n päätuotteet ovat portaalirobotit ja ohjelmistot. (Cimcorp 2018.)

Fastems Oy on vuonna 1901 perustettu suomalainen perheyriys, jonka pääkonttori sijaitsee Tampereella, ja lisäksi yrityksellä on tytäryhtiöt seitsemässä Euroopan maassa sekä Yhdysvalloissa ja Japanissa. Yritys valmistaa joustavia valmistusjärjestelmiä (FMS) ja robottisoluja lastuavan työstön CNC-koneiden automaatioon. (Promaint 2015.)

Posicraft Oy on suomalainen yritys, joka sijaitsee Orimattilassa. Yritys on yhteistyörobottien, tarttujien, antureiden, konenäköjärjestelmien ja ohjelmistojen maahantuoja. (Posicraft 2018.)

Robottisovellusten ja robottiliiketoiminnan kehitys Suomessa on jaettu kuuteen vaiheeseen.

1. Robotiikan alkutaival 1972 – 1978
 - 90% sovellutuksista maalausrobotiikkaa.
 - Valco Oy omistaa 69 kappaleenkäsittelyrobotia
 - Maamme robotiikan pioneerina toimii Rosenlew Automation

2. Robotiikan oppivuodet 1979 - 1983
 - Suomesta tulee robotiikan vientimaa (Nokia Robotics)
 - Hitsaus ja työstökoneiden palvelu perussovellukset
3. Robotiikan perussovellukset 1984 – 1987
 - Robottien lukumäärä 500 kpl
 - Vuosittain 80 toimitusta
 - Hitsaussovellukset 50%
4. Laajeneminen uusille alueille 1988 – 1991
 - Laserleikkaus ja tiivistys ovat uusia sovelluksia
 - Robotisointeihin mukaan tulee elintarviketeollisuus
 - Maassamme robotteja 1000 kpl
5. Markkinoiden tasaantuminen 1991 – 1994
 - Vuodessa robottien myynti 100 sovellusta
 - Automatisointi-investointeja leikkaa lama
6. Uusien sovellusten esiinmarssi 1994 –
 - Robotti-investointeja piristää taloudellinen nousu
 - Uusilta teollisuusaloilta uusia sovelluskohteita
 - Muovituotteiden valmistuksen automatisointi

(Aaltonen & Torvinen 1997, 140-141.) Kuvassa 1 on esitetty nykyaikainen käsivarsirobotti.



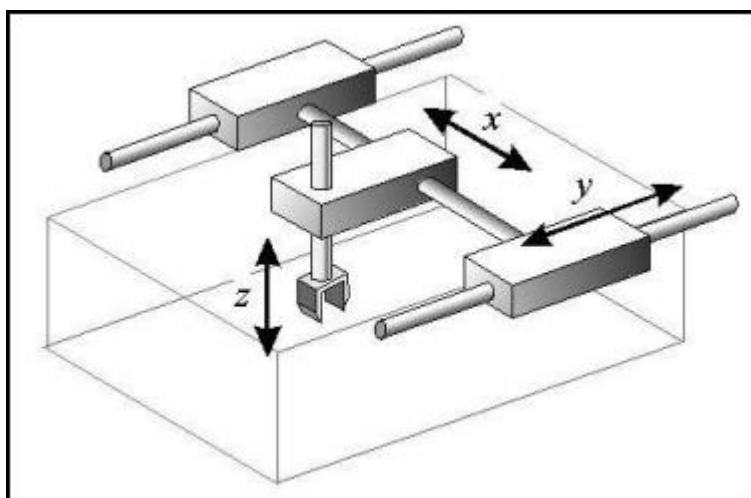
KUVA 1. Käsivarsirobotti UR 3 (Universal Robot 2018)

2.4 Teollisuusrobottien rakenteet

Teollisuusrobotit voidaan jakaa nivelrobotteihin ja portaalirobotteihin. Tarkemman lajittelun mukaan perusrakenteita löytyy useampia. Niitä ovat:

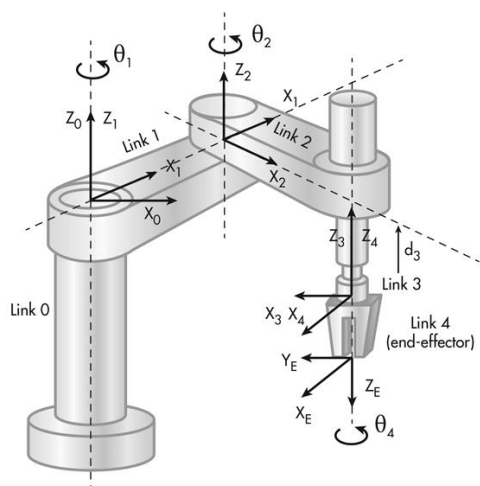
- Suorakulmainenrobotti
- Sylinterirobotti
- Napakoordinaatistorobotti
- Scara-robotti
- Kiertyvänivelinen robotti
- Rinnakkaisrakenteinen robotti

Suorakulmaisten robottien ensimmäiset kolme vapausastetta ovat lineaarisia. Yleensä näitä robotteja kutsutaan portaaliroboteiksi. Niiden rakenne on tuettu työalueen nurkista palkeilla. Suorakulmaisia robotteja on olemassa kooltaan isoja ja pieniä. Isoja portaalirobotteja voidaan käyttää logistiikka- ja varastosovelluksissa. Pieniä portaalirobotteja vastaavasti kevyessä työssä ja työstökoneiden panostuksessa. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2011, 12.) Kuvassa 2 on esitetty suorakulmainen robotti.



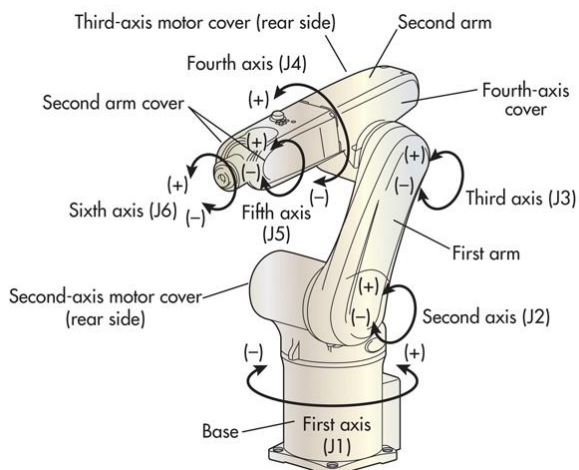
KUVA 2. Suorakulmainen robotti (Takaneva 2010)

Selective Compliance Assembly Robot Arm eli lyhemmin Scara-robotti on tiettyyn suuntaan joustava kokoonpanorobottikäsi ja kolmella kiertyvällä nivelellä työkalu saadaan haluttuun kohtaan ja kiertymäkulmaan. Neljäs lineaarinen pystyliike on työtason normaalin suuntainen. Scara-robotti muistuttaa vaakatasossa liikkuvaa ihmisen käsivartta, paitsi että ranteeseen on asennettu pystyjohde. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2011, 13.) Kuvassa 3 on esitetty Scara-robotti.



KUVA 3. Scara-robotti (Gonzalez 2016)

Kiertyvänivelrobotin kaikki vapausasteet ovat kiertyviä. Nämä robotit ovat kaikista tavallisimpia teollisuusrobotteja. Vapausasteita on yleensä neljä tai kuusi, mutta on myös malleja, joissa on seitsemän vapausastetta. Kiertyvänivel robottien kuormankantokyky on melko suuri (yli 1000 kg), ja koska tukivarret on kytketty robotissa peräkkäin, robotilla on suuri ulottuvuus. On myös olemassa robottikäsiä, joissa on yli kuusi vapausastetta paremman kurottelukyvyn saavuttamiseksi. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2011, 14.) Kuvassa 4 esitetty kiertyvänivelrobotti.



KUVA 4. Kiertyvänivelrobotti (Gonzalez 2016)

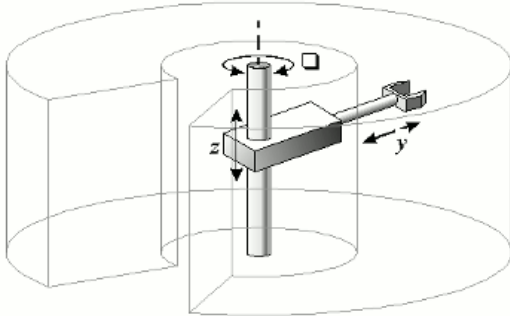
Rinnakkaisrakenteiset robotit on luotu kestäämään suuria voimia. Robotin vapausasteita kytetään rinnakkain, ja tällöin rakennekin tukevoituu. Työalue rajoittuu pieneksi näissä roboteissa. Rinnakkaisrakenteiset robotit soveltuvat erinomaisesti työstötehtäviin, joissa työstövoimat kasvavat suuriksi. Suljetun kinemaattisen rakenteen ideana on jakaa tukivoimat toisiaan tukevien rakenteiden kesken, jolloin robotista tulee kestävä. Rakenteen suurimmat edut ovat keveys ja mahdollisuus suuriin voimiin. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2011, 16). Kuvassa 5 on esitetty ABB IRB 360 -robotti.



KUVA 5. ABB IRB 360 -rinnakkaisrakenteinenrobotti (ABB 2018)

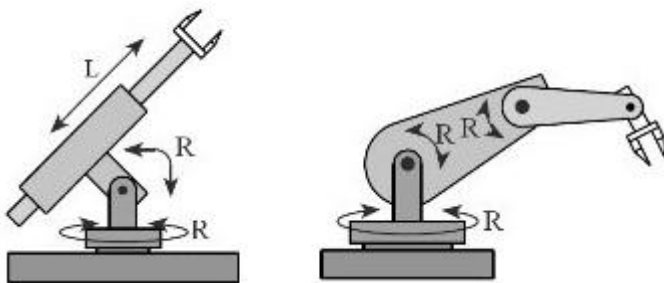
Sylinterirobotin nimitys on peräisin sylinterikoordinaatistosta. Nykyisin sylinterirobottien käyttö on melko harvinaista, joten voidaan todeta, että ne ovat jo historiaa. Sylinterirobotissa on yksi

kiertyvä nivel ja kaksi lineaarista niveltä. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2011, 13.) Kuvasta 6 voimme todeta, että sylinterirobotilla on laaja työtila.



KUVA 6. Sylinterirobotti (All On Robots 2018)

Napakoordinaatistorobotin työtila on kaikkein monipuolisin ja sen geometria on pallomainen. Teoriassa työtilan voi ajatella olevan joka puolella, mutta todellisuudessa robotin on vaikea yltää joka puolelle. Kaikista olennaisin asia on pyörivä jalusta, joka kantaa varsiosaa, joka voi liikkua ylös ja alas sekä laajentua sisään ja ulos. (Sandin 2003, 248.) Kuvassa 7 on esitetty napakoordinaatistorobotti.



KUVA 7. Napakoordinaatistorobotti (All On Robots 2018)

3 ROBOTTIEN OHJELMOINTI

Robottien ohjelmointi alkoi sähkömekaanisista kytkennöistä, joiden avulla nivelet saatiin ajamaan päin haluttuja rajakatkaisijoita vaihe kerrallaan. Käden liikeitä johdattamalla eli ”nauhoittamalla” on sittemmin opetettu niveltä paikka-antureita toistamaan kyseisiä liikeitä. Nykyisistä sovelluksista suurin osa on opetettu robotille liikuttamalla käsivarsi muutamaa asemaan, mutta toiminnan logiikka ja useita liikeratojen asemia tietokoneohjelmoinnilla luomalla. Kun kolmiulotteinen malli on saatu robotista ja työympäristöstä, voidaan erillisessä tietokoneessa tehdä mallipohjaista ohjelmointia. Ohjelmoinnin tärkeimmät tehtävät ovat laatia toimintajärjestys ja logiikka robottikäsivarren liikkeille, tahdistaa käsivarren liikeitä ympäristön signaaleihin ja määrittää robotin toimintaa virhetilanteissa. (Kuivanen 1999, 78.)

3.1 Johdattamalla ohjelmointi

Sähkömekaanisten kytkentöjen avulla ensimmäiset robotit tekivät valukoneiden palvelua yksi vaihe kerrallaan sähkömekaanisten logiikkojen ohjauksessa. Mutta miten robotit saadaan liikuttamaan työkalua jouhevia liikeratoja matkien? Tähän on looginen ratkaisu ja se on instrumenttinauhuri. (Kuivanen 1999, 78.)

Haluttu liikerata tuli suoritetuksi, kun käsivarren toimilaitteet vapautettiin ja ihminen liikutti lihasvoimin työkalua. Instrumenttinauhuriin tallennettiin niveltä paikka-antureiden lukemat. Liikeitä toistamalla, nauhuri yhdistettiin niveltä toimilaitteiden säätöpiireihin ohjearvoiksi ja tämän jälkeen nauhaa kelattiin joko alkuperäisellä tai muunnetulla nopeudella. Tällaista ohjelmointia kutsutaan johdattamalla ohjelmoimiseksi. (Kuivanen 1999, 78.)

Maalausrobottien vallitsevaksi menetelmäksi tuli johdattamalla ohjelmointi. Menetelmä paransi maalausrobottien yleistymistä muita sovelluksia nopeammin. Maalausrobottien maalaukset onnistuivat yleensä hyvin, mikä auttoi robottien leviämisessä. Maalausrobotit ohjelmoidaan niin kuin muutkin teollisuusrobotit. (Kuivanen 1999, 78.)

Johdattamalla ohjelmointiin liittyy myös ongelmia, joita ovat hankaluus muuttaa mitään ilman, että ei ohjelmoisi koko ohjelmaa uudestaan, magneettinauhujen arkistointi ja käsittely on hankalaa, mutta nykypäivänä ongelma on paljon pienempi, koska käytössä on puolijohdemustia ja kovalevyjä. Viimeinen ongelma on ohjelmien tarkkuus, eli ohjelmista on vaikea saada tarkkoja. (Kuivanen 1999, 78.)

3.2 Opettamalla ohjelmointi

Perinteinen robottien ohjelmointi tapahtuu työkalun viemisellä haluttuun paikkaan ja tallentamalla paikkatieto muistiin. Käsiohjaimen avulla ohjelmointia kutsutaan opetuksiksi erona vain päätteeltä tehtävään tekstuaaliseen ohjelmointiin, jossa rakenteiden esittäminen on helpompaa. Yleensä näitä kahta ohjelmointitapaa käytetään yhdessä, mutta ainoana erona on tarvittavan tekstin kirjoitus funktionäppäimistön avulla. (Kuivanen 1999, 79.)

Robottien ohjelmoinnin välineinä ovat olleet käsiohjaimet, joilla pystyy luomaan koko robottiohjelman, ohjaussauva robotin liikuttamiseksi, editoriohjelma ja tavallinen pääte, PC-ohjelma tekstin luomiseksi sekä levyasemat siirtoja ja varastointia varten. (Kuivanen 1999, 79.)

Käsiohjaimen käyttökelpoisuudelle olisi tärkeää, että robotin käskykanta voisi selata käsiohjaimen kautta ilman ohjekirjaa. Tähän ratkaisuna on hierarkkiset ohjelmoinnin näyttävä valikko. Liikeratojen määrittäminen tulisi olla mahdollisimman nopeaa, että robotin käsivarsi tekisi mahdollisimman paljon hyödyttävää työtä. (Kuivanen 1999, 79.)

Liikeratojen määrittämiä pystytään nopeuttamaan, kun käsivarsi suorittaa vielä edellistä komentoa. Ohjelmointiin ei riitä pelkkä ulkoinen tietokone, koska kaikki koordinaatit ja 3D-mallit ovat epätarkkoja. Riippuen työkalusta, mutta jopa 5 cm:n virheitäkin voi olla. Sovelluksen aistijärjestelmät, jotka huomioivat todellisen maailman virheet suunnittelujärjestelmän maailmanmalliin verrattuna, ovat toinen ratkaisu. Tällaisessa tapauksessa koko ohjelmointiprosessi voidaan tehdä ulkoisessa tietokoneessa. (Kuivanen 1999, 80.)

Robottien ohjelmointikielissä on valitettavasti syntynyt vain japanilainen standardi eli jokaisella valmistajalla on omat kielensä. Kun toimittajat alkavat vähentyä, samalla robottien kielet alkavat muistuttamaan toisiaan yhä enemmän. (Kuivanen 1999, 80.)

Monissa robotin ohjelmointikielissä asemien ketjutus on mahdollista. Samat työtehtävät toteutetaan eri puolilla robotin työaluetta samalla ohjelmalla. Ohjelmointikielien notaatio eli merkintätapa on yksinkertainen. (Kuivanen 1999, 80.)

Eräiden robottien peruskäskykannassa voi olla jopa 150 käskyä. Robottien käskykannat sisältävät usein ulkoisten järjestelmien käyttöä tukevia käskyjä mahdollisimman yksinkertaisella tavalla ohjelmoitavissa. (Kuivanen 1999, 80.)

Tehtävätasolle on luotu ohjelmointikieliä. Tuotteistajien poistuttua markkinoilta tehtävätason ohjelmointikielien kaupallinen käyttö on jäänyt vähäiseksi. Tässä ohjelmointikielessä tehtävät kuvataan todella helpoksi ymmärtää. (Kuivanen 1999, 80-81.)

Ahtaisiin paikkoihin liikeratoja ohjelmoitaessa huomataan robottien dynamiikan perusongelma, jossa hitaalla nopeudella toteutetut liikeradat ovat muuttuneet, kun käytetään suurempia nopeuksia. (Kuivanen 1999, 81.)

3.3 Etäohjelmointi (off-line)

Mallipohjainen etäohjelmointi voidaan erottaa muista ohjelmointitekniikoista seuraavan määritelmän mukaan:

Robottien mallipohjainen ohjelmointi (off-line) tarkoittaa robotin ohjelmointia ilman tuotantorobottia, tuotannon ulkopuolisessa tietokoneessa käyttäen 3D graafista käyttöliittymää ja robotin ja sen oheislaitteiden simulointimalleja sekä hyödyntäen valmistettavan tuotteen suunnittelun 3D- muototietoa. (Kuivanen 1999, 81.)

Edistyneimmät mallipohjaiset järjestelmät tukevat monia CAD-suunnittelujärjestelmiä ja useita eri robottimerkkejä. Robottien ja oheislaitteiden simulointimalleihin pohjautuen ne hyödyntävät tuotemallin muototietoa. Tällaiset järjestelmät vastaavat CAD/CAM- ohjelmistoja NC-koneille, sekä mahdollistavat ohjelmien tarkastamisen etukäteen. (Kuivanen 1999, 81.)

Mallipohjainen ohjelmointi sopii parhaiten, kun tuotanto on asiakasohjautuvaa, tuotantosarjat ovat pienet, elinkaari on tuotteissa lyhyt, valmistusprosessi edellyttää robotilta suurta määrää paikoituspisteitä ja robotteja ei voi ohjelmoida tuotannossa. Uuden tuotteen valmistettavuutta voidaan testata simuloimalla mallipohjaisella ohjelmointijärjestelmällä. Tämä on elintärkeä asia silloin, kun halutaan tietää, soveltuuko olemassa oleva käsittely-, kiinnitys- ja muu oheislaitteisto sellaisenaan tuotteen valmistukseen vai pitääkö muuttaa jotain. Mallipohjaisissa etäohjelmointiohjelmassa on suunnittelua varten 3D CAD-moduuli, kinemaattisten mekanismien suunnittelumoduuli, sekä robotti- ja oheislaitteikirjastot, robottien ja oheislaitteiden sijoitteluun layout- moduuli. (Kuivanen 1999, 81- 82.)

Ohjelmisto sisältää kirjaston, mistä löytää valmiiksi mallinnettuja ja tuotannossa käytettyjä oheislaitteita. Uudet työkalut, oheislaitteet ja kiinnikkeet suunnitellaan muissa CAD-sovelluksissa tai sitten mallinnus tapahtuu omalla CAD-moduulilla. Näiden mallinnusten jälkeen oheislaitteille määritellään niiden liike- ja kinemaattiset ominaisuudet valmistajilta saatujen tietojen perusteella. (Kuivanen 1999, 82.)

Robottien mallinnus on merkittävästi vaikeampaa kuin muiden toimilaitteiden, koska mallinnus vaatii robottivalmistajan kanssa tiivistä yhteistyötä. Robotin simulointimalliin sisältyy tarkka kuvaus kinematiikasta, geometriasta sekä ohjauksesta. Jokaista robottimerkkiä kohden suunnitellaan kääntäjä, joka mahdollistaa etäohjelmointijärjestelmällä tehtyjen ohjelmien kääntämisen robottimerkkikohtaiselle kielelle. Valmiskirjasto sisältää erilaisia robottimerkkejä ja tyyppejä sekä lisäksi jokaista merkkiä varten kääntäjän. Valmiskirjasto tulee ohjelmiston mukana. Suurimmissa ohjelmistoissa voi olla jopa yli 400 eri robottityyppiä yli 50 eri valmistajalta, ja lisäksi kääntäjät kaikille yleisimmille robottimerkkien ohjelmointikielille. (Kuivanen 1999, 82-83.)

Robottisolun simulointimalli valmistetaan hyväksi käyttäen etäohjelmointijärjestelmän mallinnus- ja simulointiominaisuuksia. Ohjelmistot ovat ominaisuuksiltaan samalla kertaa tehokkaita suunnitteluohjelmistoja robottisolujen suunnitteluun sekä uusien robottienohjelmien generointiin ilman tuotantorobottia. (Kuivanen 1999, 83.)

Robotin ulottuvuus täytyy tarkistaa koko sen työalueelta, kun solun layout suunnitellaan simuloimalla. Lisäksi simuloimalla löydetään robotille oikeat soluvaihtoehdot, jossa se voi liikkua

mahdollisimman vapaasti. Tällä tavoin saavutetaan suuret säästöt lyhentämällä robottisolun käyttöönottoaikaa sekä varmistetaan, että robotti kykenee toimimaan mahdollisimman optimaalisessa asennossa työkappaleeseen nähden. (Kuivanen 1999, 83.)

Mallipohjainen ohjelmointijärjestelmä kykenee yhdistämään robotin työkalupisteen koordinaattiston tuotteen geometriaa rajoittaviin ja kuvaaviin muotoihin, joita ovat kulmapiste, sivu, kaksikulotteiset tasot, mallia rajoittavat käyrät ja kaksoiskaarevat matemaattiset pinnat. Nämä muodot sisältävät sellaista tietoa, jota hyväksikäyttäen voidaan ohjelmointijärjestelmään tehdä ohjelmointia helpottavia ja nopeuttavia toimintoja. Robotin ratapisteiden tallentamisen suhteessa työkappaleeseen on mahdollista mallipohjaisessa ohjelmoinnissa. Tällä on iso merkitys, jos robottisolun layout muuttuu, koska silloin ohjelmia ei tarvitse kirjoittaa uudelleen. (Kuivanen 1999, 83.)

Robotin paikoituspisteisiin perustuvat mallipohjainen ohjelmointi sekä opettamalla ohjelmointi. Ennen ohjelmointia paikoituspisteet luodaan erillisenä tapahtumana ohjelman kirjoituksesta. Kohteena olevan tuotteen CAD-muototietoa käytetään hyväksi pisteiden luomisessa. Ennen ohjelmointia on robottisoluista otettava simulointimalli, joka vastaa todellista robottisolua. Tuotemallin sisään luvussa etäohjelmoija hakee CAD-tuotemallin hakemistosta. Tuotemalli on tallennettu sellaisessa muodossa, jota etäohjelmointijärjestelmäkin tukee. (Kuivanen 1999, 83-84.)

Paikoituspisteiden nopean generoinnin ja työkalun asennon säilyttäminen vakoina onnistuu muototietoa käyttämällä. Normaalisti mallipohjaista etäohjelmointia käytetään, kun ohjelmointi käsiohjaimella olisi työlästä ja työmäärän takia se tulisi kannattomaksi. Mallipohjaisessa ohjelmoinnissa 10 000 paikoituspisteen ohjelmointiin riittää vain yksi komento: seuraa rataa. Ohjelmoida pystytään joko komento kerrallaan tai kokonaisuus kerrallaan. (Kuivanen 1999, 84.)

Ohjelmoitaessa komento kerrallaan robottiohjelmoija kirjoittaa käskyn kerrallaan, aivan samalla tavalla kuin opettamalla ohjelmoinnissa. Käskykanta voi olla yleiskielinen tai robottimerkkikohtainen. Yleiskielisessä ohjelmoinnissa ohjelmoijan ei tarvitse osata tiettyä robottimerkin kieltä. Kaikkien muiden paitsi paikoituskäskyjen ohjelmointi tapahtuu valitsemalla käsky syntaksin mukaan. Ohjelmoija valitsee oman kokemuksensa perusteella liikkeiden koordinointi- ja

prosessikäskyt. Järjestelmä ei erikseen varoita ohjelmointivirheistä, koska kaikki virheet havaitaan simulointivaiheessa. (Kuivanen 1999, 84.)

Piirrepohjainen ohjelmointi on ohjelmoinnin uusi suuntaus. Tässä piirre tarkoittaa valmistettavan tuotteen ominaisuutta, jonka valmistaminen vaatii menetelmäosaamista. Piirrepohjaiseen ohjelmistojärjestelmään on tallennettu kaikki piirteet ja valmistusmenetelmät, jotka huomioivat prosessikohtaiset ohjelmointivaatimukset. Esimerkiksi kaarihitsauksen eri hakupisteiden luonti. Piirteet ovat teoriassa aliohjelmamakroja, joita järjestelmä kutsuu, kun joukko erilaisia ehtoja toteutuu. Kun makrot on kerran järjestelmään luotu, ohjelmoijan ei tarvitse puuttua niihin. (Kuivanen 1999, 85.)

Piirrepohjaisen ohjelmoinninedut ovat sen ylivoimainen ohjelmointinopeus ja ohjelmointilaadun tallentaminen järjestelmään. Järjestelmä valitsee parametrit, varmistaa ohjelmasyntaksin ja varmistaa, että työkalun asento suhteutettuna rataa säilyy vakiona. Tällä tavoin saavutetaan korkealaatuisia hiontapintoja ja hitsisaumoja. (Kuivanen 1999, 85-86.)

Uusien robottiohjelmien simulointi mahdollistetaan simulointimoduulin avulla ennen tuotantoon siirtämistä. Simuloinnissa tarkastetaan ohjelman syntaksit, ja lisäksi liikeratojen turvallisuus varmistetaan. Simuloinnissa robotti pysähtyy, mikäli se törmää johonkin tai se ylittää nivelen suurimman sallitun nopeuden, jolloin ohjelmoija korjaa virheen, minkä jälkeen simulointi jatkuu normaalisti. Simuloinnin jälkeen ohjelma käännetään robottikielelle ja kääntäminen tapahtuu kääntäjäohjelmalla. Etäohjelmoinnissa käytössä ollut yleiskielinen ohjelma muutetaan robottikohtaiselle kielelle kääntäjäohjelman avulla. Tämä toiminto tapahtuu automaattisesti. Ohjelmat varastoidaan yleensä robottisolun läheisyydessä sijaitsevaan PC:hen. (Kuivanen 1999, 85-86.)

3.3.1 Etäohjelmointijärjestelmän käyttöönotto

Robottiohjelmat, jotka on suunniteltu etäohjelmointijärjestelmällä, voidaan avata tuotantosolussa, mikäli simulointimalli vastaa tarkasti tuotantosolua. Tämän takia etäohjelmointijärjestelmän simulointimalli on kalibroitu järjestelmän käyttöönoton yhteydessä. Normaalisti kalibrointi tarvitsee suorittaa ainoastaan yhden kerran. Etäohjelmointiohjelmistossa on kalibrointia varten kalibrointimoduuli, jolla robottisolu mitataan ja mittauspisteet luetaan järjestelmään,

mittaustulokset analysoidaan ja virhelähteet tunnistetaan automaattisesti. Kalibrointimalli sisältää laskentamalleja, joilla eri geometriavirheet pystytään kompensoimaan. Pienemmissä robottisoluissa riittää, kun työkalupisteen paikka korjataan ja työkappaleen asemavirhe kompensoidaan. Suuremmissa robottijärjestelmissä täytyy kalibroida robotin peruskoordinaatisto, jigi, pyörityspöydät ja servoradat. (Kuivanen 1999, 86.)

Etäohjelmointijärjestelmissäkin on suuria eroja, varsinkin niiden kyvyssä tuottaa tarkkoja robotiohjelmia. Suurissa ohjelmointitarkkuutta ($<0,5$ mm) vaativissa prosesseissa, joissa ohjelmien korjaamista tuotannossa ei sallita käytetään IGRIP- ohjelmistoa. Uusien ohjelmien käyttöönotto täytyy tapahtua ilman seisokkia. Kaarihitsaukselta löytyy suurin käyttäjäkunta, jossa roboteilla on yli 10 servoakselia, mutta vaativia prosesseja ovat laserleikkaus ja kiillotus. (Kuivanen 1999, 86-87.)

3.3.2 Etäohjelmoinnin esimerkki pistehitsauksessa

Vuonna 1995 Volvon Uumajassa sijaitseva kuorma-autotehdas otti etäohjelmoinnin käyttöön nähtyään vertailutestin ohjelmointijärjestelmistä. Tärkein kriteeri heillä oli tehtyjen ohjelmien tarkkuus, koska autoteollisuudessa tarkkuus on äärimmäisen tärkeää, koska etäohjelmoidun ohjelman korjaaminen mahdollisesti pysäyttää koko tuotantolinjaston. (Kuivanen 1999, 87.)

Tehtaalla on useita kymmeniä pistehitsausrobotteja, joista suurin osa on asennettu servoradalle. Työkappaleet ovat kuorma-auton hytin osia ja kokonaisia hyttejä. Yhden robotiohjelman työpisteiden määrä vaihtelee kymmenen ja parinsadan välillä. (Kuivanen 1999, 87.)

Tehtaassa on käytössä mittausjärjestelmä, jolla robottien, servoratojen, työkalujen, työkappaleiden ja kiinnittimen keskinäiset sijainnit mitataan ja työsolun malli voidaan kalibroida ennen etäohjelmoinnin aloitusta. Huoltoseisokkien aikana suoritetaan mittaus. Normaalisti yhden solun mittaamiseen kuluu aikaa tunnista neljään tuntiin. (Kuivanen 1999, 87.)

Suunnitteluosastolla 3D CAD- mallinnusjärjestelmällä mallinnetaan kaikki solun kiinnittimet, työkalut ja työkappaleet. Geometriamallit siirretään IGES-neutraalitiedostojen avulla etäohjelmointijärjestelmään. Lisäksi pistehitsaus ja mittauksesta saadut referenssipisteet siirretään IGES-tiedostoina etäohjelmointijärjestelmään. (Kuivanen 1999, 87-88.)

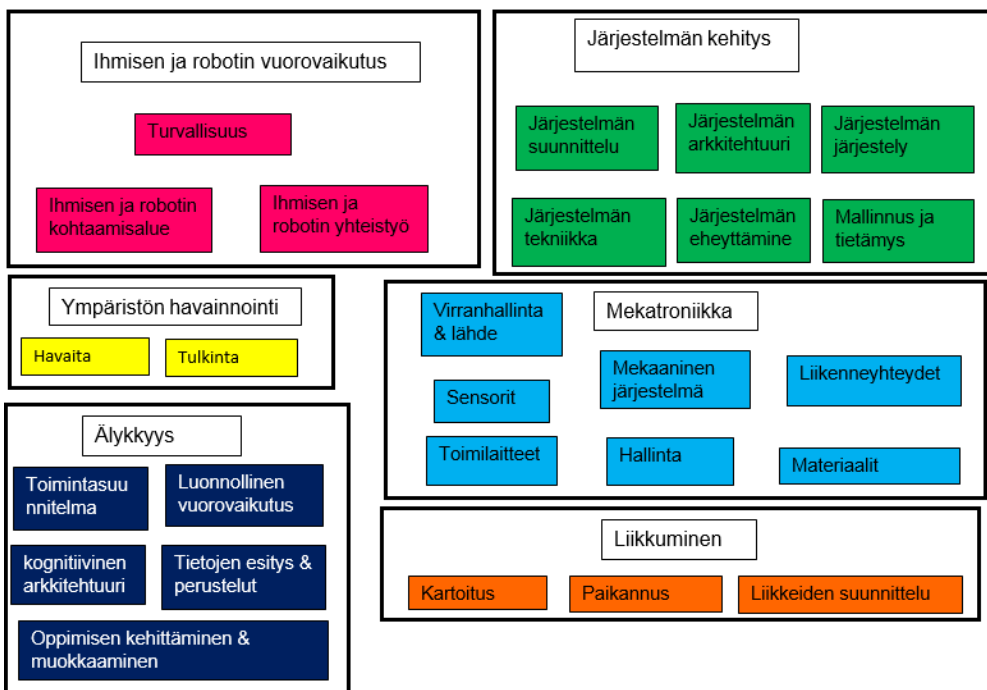
Varsinainen ohjelmointi alkaa hitsauspisteiden käsittelyllä siten, että pisteet ryhmitellään sopiviksi osakokonaisuuksiksi niiden sijainnin perusteella. Suunnittelujärjestelmä antaa pisteiden koordinaatit ilman suuntia, joten suunnat täytyy määrittää suhteessa pintaan. Suuntien määrittäminen tehdään puoliautomaattisesti eli järjestelmä laskee suunnan kohtisuoraan pintaa vastaan ja ohjelmoi määrittää työkalun asennon. (Kuivanen 1999, 88.)

Välipisteiden luominen tarvittaviin paikkoihin on seuraava vaihe. Välipisteiden luonnissa voidaan käyttää hyväksi automatiikkaa, mutta usein välipisteet luodaan vaivattomasti ilmankin. Jos pisteiden luominen on hoidettu järjestelmällisesti, itse ohjelman kirjoitus hoituu yhdellä napin painalluksella. Pisteiden ulkoiset tietokentät sisältävät kaikki ohjelman tarvitseman tiedon, kuten pisteiden tyypit, prosessi- ja liikeparametrit. Tällä tavoin ohjelmien ylläpito helpottuu. Pistetietojen muokkaus taulukkomuodossa on paljon helpompi vaihtoehto kuin yksi pitkä ohjelma. (Kuivanen 1999, 88.)

4 ROBOTIIKAN TULEVAISUUS

4.1 Yleistä

Robotit määritellään moniteknisiksi järjestelmiksi, joten niihin liittyvät teknologiat kehittyvät kahta erilaista reittiä. Ensimmäisenä teknologioita kehitellään robottisovelluksiin (robotiikan ydinteknologiat). Tällöinen kehitys on erityisen tärkeää, koska robottijärjestelmiin liittyy sellaisia ominaispiirteitä, jotka eivät ole tyypillisiä muissa järjestelmissä. Robottien kehitystä tehostaa myös muiden teknologia-alojen kehitys. Robottien viimeaikaiseen kehitykseen ovat vaikuttaneet merkittävästi mm. tietokoneiden laskentatehon ja muisti- sekä tallennuskapasiteetin kehitys, langattoman tiedonsiirron sekä akku- ja anturitekniikan kehitys. Robottien kehityskaarta arvioidessa on tärkeää huomata ydinteknologian ja tukevilla teknologia-alueilla tapahtunut kehitys. Lisäksi on tärkeää muistaa, että pelkkä tukevien teknologioiden osaaminen ei pelkästään riitä kilpailukykyisen robottijärjestelmän luomiseen, vaan ydinteknologian kompetenssi on välttämätöntä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2016, 21.) Kuvassa 8 on esitetty yleisimmät teknologiat robotiikassa.



KUVA 8. Yleisimmät teknologiat robotiikassa. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2016)

Eurooppalainen robotiikan strateginen tutkimusohjelma (SPARC SRA, 2014) jakaa robotiikan teknologiat yllä olevan kuvan (Kuva 8) mukaisiin kokonaisuuksiin:

- Mekatroniikka (mechatronics), sisältää robottien laitekomponentit (anturit, toimilaitteet sekä näiden ohjaus ja tehonlähde)
- Järjestelmän kehitys (systems development) sisältyy robottijärjestelmien suunnitteluun, mallinnukseen, menetelmien kehitykseen sekä työkaluihin.
- Ihmisen ja robotin vuorovaikutus (human robot interaction) sisältää ihmisen ja robotin välisen vuorovaikutuksen, sekä yhteistyön ja turvallisuuden.
- Ympäristön havainnointi (perception) sisältää anturitietojen käsittelyn sekä lisäksi sen tulkinnan ymmärtämiseksi.
- Liikkuminen (navigation) sisältää robotin paikannuksen, kartoituksen ja reitin suunnittelun.
- Älykkyys (cognition) sisältää tiedon mallinnuksesta, päättelyn ja oppimisen. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2016, 21-22.)

Seuraavassa esitetään lyhyesti kunkin kokonaisuuden nykytilaa ja tulevaisuudennäkymiä perustuen eurooppalaiseen tutkimusohjelmaan (SPARC SRA, 2014) sekä Yhdysvaltojen robotiikan tiekarttaan (US Roadmap 2013). Kehitysnäkymät ulottuvat nykyhetkestä vuoteen 2020. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2016, 22.)

Mekatroniikan tärkeimpiä kehityskohteita ovat joustavien mekaanisten järjestelmien kehitys ja turvallisuuden sekä energiatehokkuuden kasvattaminen. Näiden saavuttaminen vaatii monianturitekniikan luotettavuuden kehittämistä vaikeampiin olosuhteisiin, jotta halutut tulokset saavutettaisiin. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2016, 22.)

Robottijärjestelmien kehityksen tavoitteena on laajentaa järjestelmäsuunnittelun menetelmiä paremmin sopivammiksi robottijärjestelmille. Haasteita luo yhteisten arkkitehtuurien ja rajapintojen määrittely. Kehityskohteita ovat varsinkin robottijärjestelmien suunnittelun helpottaminen sekä suunnittelumenetelmien ja työkalujen kehityksen kustannusten alentaminen. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2016, 22.)

Ihmisen ja robotin vuorovaikutus lisääntyy lähitulevaisuudessa, koska lähitulevaisuudessa robotit työskentelevät ihmisten kanssa samassa tilassa yhä enemmän. Tärkein kehityskohde on

robottien ohjelmointi opettamalla, ja tällöin ihmisen ja robotin välinen vuorovaikutus on tärkeässä asemassa, esimerkiksi yhteistä tehtävää suorittaessa. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2016, 22.)

Havainnoinnin viimeisin tärkeä kehitysaskel on ollut edullisten 3D-antureiden markkinoille tulo. Monianturitekniikan kehittyminen, antureiden rajapintojen sekä havaintotiedon standardointi komponenttimarkkinoiden luomiseksi, ympäristön vaihtelua sietävien menetelmien kehitys, kohteiden tunnistus ja 3D- muodon mittauksen kehitys ovat tärkeitä kehityskohteita 3D-anturitekniikassa. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2016, 22.)

Robottien liikkumisen teknologiat ovat kehittyneet merkittävästi viime aikoina. Teknologia mahdollistaa mm. kaupalliset kuluttajasovellukset. Kehitystä tullaan tulevaisuudessa näkemään erityisesti liikkumisessa vaihtelevissa ympäristöissä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2016, 22.)

Voimakas kehitys tekoälyssä ja koneoppimisessa tukee robottien älykkyyden kehitystä. Robottien älykkyydessä nähdään pitkänaikaisessa oppimisessa, tiedon jakamisen ja yhdistämisen mahdollistavissa arkkitehtuureissa, ihmisiltä ja muilta roboteilta oppimisessa, luonnollisen kielen oppimisessa sekä suunnittelun ja oppimisen yhdistämisessä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2016, 22.)

Teollisuusrobotiikan tärkeimmät äskettäin tapahtuneet teknologiset läpimurrot ovat voimaohjauksen ja käyttöliittymien kehittyminen. Ihmisen ja robotin toimiminen samassa tilassa turvalisesti on mahdollistanut juurikin voimaohjaus ja -anturointi. Rajoitteita yhteistyön toimimisessa on mm. rajoitettu liikenopeus. Robottien käyttöliittymät ovat muuttumassa teknologisen läpimurron vuoksi siten, että ihminen kykenee ohjelmoimaan robotteja näyttämällä perinteisen ohjelmoinnin sijaan. Tämä lisää joustavuutta järjestelmiin ja ohjelmoinnin kustannukset vähenevät. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2016, 23.)

Seuraavan läpimurron odotetaan olevan koneiden kyvyssä havaita ja ymmärtää ympäristöään ja siinä olevia ihmisiä ja esineitä luotettavasti. Tämä lisää koneiden ja ihmisten yhteistoimintaa samalla alueella. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2016, 24.)

4.2 Yhteistyörobotit

Yhteistyörobotit on suunniteltu työskentelemään ihmisten kanssa yhdessä. Perinteisistä robotista ne eroavat siten, että yhteistyörobotit toimivat apuna vaikeissa tehtävissä, mutta lisäksi niitä on helppo opettaa uusiin tehtäviin. Yhteistyörobottia voidaankin pitää avuliaana työkaverina, jonka kanssa työskennellessä ei tarvitse pelätä oman turvallisuutensa puolesta. Yhteistyörobotit soveltuvat hyvin monenlaisiin tehtäviin. Yhteistyörobotit soveltuvat parhaiten pien-sarjatuotantoon, jossa työ on jatkuvaa toistoa ja ihmisen olisi hankala työskennellä turvallisesti. (Servicepoint 2017.)

Näiden robottien käyttöönotto on paljon yksinkertaisempaa kuin suurien teollisuusrobottien. Käyttäjän tarvitsee omaksua vain robotin peruseriaatteet ja opettaa robotille hänen työtehtävänsä. (Servicepoint 2017.)

4.2.1 Yleistä

Yhteistyörobottien tekniikka on vaatinut paljon uusia ideoita, jotta robotit saataisiin suunniteltua turvallisiksi samalla alueella työskenteleville ihmisille. Erityisesti huomiota on täytynyt kiinnittää robottien voiman ja nopeuden säätöön, mutta sen lisäksi myös niveliin, pehmeämpiin materiaaleihin ja anturitekniikkaan, jolla robotti pysähtyy turvallisesti, jos se törmää ihmiseen. Standardit ISO 10218-1 ja 10218-2 vaativat yhteistyöroboteilta neljä erilaista ominaisuutta:

1. Turvallinen valvottu pysähtyminen
2. Ohjelmointi käsiohjauksella
3. Nopeuden ja pysähtymisen valvonta
4. Tehon ja voiman rajoittaminen

(Motoman 2018.) Kuvassa 9 on esitetty yhteistyörobottien yhteistoiminnot.

Paikallaan pysymisen valvonta <ul style="list-style-type: none"> → Servoja ei tarvitse sammuttaa → Lisää tehokkuutta 	Nopeuden ja alueen valvonta <ul style="list-style-type: none"> → Tilaa säästyy → Suoja-aitoja ei tarvita
Käsiohjaus <ul style="list-style-type: none"> → Ohjelmointi yksinkertaistuu → Virhetilanteista toipuminen nopeaa 	Tehon ja voiman rajoittaminen <ul style="list-style-type: none"> → Aluevalvontaa ei tarvita → Tapaturmariskit vähenevät

KUVA 9. Yhteisrobottien yhteistoiminnot. (Motoman 2018)

Ominaisuudet, jotka rajoittavat tehoa ja voimaa:

- Anturit jokaisessa robotin nivelessä- kaikkia antureiden mittaamia arvoja verrataan vakioarvoon ja tämän perusteella toimenpiteiden tarve arvioidaan.
- Käsiohjaus- robotin ohjelmoiminen helpoimmalla tavalla on liikutella sitä kädellä ja tallentamalla pisteet ja toiminnot muistiin.
- Pyöreälinjainen muotoilu- robotin ulkokuoresta on tehty mahdollisimman pyöreä, ja lisäksi moottorit ja kaapelit on sijoitettu robotin sisään. Lisäksi robotti on suunniteltu mahdollisimman kevyeksi.
- Turvallisuutta lisäävät optiot- robotin päälle asennetaan pehmeä, joko aktiivinen tai passiivinen suoja.

(Motoman 2018.)

4.2.2 Anturitekniikat

Seuraavassa esittelen yleisimmät turva-anturitekniikat. Perinteisimmät ja yleisesti käytössä olevat turva-anturitekniikat ovat valokennot, valoverhot, tuntomatot, sähkömekaaniset turvakytkimet ja koneen toimintaan kytketyt portit. (Malm 2008, 18.)

Valokytkimien toiminta perustuu valonsäteiden käyttöön. Lähetin lähettää valonsäteitä, jotka vastaanotin havaitsee. LEDejä käytetään yleensä valonlähteenä ja yleensä valo on pulssitettua

tai moduloitua, mikä parantaa anturin häiriönsietokykyä ja lisäksi yksilöi anturin. (Malm 2008, 18.)

Valokytkimiä voidaan käyttää vaaralliselle alueelle vievän aukon valvonnassa, joko mekaanisten porttien kanssa tai ilman. Jatkuvaan valvontaan valokennot eivät sovellu, koska koneen pysähtyttyä tilanne täytyy kuitata manuaalisesti. (Malm 2008, 19.)

Valoverho on valokytkimestä kehittyneempi versio, jolla voidaan estää käsien, sormien ja jalkojen pääsy koneen työalueelle, koska valonsäteitä on enemmän kuin valokytkimessä ja valonsäteiden etäisyys toisistaan on lyhyt. Periaatteessa valoverho on useiden valokytkimien yhdistelmä. (Malm 2008, 19-20.)

Yleisimmin käytössä olevat turvalaitteet perustuvat mekaaniseen kosketukseen. Näiden turvalaitteiden etuna on helppo testattavuus, yksinkertaisuus, luotettavuus ja saatavuus. Lattiaan tai muuhun tarkasteltavaan pintaan kiinnitettävät tuntomatot antavat signaalin, kun ihminen tai muu painava esine astuu matolle. Tuntomatot toimivat paineilman, valokuidun tai sähkömekaanisten ratkaisujen avulla. Paineilmatoiminen tuntomatto sisältää putkiston, jota mitataan putkiston alku- ja loppupäässä. Kun ihminen astuu maton päälle, paineilmaputket menevät lyttyyn ja tämä aiheuttaa paine-eron muutoksen, joka taas aiheuttaa pysäytyskäskyn. Tällaiset ilmatoimiset matot ovat nykyisin harvinaisia. (Malm 2008, 20.)

Valokuitua hyväksi käytävissä tuntomatoissa maton sisälle on vedetty pitkä valokuitukaapeli kiepille. Matolle astuminen aiheuttaa valokuidun taipumisen, josta tällöin osa valosta karkaa kuidusta ja tämä aiheuttaa pysähtymiskäskyn. (Malm 2008, 21.)

Sähköisen piirin sulkeutumiseen perustuva tuntomatto on yleisimmin käytössä oleva. Matossa on kaksi metallilevyä, jotka normaalisti eivät koske toisiinsa eristeiden ansioista. Kun ihminen astuu matolle, eristeet menevät lyttyyn ja aiheuttavat piirin sulkeutumisen eli pysähtymiskäskyn. Ihmisen lähdettyä pois tuntomatolta robotti tai muu kone jatkaa siitä, mihin se jäi, ennen kuin se sai pysähtymiskäskyn. (Malm 2008, 21 -22.)

Erittäin monipuolinen turvalaite on laserskanneri, jolla voidaan havaita ihmisiä ja lisäksi kohteen sijainnin määrittäminenkin onnistuu. Laserskanneri on kaksiulotteinen. Laserskannerin

toimintaperiaate perustuu lähetetyn valonsäteen palautumiseen kohteesta ja siihen kuluvan ajan mittaamiseen. Laservalo suunnataan kohti valvottavaa aluetta ja mikäli valonsäde heijastuu takaisin, tästä seuraa ohjauskäsky. Laserskannereita voidaan käyttää samanaikaisesti useampia, koska vaarallisen alueen valvominen on todella tarkkaa ja tällä vältetään rakenteiden aiheuttamilta katvealueilta. (Malm 2008, 23-24.)

Ultraääniantureiden toimintaperiaate on samanlainen kuin turvalaserskannereiden. Ultraäänianturi mittaan kohteen etäisyyttä anturista. Käytössä olevan äänentaajuus vaihtelee 40-200 kHz välillä ja äänentaajuus valmistetaan joko sähköstaattisesti tai pietsosähköisesti. Mittaustaajuus ultraäänianturilla on vain 1-50 Hz, koska lähettimessä olevien värähtelyiden tulee vähentyä ennen uuden impulssin lähettämistä ja odottaa mahdollisesti äänen saapumista sensorille. Ultraääniantureilla pystytään havaitsemaan lähes kaikista materiaaleista valmistettuja kappaleita. (Malm 2008, 24-24.)

5 LISÄTTY- JA VIRTUAALINEN TODELLISUUS

Lisätyssä todellisuudessa (engl. Augmented Reality, AR) luodaan näkymä, jossa todelliseen maailmaan tuodaan tietokoneella luotuja virtuaalisia objekteja. Lisätty todellisuus kuuluu yhdistettyyn todellisuuteen, mutta lisätyssä todellisuudessa objektien kanssa ei ole vuorovaikutusta. Digitaalinen materiaali lisätään todellisen maailman päälle lisätyssä todellisuudessa, joten vuorovaikutusta todellisen maailman sisällön kanssa ei ole. (Viksilä 2018, 10.)

Nykyaikana, kun älypuhelimet ovat yleistyneet, on myös lisätty todellisuus noussut esiin. Kameroiden ja näyttöjen kehittyminen on lisännyt kiinnostusta lisätyn todellisuuden sovelluksille. Myös paikannusominaisuuksien ja laskentatehon paraneminen parantavat sovellusten käyttöä. (Viksilä 2018, 10.)

Lisätty todellisuus voi olla yksinkertaisimmillaan suoran TV-lähetysten katsomista. Mäkihyppäyksessä TV:n katsojille näytetään virtuaalinen merkkiviiva, josta katsoja pystyy näkemään ylittääkö hyppääjä viivaa. Tällaiset viivat on luotu katsojien kokemuksien parantamiseksi. Kilpailijat eivät itse näe tätä viivaa. (Mikkonen & Pakkanen 2017, 6.)

Lisätyllä todellisuudella pyritään ehostamaan todellista maailmaa. Käyttäjälle voidaan syöttää digitaalista lisätietoa, kuten valokuvia, videoita, ääntä, kosketusta tai haptista (teknologia, joka käyttää hyväksi tuntoaistia.) palautetta. Kyseiset tiedot lisätään todellisen näkymän päälle. Lisätylle todellisuudelle on määritetty kolme tunnusomaista piirrettä:

1. Lisätty todellisuus yhdistää todellisia ja virtuaalisia informaatioita.
2. Lisätty todellisuus on interaktiivista ja reaaliaikaista.
3. Lisätty todellisuus toimii ja sitä käytetään 3D-ympäristössä.

(Mikkonen & Pakkanen 2017, 7.)

5.1 AR-lasit

AR-lasit eli lisätyn todellisuuden lasit tuovat käyttäjän näkökenttään hologrammeja ja uusia informaatioita todellisen maailman päälle. Tulevaisuudessa lisättyä todellisuutta pidetään selvästi suurempana markkinana kuin virtuaalitodellisuutta. Nykyaikana lasit eivät ole vielä kovin

hyviä. Lasit ovat suhteellisen isokokoisia ja painavia. On arvioitu, että viiden vuoden kuluttua AR-lasit ovat edistyksellisempiä. (Koskikallio 2017, 20.)

Hololens AR-lasien kehittäjäversion hinta on 3000 dollaria. Hololenssin paras ominaisuus on tracking, eli kuinka tarkasti hologrammit pysyvät paikallaan. Toinen etu Hololenssin on sen keveys ja langattomuus. Lasit sisältävät kokonaisen tietokoneen, jossa on Windows-käyttöjärjestelmä, mutta samalla lasit ovat hyvin kevyet. Käytön tekee miellyttäväksi ja helpoksi langattomuus. Akun kesto on 2-3 tuntia. Lasit on suunniteltu käytettäväksi vain sisätiloissa siten, että päivänvalo ei tule ikkunoista suoraan. Lasit menevät sekaisin päivänvalosta ja hologrammit eivät pysy paikoillaan. Hololensin suppea näkökenttä on sen suurin puute, jossa hologrammit näkyvät. (Pänkäläinen 2016.)

Meta 2-lasien hinta on 949 dollaria. Metan lasit tarvitsee toimiakseen tehokkaan tietokoneen, joten samalla liikkumisalue rajoittuu muutamaan metriin. Metan lasien suurin etu on sen näkökenttä, joka on huomattavasti laajempi kuin Hololenssin. Metan näkökentässä sijaitsevia kohteita pystyy liikuttelemaan ja pyörittelemään omilla käsillään käyttäen normaaleja liikkeitä. (Pänkäläinen 2016.)

Magic Leap on kehittänyt valtavalla rahoituksella AR-lasejaan. Yritys itse kutsuu tekniikkaansa termillä MR (mixed reality). Magic Leap on kerännyt todella suuren 1,9 miljardin dollarin rahoituksen. Rahoittajina ovat toimineet esimerkiksi Google, Alibaba ja Warner Bros. (Pänkäläinen, 2016.)

Magic Leapin valmistama tuote koostuu kolmesta osasta, jotka ovat lightweightiksi kutsutut lisätyn todellisuuden lasit, jotka ovat huomattavasti pienemmät kuin esimerkiksi Microsoft Hololenssit, toimintaa ohjaava tekniikka on johdon päässä lightpack-nimisessä pikkuisessa tietokoneessa, joka roikkuu vyöllä, ja lisäksi käteen tulee Magic Leap-ohjain. Laseissa on käytössä 3D-äänimaailma. Käyttäjän korviin ei tule mitään kuulokkeita, vaan ääni tulee minikokoisista kaiuttimista. Lasit perustuvat lightfield-tekniikkaan. Laseissa ei ole perinteistä näyttöä, vaan silmiin lähetetään suoraan valosäteitä, jotka on laskettu mahdollisimman tarkasti vastaavan virtuaalista esinettä. Tätä tekniikkaa on kehitelty vasta muutaman vuoden, joten siihen liittyville asioille ei ole kaikille keksitty vielä edes nimeä. (Muropaketti 2017.)

Magic Leap -laseissa on sama ongelma, kuin Microsoft Hololensseissa, eli näkökenttä on kapea. Virtuaalisia esineitä on mahdollista piirtää vain pienelle alueelle keskelle näkökenttää. Suuret esineet katkeavat oudosti keskeltä. Lasit muodostavat suuremman alueen katsottavaksi kuin Hololens, mutta ero ei ole merkityksellinen. (Muropaketti 2017.)

Magic Leap -laseista on tulossa muutamia erilaisia versioita, jotka sijoittuvat eri hintaluokkiin. Kaikkein edullisimmat ja ominaisuuksiltaan suppeimmat lasit tulevat maksamaan noin 1000 euroa. Lasit tulevat korvaamaan älypuhelimet, tietokoneet, tabletit ja televisiot. Yritys markkinoi laseja suurelle kansalle koripalloliiga NBA:n kanssa solmitun yhteistyön kautta. (Pitkänen, 2018.)

5.2 AR-lasien käyttömahdollisuudet

AR-laseilla on useita käyttömahdollisuuksia mm. myynti ja markkinointi, koulutukset, 3D-mallien visualisointi, tuotanto ja lisäksi peliteollisuus. (Luukkonen 2017.)

5.2.1 Teollisuus

Kokoonpanossa lisättyä todellisuutta käytetään, niin että tekijät näkevät koko ajan ohjeet, ja lisäksi tietokone tarkistaa myös laadun heti. Esimerkiksi Volvo käyttää kyseistä menetelmää Microsoft Hololens- järjestelmällä. Tällä tavoin koulutuksissa säästetään rahaa, aikaa ja tärkeänä asiana tuotteen laatu paranee. (Kääpä 2018.)

Huollossa ja ylläpidossa lisätyn todellisuuden lasit parantavat työntekijöiden tehokkuutta sekä parantavat itse työntekoa. Työntekijä pystyy katsomaan AR-lasien kautta huoltamansa kohdetta ja katsomaan, kuinka huolto pitää tehdä. Thyssenkrupp-yrityksellä on käytössä Hololens-lasit kannettavan tietokoneen kanssa. (Kääpä 2018.)

AR-lasien käytön vuoksi valmistajat eivät panosta niin paljon koulutukseen, koska AR-lasit ja kamera auttavat osaamisen hyödyntämiseen niin, että työntekijä voi tarvittaessa saada apua asiantuntijalta. Laaduntarkkailussa AR-lasit helpottavat ja nopeuttavat laaduntarkkailijan työtä. Porsche hyödyntää AR-lasien kautta tapahtuvaa laaduntarkkailua. Myös Airbus käyttää AR-sovelluksia laaduntarkkailussa. Automaatioissa AR-lasit tuovat esimiehille ja työntekijöille mahdollisuuden tarkistaa ja tutkia automaatio- ja työprosessia sekä tarvittaessa muokata ja korjata

sitä. Lisäksi valvojat voivat auttaa toisiaan ilman fyysistä läsnäoloa. Työntekijöiden kehittämiseen voidaan käyttää automaatiota niin, että laseja käyttäessään he ovat IoT-tekniikan (internetin yhdistymistä langattomasti koneisiin ja laitteisiin) avulla yhteydessä linjastoon, osastoon ja prosesseihin, ja lisäksi tehtaan tekoäly tukee työntekijöiden työtä avustamalla heitä. (Kääpä 2018.)

5.2.2 Lääketiede

Lisätty todellisuus nähdään suurena mahdollisuutena lääketieteen aloilla. Henkilökunnan koulutuksissa, leikkaussaleissa ja potilaiden opastamisessa voidaan hyödyntää lisätyn todellisuuden sovelluksia. (Luukko 2015, 10.)

CAE ProMIS on kehittänyt laitteen, jolla leikkausten harjoittelu onnistuu. Laitteessa yhdistyy haptinen sekä virtuaalinen käyttöliittymä eli käyttäjä saa käsin kosketeltavan tuntemuksen leikkaustilanteesta ilman oikeaan ihmiseen kohdistuvia riskejä. Potilaille on kehitetty myös lisätyn todellisuuden sovelluksia. OrcaMD on kehittänyt EYeDeciden, jonka avulla potilas pääsee kokemaan, kuinka näkövamma vaikuttaisi hänen näköönsä. (Luukko 2015, 11.)

Seuraava vaihe lääketieteessä on tuoda merkittäviä, jopa hengenpelastavia tietoja lääkäreiden näkökenttään. Esimerkiksi monimutkaisessa leikkauksessa on vain vähän aikaa tarkistaa potilaan allergioita, joten paperien selaamisen sijaan AR-lasien näytölle ilmestyisi potilaan tietoja sekunneissa. (Medicalfuturist 2018.)

5.2.3 Markkinointi

Lisätty todellisuus tuo paljon uusia mahdollisuuksia markkinointiin ja mainontaan, koska nykypäivänä suurimmalla osalla ihmisistä on älypuhelin. Tällä keinolla saadaan luotua lisäarvoa perinteisiin printtimainoksiin sekä –julkaisuihin digitaalisella materiaalilla, ja lisäksi saadaan luotua uusia tapoja kokea tuotteet. (Luukko 2015, 11.)

IKEA on tehnyt vuonna 2013 älypuhelimille ohjelman, jonka avulla on mahdollista testata virtuaalisia huonekaluja omassa kodissa käyttäen sovelluksen katalogia. Tämä antaa asiakkaille paremman kuvan siitä, miltä huonekalut näyttäisivät heidän kodissaan. (Luukko 2015, 11-12.) Kuvassa 10 nähdään, miltä se käytännössä näyttää.



KUVA 10. IKEAn virtuaalinen huonekalujen katseluohjelma

5.2.4 Peliteollisuus

Älypuhelimien ja tablettien kameroiden sekä prosessoreiden kehittyminen auttavat luomaan uskottavia kokemuksia. Normaalisti lisätyn todellisuuden peleissä on oikeaa ympäristöä ja pelattavaa, lisättyä ympäristöä. Lisätyn todellisuuden peleissä on myös mahdollista sijoittaa pelaaja virtuaaliselle pelikentälle GPS-paikannuksen avulla. (Luukko 2015, 13.)

Lisätyn todellisuuden kuluttajille suureen tietoisuuteen toi kesällä 2016 julkaistu Pokemon Go-mobiilipeli. Peli käyttää paikkatietoa ja älylaitteen kameraa. Pelissä käyttäjä liikkuu todellisessa maailmassa, sekä pelimaailmassa, jossa käyttäjän ympärille ilmestyy uusia napattavia pokemoneja. Käyttäjä näkee hahmot älylaitteensa näytöllänsä lisättyinä todelliseen ympäristöön. (Ollila 2017, 18-19.)

5.2.5 CAD-suunnittelu

Yritykset käyttävät tuotteidensa 3D-mallien suunnitteluun CAD-ohjelmistoja. Mallit ovat yleensä hyvin yksityiskohtaisia ja samalla niiden tiedostokokoo on suuri. Tulevaisuudessa AR-lasien avulla yritykset voivat esitellä tuottamiensa tuotteitaan. 3D-mallien suuri koko aiheuttaa nykypäivänä vielä ongelmia, koska kuvanvirkistysnopeus saattaa hidastua tai sitten 3D-mallia ei saada ladattua ollenkaan sovellukseen. (Luukkonen 2017.)

5.3 Virtuaalinen todellisuus

Virtuaalisessa todellisuudessa (Virtual Reality, VR) katsojille heijastetaan näkymä, joka peittää todellisen maailman näkymän ja samalla korvaa sen synteettisillä olennoilla, jotka voivat muistuttaa oikean maailman olentoja tai abstrakteja olentoja. Lisäksi äänimaailma voidaan keinotekoisesti luoda. (Sovelto 2018.)

Vuonna 1938 virtuaalitodellisuus käsitettä käytettiin ensimmäisen kerran. Ranskalainen Antonin Artaud kuvasi teatterin vaikutuskeinoja ilmaisulla ”la ralite virtuelle”. Ensimmäinen todellinen virtuaalitodellisuuslaite tuli vasta vuonna 1962, kun Sensorama-niminen laite näytti lyhyitä 3D-kokemuksen tarjoavia laajakuvafilmejä, johon oli lisätty stereoääniä, tuulettimia ja tuoksujä. Sensorama ei koskaan saanut lyötyä itseään läpi, vaan vasta 1990-luvulla virtuaalisuus sai uuden käänteen ja alkoi kiinnostaa kansaa. (Arvanaghi & Skytt 2016.)

Tietotekniikan kehitys mahdollisti yhtäkkiä VR-kypärien ja –lasien valmistuksen, jolloin virtuaalitodellisuus pääsi ihmisten olohuoneisiin. Aluksi kuvat olivat nykiviä ja VR-lasien tarjoama elämys oli kaukana todellisuudesta. VR-tekniikkaan alettiin panostaa vasta 2010-luvulla, kun alan suurimmat toimijat ryhtyivät kehittämään VR-laseja. VR-laseilla on myös heikot puolensa, sillä näytöt eivät ole yhtä leveitä kuin katsojan luonnollinen näkökenttä. Näyttöjen kapeus rajoittaa näkymää, eikä se luo katsojalle perifeeristä näkökenttää. Lisäksi VR-lasien käyttö ei ole riskitöntä, koska se voi aiheuttaa sivuvaikutuksia, kuten pahoinvointia, tasapainohäiriöitä ja VR-riippuvuutta. On myös olemassa pelko siitä, että digitaalinen todellisuus käy todellista maailmaa houkuttelevammaksi. (Arvanaghi & Skytt 2016.)

5.3.1 VR-lasit

Virtuaalilaseja on olemassa kahdenlaisia:

- Tietokoneeseen kytkettävät lasit, jotka tuottavat parhaat ominaisuudet käyttäjälle
- Langattomat lasit, jotka kiinnitetään älypuhelimeen ovat teknisesti paljon rajoittuneempia

Luonnollisimmillaan virtuaalitodellisuus olisi, jos käyttäjä kykenisi ohjamaan omilla käsillään esineitä virtuaalimaailmassa. Laadukkaimmat markkinoilla olevat virtuaalilasit hyödyntävät lii-

keohjaimia tai käsiohjaimia. On olemassa myös käsineitä, jotka seuraavat liikkeitä. Nämä käsineet mahdollistavat myös alkeelliset tuntemukset eli pelaaja voi tuntea käsissään pienen aistimuksen, kun hän ottaa pallon kiinni ilmassa. Virtuaalilasit matkivat käyttäjän pään liikkeitä ja toistavat liikkeitä virtuaalimaailmassa samalla tavalla. Kun lasit pystyvät tunnistamaan käyttäjän sijainnin ja liikkeen, tällöin syntyy paras VR-elämys. Tämä tarkoittaa, että käyttäjä pystyy kävelemään huoneessa ja kuvakulma päivittyy liikkeen mukana. (Pänkäläinen 2017.)

Markkinoilla olevat VR-lasit:

- Oculus Rift
- HTC Vive
- Sony Playstation VR
- Acer VR
- Samsung Gear VR
- Google Daydream VR & Gardboard

Oculus Rift VR-lasit tulivat ensimmäisinä markkinoille vuonna 2013. Facebook osti Oculuksen vuonna 2014, mikä on nopeuttanut lasien kehitystyötä merkittävästi. Laseihin sisältyy kuulokkeet ja lasien näkökenttä on laajempi kuin kilpailijoiden. Samalla elämys on todentuntuisempi kuin muilla valmistajilla. Liikkuminen onnistuu virtuaalimaailmassa noin 2x2 metriä olevalla alueella. Lasit eivät ole langattomat ja ne tarvitsevat toimiakseen tehokkaan tietokoneen sekä pöydälle asetettavan kameran. Hinta Suomessa noin 500 euroa. Kuvasta 11 selviää, miltä Oculuksen VR-lasit näyttävät. (Pänkäläinen 2017.)



KUVA 11. Oculus Rift VR-lasit (Pänkäläinen 2017)

HTC Vive on teknisesti kehittynein malli. Lasit erottuvat edukseen varsinkin niiden suuren liikkumisvaran takia, joka on noin 4x4 metriä. Lasien mukana tulevat liikeanturit ja käsiohjatimet. Liikeanturit seuraavat hyvin tarkasti käyttäjän sijaintia. Lasit ovat langattomat ja tarvitsevat tehokkaan tietokoneen toimiakseen. Heikkoutena laseissa voidaan pitää niiden suurta kokoa ja painoa. Kuvasta 12 selviää, miltä lasit todellisuudessa näyttävät. Hintaa Suomessa noin 700 euroa. (Pänkäläinen 2017.)



KUVA 12. HTC Vive (Pänkäläinen 2017)

Sony Playstation VR-lasit toimivat PS4-tai uudemmalla konsolilla, ja lisäksi ne tarvitsevat PS-kameran ja PS Move -ohjaimet, joilla käyttäjä voi vaikuttaa pelin tapahtumiin. Liikkuminen on virtuaalisesti mahdollista noin 1,5x1,5 metrin alueella. Lasien suurin etu kilpailijoihin verrattuna on se, että Playstation 4-konsoleita on myyty kymmeniä miljoonia. Lasien hinta suomessa on noin 300 euroa. (Pänkäläinen 2017.) Kuvasta 13 voi nähdä, miltä lasit todellisuudessa näyttävät.



KUVA 13. Sony Playstation VR (Playstation 2018)

Acer VR -lasit on kehitetty yhteistyössä Microsoftin kanssa ja ne perustuvat Windows 10 -alustaan. Lasien LCD-näyttöpaneelit aiheuttavat viivettä nopeissa liikkeissä ja lasien optiikka on heikompaa kuin muilla valmistajilla. Nämäkin lasit ovat langattomat ja tarvitsevat tehokkaan tietokoneen toimiakseen. Lasien etu muiden valmistajien laseihin on se, että lasit eivät tarvitse ulkoisia järjestelmiä paikannusta varten. Kuvasta 14 käy ilmi, miltä Acerin lasit näyttävät. Hinta Suomessa on noin 400 euroa. (Pänkäläinen, 2017.)



KUVA 14. Acer VR -lasit (Pänkäläinen 2017)

Samsung Gear VR -lasit tarvitsevat toimiakseen Samsungin puhelimen. Lasit soveltuvat parhaiten 360-videoiden katseluun. Varsinaiset VR-pelit eivät ole vielä parhaimmillaan, koska liikkeen ja sijainnin tunnistus puuttuu. Lasit on kehitetty yhdessä Oculuksen kanssa. Lasien mukana tulee käsiohjain, joka helpottaa käyttöä. Kuvassa 15 on Samsungin VR-lasit. Hinta Suomessa on noin 150 euroa. (Pänkäläinen 2017.)



KUVA 15. Samsung VR-lasit (Pänkäläinen 2017)

Google Daydream VR -lasit toimivat tiettyjen vaatimuksen täyttävien puhelimien kanssa. Googlen Pixel-puhelin on ollut ensimmäinen yhteensopiva puhelin. Lasit ovat hieman kevyemmät kuin kilpailijan valmistamat Gear VR -lasit, koska suurin osa tekniikasta on integroitu suoraan puhelimeen. Lasien mukana toimitetaan käsiohjain, jonka avulla VR-sovellusten ohjaaminen on helpompaa. Hinta Suomessa on noin 100 euroa. Google Cardboard VR -laseja on mahdollista käyttää hyvin edullisesti, koska lasit maksavat alle 10 euroa. Näytön tarkkuus riippuu käytössä olevasta puhelimesta. (Pänkäläinen 2017.)

5.3.2 VR-lasien käyttömahdollisuuksia

VR-lasien alkuvaiheessa kiinnostusta laseja kohtaan kuluttajasektorilla oli eniten pelaajien keskuudessa. Lasien kehittyessä ne tulevat löytämään paikkansa myös yritysmaailmasta. (Pänkäläinen 2017.)

5.3.3 Arkkitehtuuri

VR-lasit helpottavat arkkitehdin työtä, koska on helpompaa tarkastella suunnittelemaansa kohdetta oikeassa mittakaavassa ja pääsee rakennuksen sisälle etsimään mahdollisia ongelmakohtia. Lisäksi Valmista mallia voidaan esitellä asiakkaille ja tarvittaessa muuttaa sitä asiakkaan vaatimusten mukaan. (Virtuaalimaailma 2016.)

5.3.4 Sotilaiden koulutus

Sotilaille pystytään luomaan taistelutilanteita VR-lasien, liikeantureiden ja ohjaimien avulla paljon helpommin ja merkittävästi edullisemmin kuin oikeat taisteluharjoitukset. Lisäksi harjoitusaika vähenee. (Tieteen Kuvalehti 2016.)

5.3.5 Terveystenhuollossa

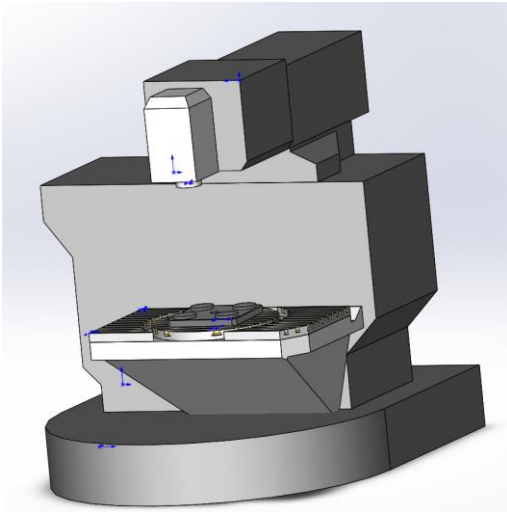
Virtuaalitodellisuuden käyttömahdollisuudet terveydenhuollossa vaihtelevat diagnoosin selvityksestä aina hoitoon asti. Leikkaus, kuntoutus ja neuvonta kuuluvat esimerkiksi edellä mainittuihin asioihin. Virtuaalitodellisuutta käytetään perinteisten hoitomenetelmien parantamiseen ja ratkaisujen löytämiseen trauman jälkeiselle stressihäiriölle, ahdistuneisuudelle psykologien ja muiden terveydenhuollon ammattilaisten parissa. Todistettusti virtuaalitodellisuus pystyy lievittämään kroonisia kipuja esimerkiksi sotilailla tai palovammapotilailla. (Ahonen 2018, 19.)

SnowWorld on VR-peli, jossa käyttäjä heittelee pingviinejä lumipalloilla ja se helpottaa palovammapotilaiden kipuja hyvin. On olemassa tapauksia, jossa pelin vaikutus on ollut tehokkaampi kuin morfiinin. Pelin idea on, että käyttäjän aivot käsittelevät kipua eri tavoin pelin aikana. Peli saa käyttäjän suuntaamaan huomionsa peliin ja peliympäristöön ja samalla unohtaa omat kipunsa. (Arvanaghi & Skytt 2016.)

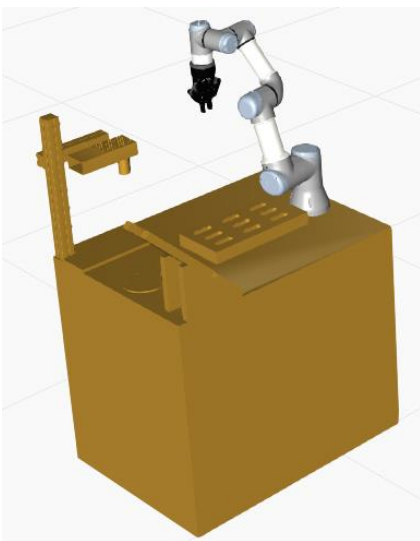
6 ROBOTISOITU TYÖSTÖKONEEN PALVELU

6.1 SolidWorks-mallinnukset

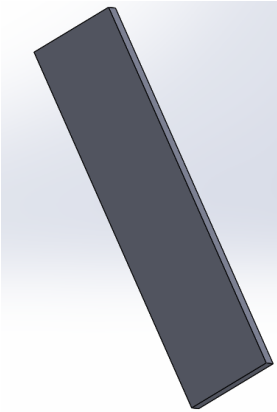
Opinnäytetyö alkoi tarvittavien esineiden mallintamisella, jotka olivat työstettävät aihiot ja pöytäpöytä. Tämän lisäksi sain Timo Rahjalta opinnäytetyössä käytettävän Deckel Maho -työstökoneen valmiit mallinnukset. Lisäksi sain Jari Kaarelalta UR3-robotille pöydän, joka on mallinnettu jo valmiiksi. Pöytä on todellisen mukainen ja se sijaitsee Centrian tuotantotekniikanlaboratoriossa. Valmiit mallit piti liittää SolidWorks mate -toiminnolla toisiinsa. Työstettävät aihiot ovat kokoa 6mm*40mm*170mm. Kuvista 16, 17 ja 18 nähdään, miltä mallinnukset näyttävät.



KUVA 16. Deckel Maho DMU 80 T -työstökone

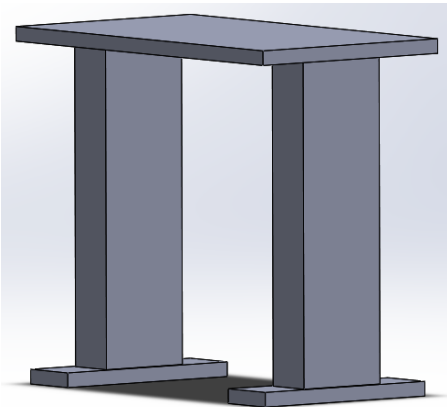


KUVA 17. UR3-robotti ja sen työskentelytaso



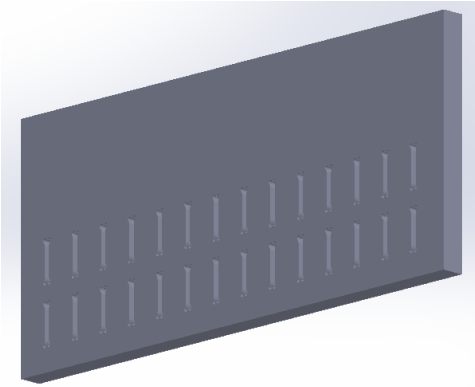
KUVA 18. Työstettävä kappale 6 mm*40 mm*170 mm

Palettipöydän suunnittelussa täytyi ottaa huomioon, kuinka ison pöydästä voi tehdä, jotta robotit yltävät ottamaan aihiot siitä. Lisäksi täytyi miettiä pöydän korkeutta, koska pöydän täytyy olla oikean korkuinen, jotta robotin on helppo liikkua. Päädyin tekemään palettipöydän niin, että sen leveys oli 460 mm, pituus 800mm ja korkeus 730mm. Kuvassa 19 on esitetty mallinnettu palettipöytä.



KUVA 19. Palettipöytä 460 mm*800 mm*730 mm

Seuraavaksi täytyi suunnitella paletti, johon aihiot lastataan ja josta robotti saa ne poimittua. Paletin koko määräytyi palettipöydän mukaan, joten sitä ei tarvinnut erikseen miettiä. Paletin mitat olivat leveys 270 mm, pituus 600 mm ja paksuus 28 mm. Palettiin mahtuu 28 aihiota kerrallaan. Paletissa on 20mm:n syvennys, jotta aihiot pysyvät pystyssä ja ne ovat selkeässä järjestyksessä. Näin robotin on helppo noukkia kappaleet. Paletti asetetaan palettipöydän päälle ilman kiinnitystä. Kuvassa 20 valmis mallinnettu paletti.



KUVA 20. Paletti 270 mm* 800 mm* 28 mm

6.2 Työstökoneen tasojen mittaukset

Työstökoneen tasojen mittaus tapahtui FARO Platium arm -käsivarsimittauslaitteella. FARO-mittauslaite käyttää koskettavaa mittausmenetelmää, eli kohdetta kosketetaan laitteiston mittapäällä ja samalla laitteisto rekisteröi mittapään kärjen aseman. Käsivarsimittauslaite on nopea käyttää ja se on monipuolisesti käytettävissä. Vapausasteita laitteella on nivelten määrästä riippuen 6-7. Kuvista 21 ja 22 on nähtävissä, miltä FAROn käsivarsimittauslaite todellisuudessa näyttää.



KUVA 21. FARO käsivarsimittauslaite

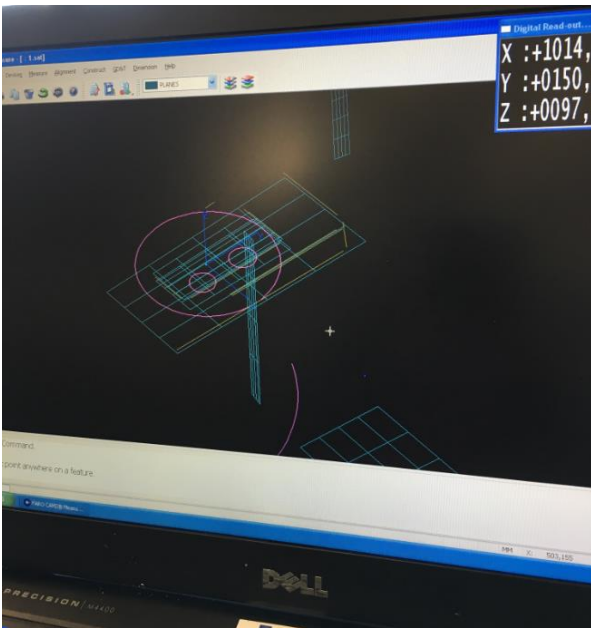


KUVA 22. FARON mittauskärki

Ensimmäiseksi täytyi pystyttää robotti työstökoneen viereen, jotta mittaamisen voi aloittaa. Mittauksesta vastasi laboratorioteknikko Timo Rahja. Kuvassa 23 on nähtävissä, miten mittaus suoritettiin. Työstökoneesta mitattiin työstötasojen korkeudet ja lattian taso. Lisäksi mitattiin myös oviaukko. Mittauslaite oli kytkettynä tietokoneeseen eli kun mittauskärki kosketti tasoa, tietokone taltioi pisteet. Tietokoneessa oli FAROille suunniteltu ohjelma (KUVA 24), joka oli helpohkon oloinen käyttää. Kun mittasimme suorakulmaisen muotoista työstötasoa, tietokoneohjelmasta täytyi valita, minkä muotoista kuvioita on mallintamassa ja ohjelma osaa jo muutamien pisteiden avulla piirtää koko kuvion.



KUVA 23. Työtasojen mittaus



KUVA 24. Tietokoneohjelman piirtämät tasot

Kun työstötasojen ja kaikkien muidenkin mitat oli saatu taltioitua tietokoneelle, ohjelma oli antanut selkeän kuvan, josta löytää helposti työstötason korkeudet. Tämä on tärkeä vaihe, koska näiden mittojen mukaan määritetään työstökoneen kaikki korkeudet simuloinnissa.

6.3 Simuloinnin suunnittelu Visual Components ohjelmistolla

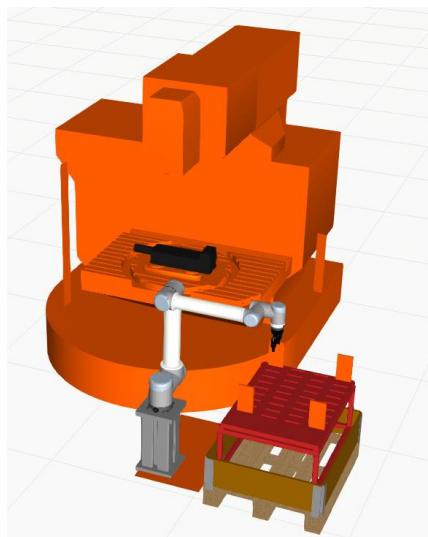
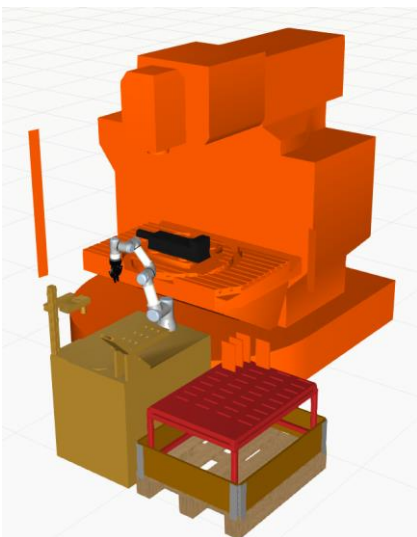
Visual Components -ohjelmistolla simuloinnin suunnittelu alkoi kappaleiden tuomisesta ohjelmaan. Ensimmäiseksi etsin UR3-robotin ja siihen oikeanlaisen tarttujan e-catalog kirjastosta ja toin ne työskentelyalustalle. Tämän jälkeen toin SolidWorks-ohjelmalla mallintamani palettipöydän. Ohjelmaan tuodessa kappaleeseen täytyy tehdä snap-toimenpide, jossa kappaleelle määritellään uusi kohta, jonka mukaan kaikki mitat menevät. Roboteille ja kaikille kappaleille määrittelin snap-kohdan niiden pohjaan, jotta sain ne oikeaan korkeuteen. Kappaleiden saamiseen oikeaan korkeuteen on helppoa, koska ohjelma sisältää mittatyökalun, jonka avulla voi mitata oikean korkeuden ja täten asettaa tuotteet oikealle korkeudelle.

Kun palettipöytä oli saatu tuotua alustalle, niin seuraavaksi hain Deckel Maho -työstökoneen alustalle. Työstökoneen malli on kevennetty versio oikeasta, eli oikeastaan koneesta puuttuu kuoret. Lisäksi toin työstökoneeseen erowa-työtason sekä ruuvipenkin, johon aihiot saa kiinnitettyä. Nämä tuotteet piti siirtelemällä saada oikeaan korkeuteen ja paikkaan.

Seuraavaksi sain opettaja Jari Kaarelalta UR3-robotin pöydän mallin, jonka hän oli luonut. Pöydän vein ohjelman alustalle ja siirtelin sen oikeaan paikkaan. Koska opinnäytetyössäni teen kahdella eri robotilla simuloinnin, niin UR10-robotille hain e-catalog-kirjastosta jalustan.

Kun kaikki muut kappaleet oli saatu paikoilleensa, enää täytyi tuoda työstettävät aihiot ohjelmaan. UR3-robotilla tehtyyn simulointiin toin neljä aihiota paletin etunurkkaan, koska robotti ei yltänyt kauemmaksi. Isommalla UR10-robotilla toteutettuun simulointiin toin samat neljä aihiota ja sijoitin ne paletin jokaiseen nurkkaan, jotta näemme yltääkö robotti ottamaan jokaisesta nurkasta aihion. Aihioille täytyi tehdä sama snap-toiminto kuin kaikille muillekin kappaleille. Aihioden oikeaan paikkaan siirtely oli aika hidasta työtä, koska se oli niin tarkkaa ja jouduin lähentämään kuvaa paljon, että saisin täydellinen näkyvyyden.

Kun olin saanut tuotua kaikki kappaleet ohjelmaan ja asetettua ne oikeille paikoille alkoi kaikista vaikein tehtävä eli simulaatiomallin tekeminen. Simulointimallin tekemisessä robotille määritellään pisteiden avulla, minne robotti seuraavaksi liikkuu. Työnkierto alkoi aihion poimisella paletista. Seuraavaksi aihio vietiin työstökoneeseen ja jätettiin se sinne työstettäväksi, joten robotti piti tuoda työstökoneen ulkopuolelle odottamaan. Kun aihio on työstetty, robotti poimii sen ja vie sen samaan paikkaan palettiin, mistä se alun perin poimittiin. Tällaisia työkierroja tapahtui molemmissa simuloinneissa neljä kertaa. Kuvassa 25 on esitetty molemmat simuloinnin layoutit.



KUVA 25. UR3- ja UR10 robottien layout

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli simuloida työstökoneen automatisoitu palvelu. Simuloinnin jälkeen kävi selväksi, että UR3-robotti ei sovellu työskentelemään työstökoneen kanssa sen pienen koon vuoksi. UR10-käsivarsirobotin toiminta osoittautui sovellyksi. UR10-käsivarsirobotin toiminta osoittautui sovellyksi. UR10-käsivarsirobotin toiminta osoittautui sovellyksi. UR10-käsivarsirobotin toiminta osoittautui sovellyksi.

Opinnäytetyössä simulointi onnistui suunnitellulla tavalla UR10-robotin kanssa. Simuloinnissa robotti haki työstettävän aihion palettipöydältä ja vei sen koneistettavaksi työstökeskukseen. Kun työstö oli valmis, robotti haki valmiin kappaleen työstökoneesta ja vei sen takaisin palettipöydälle sille suunniteltuun paikkaan. UR3-käsivarsirobotin kanssa simuloinnissa oli ongelmia, koska robotti on hyvin pieni, joten tuotantosolu pitäisi saada mahdollisimman pieneen pakettiin ja se ei toimisi, jos simulointia ryhdyttäisiin kokeilemaan käytännössä. Lisäksi työstökoneen ovea ei saa UR3-robotilla työskennellessä kiinni, koska robotti täytyi sijoittaa puoliksi työstökoneen sisälle. UR3-robotti ei yllä myöskään noutamaan kappaleita palettipöydältä kuin muutama, koska se ei yllä pidemmälle. UR10-robotilla oven sulkeminen onnistuu, vaikkakin sitä ei tähän simulointiin saatu tehtyä oven puuttumisen vuoksi, mutta jos tällainen tuotantosolu päätetään rakentaa, on UR10 oikea valinta, koska robotti on isompi, joten sillä voi nostaa hieman isompiakin aihioita työstettäväksi ja liikkumavaraa on enemmän.

Simuloinnin vieminen AR- ja VR-laseille on hyvä juttu, koska tällä menetelmällä voidaan havainnollistaa, miten ja miltä tuotantosolu todellisuudessaan näyttää. Esimerkiksi jos joku miettii tällaisen tuotantosolun hankkimista, AR-lasien avulla voi käytännössä näyttää, miten paljon tilaa tällainen kompleksi tarvitsee, sekä tutkia automaatioprosessia. VR-laseilla voidaan kohdetta tarkastella oikeassa mittakaavassa ja etsiä mahdollisia ongelmakohtia. Asiakkaille pystytään siis esittelemään valmiiksi luotu malli ja he voivat halutessaan muuttaa sitä.

Opinnäytetyö oli mielestäni todella mielenkiintoinen ja juuri oikean laajuinen. Aikataulussa en onnistunut pysymään, vaikka tuloksilla ei mitään kiirettä ollutkaan. Eniten ongelmia tuotti Visual Components -ohjelmalla tehty simulointi, koska ohjelma oli vaikea käyttää ja muutoksia työhön tuli kohtalaisesti.

LÄHTEET

Aaltonen, K & Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio. Porvoo: WSOY.

ABB, 2018. WWW-sivu. Saatavissa: <http://new.abb.com/products/robotics/fi/teollisuusrobotit/irb-360> Viitattu 10.4.2018

Ahonen, N. 2018. Virtuaalitodellisuus terveydenhuollossa ja sen käyttökohteet. Liiketalouden opinnäytetyö. Lahti: Lahden Ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/143036/Ahonen_Noora%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y Viitattu: 19.4.2018.

All on Robots, 2018. WWW- sivu. Saatavissa: <http://www.allonrobots.com/spherical-robots.html> Viitattu 28.3.2018.

Arvanaghi, B & Skytt, L. 2016. Virtuaalitodellisuus- tulevaisuus on täällä tänään. Tieteen kuvalehti. WWW-sivu. Saatavissa: <http://tieku.fi/teknologia/vempaimet/virtuaalitodellisuus> Viitattu: 18.4.2018.

Blastman Robotics Ltd, 2018. WWW-sivu. Saatavissa: <http://www.blastman.com/company/history/> Viitattu: 19.12.2018.

Cimcorp Oy, 2018. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.cimcorp.com/fi/cimcorp/historia> Viitattu: 19.12.2018.

Gonzalez, C. 2016. What's difference between industrial robots? Machine Design. WWW-sivu. Saatavissa: <http://www.machinedesign.com/robotics/what-s-difference-between-industrial-robots> Viitattu 28.3.2018.

Koskikallio, K. 2017. Lisätyn todellisuuden mahdollisuudet pelillisessä oppimisessa. tietokäsittelyn opinnäytetyö. Helsinki: Haaga-Helia. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/135473/Lisatyn_todellisuuden_mahdollisuudet_pelillisessa_oppimisessa.pdf?sequence=1&isAllowed=y Viitattu 16.4.2018.

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Vantaa: Talentum Oyj.

Kääpä, J. 2018. AR ja VR teollisuudessa. Versoteq. WWW-sivu. Saatavissa: <https://versoteq.com/content/ar-ja-vr-teollisuudessa> Viitattu: 17.4.2018.

Lahden Ammattikorkeakoulu, 2011. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Robotiikka_yleinen.pdf Viitattu 23.3.2018.

Liikenne- ja viestintäministeriö, 2016. Robotiikan taustaselvityksiä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lvm.fi/documents/20181/877203/Robotiikan+taustaselvityksi%C3%A4/> Viitattu 10.4.2018.

Luukko, M. 2015. Lisätyn todellisuuden lyhyt oppimäärä. Medianomi opinnäytetyö. Helsinki: Metropolia. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91261/luukko_matti.pdf?sequence=1&isAllowed=y Viitattu 17.4.2018.

Luukkonen, M. 2018. WWW-sivu. Lisätyn todellisuuden hyödyt yrityksille. Saatavissa: <https://www.itewiki.fi/blog/2017/04/lisatyn-todellisuuden-hyodyt-yrityksille/> Viitattu 18.4.2018.

Malm, T. 2008. Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry.

Medicalfuturist, 2018. WWW-sivu. Saatavissa: <http://medicalfuturist.com/top-9-augmented-reality-companies-healthcare/> Viitattu 17.4.2018.

Mikkonen, A & Pakkanen, P. Lisätty todellisuus ja sen hyödyntäminen poliisitoiminnassa. Poliisiammattikorkeakoulun opinnäytetyö. Tampere. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/123358/ON_Mikkonen_Pakkanen.pdf?sequence=1&isAllowed=y Viitattu 16.4.2018.

Motoman, 2018. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.motoman.com/fi/collaborative/resources> Viitattu: 6.9.2018.

Muropaketti, 2017. WWW-sivu. Saatavissa: <https://muropaketti.com/mobiili/magic-leap-esitteli-viimein-vallankumoukselliset-lasinsa/> Viitattu 17.4.2018.

Ollila, M. 2017. Lisätyn todellisuuden yleistymisen kuluttajan arjessa. kandidaatintutkielma. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto. Saatavissa: <https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/54121/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-201705262504.pdf?sequence=1> Viitattu 18.4.2018.

Pitkänen, M. 2018. Magic Leap paljasti- AR-lasit saa itselleen jopa älypuhelimien hinnalla. Afterdawn. WWW-sivu. Saatavissa: <https://fin.afterdawn.com/uutiset/artikkeli.cfm/2018/02/14/magic-leap-one-hinta> Viitattu 17.4.2018.

Playstation, 2018. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.playstation.com/fi-fi/explore/playstation-vr/> Viitattu: 19.4.2018.

Posicraft, 2018. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.posicraft.fi/> Viitattu: 19.12.2018.

Promaint, 2015. WWW-sivu. Saatavissa: <https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Fastems-rokkaa-kannattavasti%20> Viitattu: 19.12.2018.

Pänkäläinen, T. 2016. Lisätty todellisuus- parhaat AR-lasit esittelyssä. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.virtuaalimaailma.fi/ar-lasit/> Viitattu 17.4.2018.

Pänkäläinen, T. 2017. Virtuaalilasit- esittelyssä 6 parasta mallia. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.virtuaalimaailma.fi/virtuaalilasit/> Viitattu: 18.4.2018.

Robottiikan taustaselvityksiä, 2016. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.lvm.fi/documents/20181/877203/Robottiikan+taustaselvityksi%C3%A4/> Viitattu: 20.2.2019.

Sandin, P.E. 2003. Robot Mechanisms and Mechanical Devices Illustrated. WWW-kirja. Saatavissa: [http://www.robot.bmstu.ru/files/books/Robotics%20-%20E-Book%20-%20McGraw-Hill%20-%20Robot%20Mechanisms%20and%20Mechanical%20Devices%20Illustrated%20-%202003%20-%20\(By%20Laxxuss\)%20\(Science,%20AI,%20Engineering,%20Electronics\).pdf](http://www.robot.bmstu.ru/files/books/Robotics%20-%20E-Book%20-%20McGraw-Hill%20-%20Robot%20Mechanisms%20and%20Mechanical%20Devices%20Illustrated%20-%202003%20-%20(By%20Laxxuss)%20(Science,%20AI,%20Engineering,%20Electronics).pdf) Viitattu 28.3.2018.

Servicepoint, 2017. WWW- sivu. Saatavissa: <http://servicepoint.fi/uutinen/yhteistyorobotti-mukautuva-kumppani-piensarjatuotannon-ja-laboratorioiden-tarpeisiin/> Viitattu: 4.9.2018.

Sovelto, 2018. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.sovelto.fi/ratkaisut/ict-ja-uudet-teknologiat/laajennettu-virtuaalinen-todellisuus/> Viitattu: 18.4.2018.

Takaneva, T. 2010. Levytyöstökoneen robotisoitu palvelu. Kone- ja tuotantotekniikan opinäytetyö. Tampere: AMK. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16191/Takaneva_Tero.pdf?sequence=1&isAllowed=y Viitattu: 27.3.2018.

Tieteen Kuvalehti, 2016. WWW-sivu. Saatavissa: <https://tieku.fi/teknologia/vempaimet/virtuaalitodellisuus> Viitattu: 20.2.2019.

Universal Robot, 2018. WWW- sivu. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/products/ur3-robot/> Viitattu 27.3.2018.

Viksilä, M. 2018. Yhdistetty todellisuus rakennesuunnittelussa. Rakennetekniikan insinööritö. Helsinki: Metropolia. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/142704/Mila_Viksila.pdf?sequence=1&isAllowed=y Viitattu: 16.4.2018.

Virtuaalimaailma, 2016. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.virtuaalimaailma.fi/virtuaalitodellisuus-rakentaminen-arkkitehtuuri-suunnittelu/> Viitattu: 20.2.2019.