



jamk

Yhteistoimintarobotti hiontasovelluksessa

Mikko Strömberg

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2025

Insinööri (AMK), Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Strömberg, Mikko

Yhteistoimintarobotti hiontasovelluksessa.

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2025, 37 sivua.

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli yhteistoimintarobottihiontasovelluksen kehittäminen. Toimeksiantajayrityksenä toimii Karstulalainen OnSteel Oy. Toimeksiantajalla oli tarve automatisoida nykyistä virtauskappaleiden tuotannon käsityöhiontavaihetta yhteistoimintarobotin avulla. Tavoitteena oli selvittää, millaisia hiontalaitteita robottiin voidaan liittää, kuinka voima-anturi käyttäytyy sovelluksessa sekä miten 3D-mallinnusta voidaan käyttää ohjelmoinnin tukena.

Opinnäytetyö toteutettiin tutkimuksellisena kehittämistyönä. Tutkimuksellisessa kehittämistyössä haetaan ratkaisua käytännön ongelmiin erilaisten lähdeaineistojen sekä käytännön testausten avulla. Työn testausosiot toteutettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun robotiikan laboratoriossa käyttäen UR5e-yhteistyörobottia, OnRobot HEX -voima-anturia ja Visual Components -ohjelmistoa. Toteutuksessa testattiin voima-anturin toimivuutta sekä offline-ohjelmointia käytännössä.

Tuloksena havaittiin, että HEX-voima-anturi soveltuu hiontasovellukseen, ja että 3D-mallinnusta voidaan käyttää tehokkaasti ohjelmoinnin pohjana. Hiontalaitteista saatiin esiin sovellukseen soveltuvia vaihtoehtoja, vaikka niitä ei testattu käytännössä. Visual Components:n käyttö mahdollisti offline-ohjelmoinnin laati-
misen ja siirtämisen robotille, mutta voima-anturin yhdistäminen ohjelmaan ei onnistunut testivaiheessa.

Johtopäätöksenä todettiin, että yhteistoimintarobotin hyödyntäminen hiontasovelluksessa on mahdollista, mutta edellyttää vielä jatkokehitystä, erityisesti työkalujen testauksen, ohjelmoinnin viimeistelyn ja tuotantoympäristöön liittämisen osalta.

Avainsanat (asiasanat)

yhteistoimintarobotti, robottihionta, UR5e, Visual Components

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Strömberg Mikko

Collaborative robot in a sanding application

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2025, 37 pages

Degree Programme in Electric and Automation Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The purpose of the work was to develop a collaborative robot sanding application. The commissioning company was OnSteel Oy, located in Karstula, Finland. A need was identified to automate the manual sanding phase in the production of flow body using a collaborative robot. The objectives included determining which sanding devices could be integrated with the robot, examining the behavior of a force sensor within the application, and exploring the use of 3D modeling to support programming.

The work was carried out as a research-based development project. Solutions to practical problems were sought through literature review and empirical testing. The testing was conducted in the robotics laboratory of JAMK University of Applied Sciences, using a UR5e collaborative robot, an OnRobot HEX force sensor, and Visual Components software. The functionality of the force sensor and the practical implementation of offline programming were tested.

It was found that the HEX force sensor was suitable for sanding applications, and that 3D modeling could be effectively used as a basis for programming. Several suitable grinding device options were identified, although they were not physically tested. The use of Visual Components enabled the creation and transfer of offline programs to the robot; however, integration of the force sensor into the software was not achieved during testing.

It was concluded that the use of a collaborative robot in sanding applications is possible, but further development is required, particularly in the areas of tool testing, finalizing the programming, and integrating the system into a production environment.

Keywords/tags (subjects)

collaborative robot, robot sanding, UR5e, Visual Components

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Työn tausta.....	6
1.2	OnSteel.....	6
2	Tutkimusasetelma	7
2.1	Tutkimuksellinen kehittämistyö.....	7
2.2	Tutkimuskysymykset	7
2.3	Eettiset periaatteet	7
3	Robottiikka	8
3.1	Robotti.....	8
3.1.1	Robotin rakenne	8
3.1.2	Robotin koordinaatisto	10
3.2	Robottien luokittelu	10
3.3	Teollisuusrobotit	10
3.3.1	Suorakulmainen robotti.....	11
3.3.2	Sylinterirobotti.....	12
3.3.3	Napakoordinaatistorobotti.....	12
3.3.4	Kiertyvänivelinen robotti	13
3.3.5	SCARA-robotti	14
3.3.6	Rinnakkaisrakenteinen robotti	15
3.3.7	Heilurirobotti	16
3.4	Palvelurobotit.....	17
3.5	Yhteistoimintarobotti.....	17
3.5.1	Universal Robots.....	17
3.5.2	UR5e.....	18
3.6	Robotin ohjelmointi	19
3.6.1	Ohjelmointitavat.....	19
3.6.2	Visualcomponents	20
3.7	Robottihionta	20
3.8	Voimaohjaus.....	21
4	Lähtötilanne	21
5	Toteutus	23
5.1	Vaihtoehtoisia robotin hiontalaitteita	23
5.1.1	Kulmahiomakone.....	23
5.1.2	Suorahiomakone.....	24

5.1.3	Nauhahiomakone	26
5.2	OnRobot Hex voima-anturin testaus	27
5.2.1	Vaihtoehtoiset voiman ohjauslaitteet	29
5.3	3D-mallinnuksen hyödyntäminen ohjelmoinnissa	30
5.3.1	OnRobot HEX voima-anturin yhdistäminen Visual Components -ohjelmaan	33
6	Pohdinta.....	33
	Lähteet	35

Kuviot

Kuvio 1.	Suorakulmainen robotti (Vaughn 2013)	11
Kuvio 2.	Sylinterirobotti (Cylindrical robot type N.d)	12
Kuvio 3.	Napakoordinaatistorobotti Unimate (The Unimate robot that revolutionized the technological world 2022)	13
Kuvio 4.	ABB IRB 5720 kiertyvänivelinen teollisuusrobotti (IRB 5720 N.d)	13
Kuvio 5.	Fanuc SR-3iA SCARA-robotti (SR-3iA SCARA Robot N.d).....	14
Kuvio 6.	Rinnakkaisrakenteinen robotti (Kruger 2013)	15
Kuvio 7.	ASEA IRB 1000 heilurirobotti (#tbt #ABBRobotics The #IRB1000 was believed to be the world's fastest assembly robot with a "pendulum" configuration 2014).	16
Kuvio 8.	UR5e yhteistyörobotti (UR5e N.d).	18
Kuvio 9.	Virtauskappale.....	22
Kuvio 10.	Osan pinta koneistuksen jäljiltä	22
Kuvio 11.	Gison kulmahiomakone (7" Pneumatic Angle Grinder for Robot Arms N.d)	24
Kuvio 12.	ToolDrives Compact Line Module (Compact Line Module N.d)	25
Kuvio 13.	Schunk MFT (MFT N.d).....	25
Kuvio 14.	Gison GP-BS10 nauhahiomakone (Air Belt Sander for Robotic Arm N.d).....	26
Kuvio 15.	OnRobot HEX-E/H QC voima-anturi (HEX force/torque sensor – giving the sense of touch to your robot. N.d)	27
Kuvio 16.	Milwaukee-hiomakone kiinnitettynä UR5e yhteistoimintarobottiin	28
Kuvio 17.	Voima-anturin asetukset.....	29
Kuvio 18.	Active Contact Flange Kit (ACF-K N.d).....	30
Kuvio 19.	UR5e -robotti ja oheislaitteet Visual Components -ohjelmointiympäristössä	31
Kuvio 20.	Visual Components -ohjelmiston hiontarataehdotus.....	32
Kuvio 21.	Testihiontarata	33

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Teollisuuden robotiikka on kehittynyt nopeasti, ja erityisesti yhteistoimintarobotit eli cobotit ovat tuoneet uusia mahdollisuuksia automatisoida aiemmin käsityötä vaativia tehtäviä (Lempiäinen 2024). Hiontaprosessi on tyypillisesti ollut manuaalinen työvaihe, jossa robotiikan hyödyntäminen on ollut haastavaa työtehtävän muotojen ja pinnanlaatuvaatimusten vuoksi. Kehittyneet voima-anturointitekniikat ja ohjelmointimenetelmät ovat kuitenkin avanneet uusia mahdollisuuksia tehtävien automatisointiin. (The Benefits of Robotic Grinding and Finishing 2025)

OnSteel Oy:n toimeksiantaman työn tarkoituksena oli selvittää mahdollisuuksia toteuttaa nykyisin käsin suoritettava hiontatyö automatisoituna yhteistoimintarobotin avulla. Lisäksi työssä pyrittiin luomaan käytännön testausympäristö, jossa tarkastellaan robottihionnan toteutettavuutta käytännössä.

Työ rajattiin toteutettavaksi Jyväskylän ammattikorkeakoulun (JAMK) robotiikan laboratorion olemassa olevilla laitteistoilla ja ohjelmistoilla. Testauksessa käytettiin UR5e-yhteistoimintarobottia, OnRobot HEX -voima-anturia, hiontalaitetta sekä Visual Component ohjelmistoa. Työssä ei käsitelty tuotannon integrointia tai taloudellista kannattavuutta.

1.2 OnSteel

OnSteel Oy on vuonna 2015 perustettu alihankintakonepaja Karstulassa, joka työllistää 58 alan ammattilaista. Yritys palvelee pääasiassa massa- ja paperikoneiden, energia- ja ympäristötekniikan sekä offshore-alan asiakkaita. OnSteel on erikoistunut kevyiden ja keskiraskaiden kappaleiden koneistukseen, pintakäsittelyyn, kokoonpanoon ja testaukseen sekä valmistaa innovatiivisia erikoiskoneita. (Yritys N.d.)

2 Tutkimusasetelma

2.1 Tutkimuksellinen kehittämistyö

Tutkimuksellinen kehittämistyö on lähestymistapa, jossa yhdistyvät käytännön kehittäminen ja tutkimuksellinen ote. Se tarkoittaa sitä, että työssä pyritään kehittämään käytännön ratkaisua johonkin ongelmaan ja samalla tuottamaan uutta tietoa aiheesta. Työ yhdistää käytännön tekemisen ja teoreettisen tarkastelun. Tavoitteena ei ole pelkästään kokeilla jotain uutta, vaan myös perustella ratkaisut luotettavan tiedon avulla. (Opinnäytetyön toteutustavat 2025)

Tutkimuksellisessa kehittämistyössä käytetään usein testauksia, mittauksia tai havainnointia, ja tuloksia tarkastellaan sen mukaan, miten ne toimivat käytännössä. Työ perustuu myös aikaisempaan tietoon ja lähdekirjallisuuteen. Tämä lähestymistapa sopii hyvin ammattikorkeakoulun opinnäytetyöhön, koska siinä yhdistyvät koulussa opittu teoria ja työelämän käytännön tarpeet. (Opinnäytetyön toteutustavat 2025)

2.2 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksellisessa kehittämistyössä keskityttiin seuraaviin kysymyksiin:

1. Millaisia hiomalaitteita yhteistyörobotissa voidaan käyttää hiontasovelluksessa?
2. Sopiiko OnRobot HEX-E QC -voima-anturi käytettäväksi virtauskappaleen muotojen hionnassa?
3. Miten 3D-mallinnusta voidaan hyödyntää robotin ohjelmoinnissa?

Nämä kysymykset ohjasivat työssä tehtyjä valintoja ja kokeellista testausta, sekä niiden perusteella arvioitiin ratkaisujen toimivuutta käytännössä.

2.3 Eettiset periaatteet

Opinnäytetyön toteutuksessa noudatettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun eettisiä periaatteita (Säännöt ja periaatteet N.d). Työ ei sisältänyt henkilötietojen käsittelyä eikä ihmisten osallistamista tutkimuskohteina. Robottien ja hiontalaitteiden testaus toteutettiin turvallisissa olosuhteissa JAMK:n robotiikan laboratoriossa, noudattaen turvallisuus- ja käyttöohjeita.

Raportissa käytetty aineisto ja kuvat on merkitty lähteineen tai tuotettu itse ja lähdeviitteet on esitetty asianmukaisesti raportointiohjeen mukaisesti (Opinnäytetyön raportointi 2024). Työssä ei käytetty salassa pidettäviä tietoja, ja julkaisu on toteutettu avoimesti. Julkaisuluvan mukaisesti raportti on avoimesti saatavilla, eikä siihen sisälly salassa pidettäviä liitteitä tai tietoja. Työssä on käytetty tekoälyä apuna lähdeaineistojen sekä tiivistelmän kielen kääntämisessä.

3 Robotiikka

ISO 8373-standardin mukaan robotiikka on tiedettä tai toimintaa, jota hyödyntämällä voidaan suunnitella, valmistaa ja käyttää robotteja (ISO 8373:2021, 2). Hännisen (2021, 34) mukaan robotiikka hyödyntää poikkitieteellistä tutkimusta niin matematiikan, tietotekniikan, fysiikan, biologian, psykologian ja kognitiotieteen aloilta.

Robotiikkaa voidaan hyödyntää ympäristössämme lähes missä tahansa tehtävässä. Robotiikkaa voidaan esimerkiksi käyttää teollisuudessa, ihmiselle haitallisissa ympäristöissä, kuten vedenalaisissa tehtävissä ja avaruustutkimuksessa, avustaa liikuntarajoitteisia tai luoda viihdettä. (Niku 2001, 4.)

3.1 Robotti

Robotti voidaan määritellä monella eri tapaan varsinkin eri maiden välillä. ISO 8373-standardin mukaan robotti on ohjelmoitu toimilaite, jolla on kyky suorittaa liikkumisen, käsittelyn tai paikan-tamisen suorittamiseksi annettuja tehtäviä ilman ihmisen apua (ISO 8373:2021, 1). Sana robotti tulee Tšekin kielestä sanasta robota, jolla tarkoitetaan pakkotyötä tekevää. Nimi tuli esille Karel Čapekin näytelmän Rossum's universal robots myötä vuodelta 1920. (Hänninen 2021, 24.) Vuonna 1954 rakennettiin ensimmäinen ohjelmoitava ja toimiva Unimate-niminen teollisuusrobotti, joka asennettiin General Motorsin tehtaalle Yhdysvalloissa vuonna 1960. Suomessa robotisointi alkoi käynnistymään teollisuudessa vuonna 1970 (Robotiikka 2016, 3).

3.1.1 Robotin rakenne

Robotti kokonaisuutena koostuu yleisesti seuraavista eri osista: manipulaattorista, aktuaattoreista, efektoreista, antureista, kontrollerista, prosessorista ja ohjelmista Manipulaattori tai kulkija, eli

robotin runko koostuu tukirakenteista, liitoksista ja muista robotin rakenteellisista osista. Aktuaattorit ovat robotin toimilaitteita eli ne tuottavat robotin liikkeen. (Niku 2001, 6–8.) ISO 8373-standardissa manipulaattori on määritelty tarkoittavan mekanismia, joka koostuu segmenttien järjestelmästä, jotka ovat nivelöityjä tai liukuvat suhteessa toisiinsa (ISO 8373:2021, 4).

Aktuaattoreina voi olla esimerkiksi servomoottorit, askelmoottorit, pneumaattiset- tai hydrauliset sylinterit. Efektorilla eli robotin työkalulla robotti vaikuttaa ympäristöönsä. Työkalu voi olla esimerkiksi tarttuja, hitsauspilli tai maalausruisku. Anturit ovat robotin tunnuselimiä. Ne keräävät tietoa robotin asennoista tai viestii ympäristöstä. Robotti tunnistaa sen sisäisillä antureilla konfiguraation sen jokaisen nivelen tai muun liikkuvan osan asennon perusteella. Useimmissa roboteissa käytetään ulkoisia antureita kuten konenäköä, voima-antureita tai GPS-paikanninta, jotka mahdollistavat robotin kommunikoinnin ympäristön kanssa. (Niku 2001, 7.)

Kontrolleri eli robotin ohjain saa tietoa tietokoneelta ja ohjaa aktuaattoreiden liikkeitä ja koordinoi robotin konfiguraatiota antureiden havainnoilla. Kehittyneissä roboteissa kontrolleri ohjaa myös robotin nopeutta ja voimaa. (Mts. 7–8.)

Proessori on robotin aivot eli tietokone, joka laskee robotin nivelten liikkeitä ja määrittää, kuinka paljon ja kuinka nopeasti kunkin nivelen pitää liikkua halutun nopeuden ja paikoituksen saavuttamiseksi. Proessori valvoo kontrollerin ja antureiden koordinoitua toimintaa. Proessori, kuten muutkin tietokoneet tarvitsevat toimiakseen käyttöjärjestelmän, ohjelmia, oheislaitteita ja monitorin, mutta se on omistettu yhteen tarkoitukseen, robotin ohjaamiseen. Useimmissa laitteissa kontrolleri ja prosessori on sijoitettu samaan yksikköön, mutta niiden toiminnot ovat erilaiset. (Mts. 8.)

Yleensä robotin ohjelmistot voidaan jakaa kolmeen ryhmään: Käyttöjärjestelmä hallitsee prosessoria. Robottiohjelmisto laskee nivelten liikkeitä robotin kinemaattisten yhtälöiden perusteella ja lähettää tiedot kontrollerille. Kolmas on kokoelma rutiineja ja sovelluksia, joilla ohjataan robottia ja efektoreita suorittamaan annettuja tehtäviä. (Mts. 8.)

3.1.2 Robotin koordinaatisto

Koordinaatisto määrittelee robotin liikkeen ja sen ympäristön paikat. Robotin ympäristön kuvaamisessa käytetään koordinaatiston 3D-vakioita: X, Y ja Z. Nämä arvot ilmaisevat pisteet suhteessa koordinaatiston alkuperään, joka tunnetaan myös maailmakoordinaattina. Robotiikassa käytetään kolmea pääasiallista koordinaattijärjestelmää: maailma-, perus- ja työkalujärjestelmät. Maailma-koordinaattijärjestelmä on kiinteä koordinaattijärjestelmä, joka edustaa robotin peruskohtaa ja määrittelee maailman, johon robotti on sijoitettu. Se on kiinteä ja yleensä robotin jalan perustassa. Peruskoordinaattijärjestelmä määrittellään suhteessa maailmakoordinaattijärjestelmään ja sitä käytetään työkappaleiden tai muiden oleellisten alueiden, kuten kuljettimien, paikallistamiseen. Työkalukoordinaattijärjestelmä määrittellään TCP:n (tool center point) eli työkalun keskikohdan mukaan. Se määrittelee robotin liikkeen työkalun avulla ja voi sisältää useita työkaluja riippuen sovelluksesta. (Niall N.d.)

3.2 Robottien luokittelu

Hännisen (2021, 35) mukaan robotit voidaan jakaa karkeasti kahteen luokkaan: teollisuusrobotit ja palvelurobotit. Näiden lisäksi on myös ohjelmistorobotit. Ohjelmistorobotti on tietokoneohjelma, joka automatisoi toistuvia ja sääntöihin perustuvia ohjelmallisia tehtäviä ihmisen puolesta. (ISO 8373:2021, 1) standardin mukaan ohjelmistorobotiikkaa ei kuitenkaan luokitella perinteiseksi robotiikaksi. Robottien luokittelu tapahtuu robotin käyttötarkoituksen mukaan. Teollisuusrobotteja käytetään tehtaissa ja teollisuudessa ja muut robotit ovat palvelurobotteja. Luokittelun välinen raja on tosin häilyvää. Esimerkiksi teollisuudessa käytetty kiertyvänivelinen robotti on teollisuusrobotti, mutta jossain muussa teollisuuden ulkopuolisessa tehtävässä se on palvelurobotti. (Hänninen 2021, 35–41.)

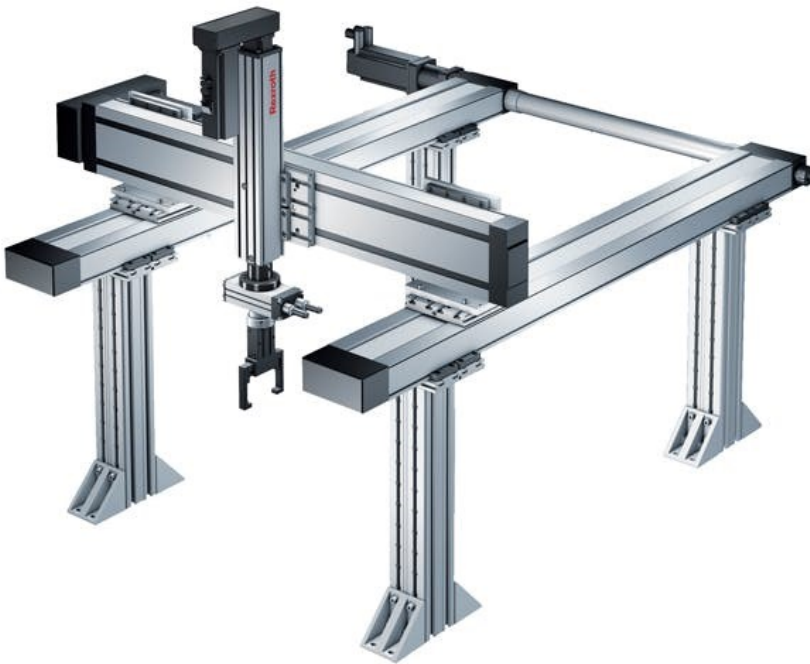
3.3 Teollisuusrobotit

ISO 8373-standardin mukaan määriteltynä teollisuusrobotti on automaattisesti ohjattu, uudelleenohjelmoitava monikäyttöinen manipulaattori, joka voidaan ohjelmoida liikkumaan kolmella tai useammalla akselilla ja joka voi olla joko kiinteästi paikallaan tai kiinnitetty liikkuvaan alustaan käytettäväksi automaatio-sovelluksissa teollisuusympäristössä. (ISO 8373:2021, 1.)

Teollisuusrobottien yleisimpiä käyttökohteita tehtaissa ja tuotantolaitoksissa on hitsaus, maalaus tai asentaminen. Teollisuusrobottien tehtävät ovat yleensä sellaisia, jotka ovat ihmiselle tylsiä, vaarallisia, raskaita tai muuten epämiellyttäviä. Teollisuusrobotiikalla saadaan myös tuotantoa tehokkaammaksi. Robotit eivät tarvitse taukoja, ne eivät väsy eivätkä tee inhimillisiä virheitä, jolloin tuotteiden laatu pysyy tasaisempuna. (Hänninen 2021, 99.) ISO 8373-standardissa teollisuusrobotit on jaoteltu seitsemään ryhmään niiden manipulaattoreiden rakenteiden perusteella (ISO 8373:2021, 5).

3.3.1 Suorakulmainen robotti

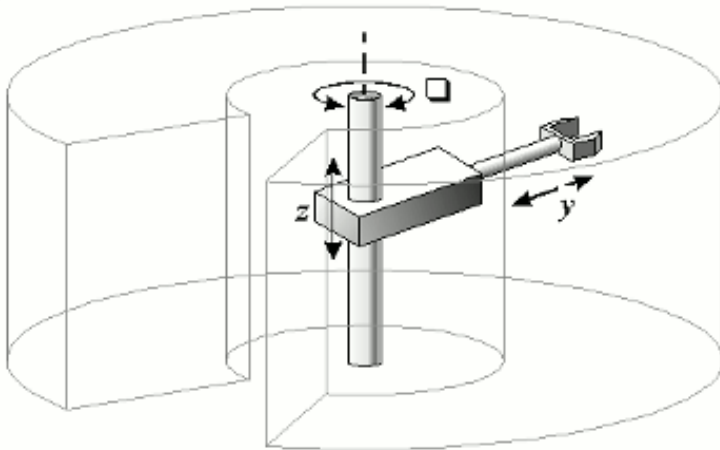
Suorakulmainen robotti (kuvio 1) muodostuu kolmesta lineaarisesti liikkuvasta liitoksesta, jotka mahdollistavat efektorin liikkeen X-, Y- ja Z-Akseleilla (Niku 2001, 11). Tätä kutsutaan myös portaalirobotiksi. Sen rakenne on suorakulmainen. Se on tuettu nurkista palkeilla, joiden välissä on poikittainen palkki. Robotin rakenne on suosittu logistiikan automaatiosovelluksissa. (Hänninen 2021, 115.)



Kuvio 1. Suorakulmainen robotti (Vaughn 2013)

3.3.2 Sylinterirobotti

Sylinterirobotissa on kaksi liikkuvaa niveltä, jotka on kiinnitetty yhteen keskiakselin ympäri pyörivään niveleeseen (kuvio 2). Sylinterirobotit ovat yleisiä pakkaus ja lajittelusovelluksissa, sekä myös pistehitsauksessa. (Hänninen 2021, 117.)



Kuvio 2. Sylinterirobotti (Cylindrical robot type N.d)

3.3.3 Napakoordinaatistorobotti

Napakoordinaatistorobotin (kuvio 3) työalue on pyöreä. Sen rakenteessa on yksi liukuva ja kaksi pyörivää liitosta. (Niku 2001, 11.) Robottia käytetään yleisesti hitsaussovelluksissa (Hänninen 2021, 119).



Kuvio 3. Napakoordinaatistorobotti Unimate (The Unimate robot that revolutionized the technological world 2022)

3.3.4 Kiertyvänivelinen robotti

Kiertyvänivelinen robotti on yleisimmin käytetty teollisuusrobotti ja sen rakenne muistuttaa ihmisen kättä (kuvio 4). Yleisimmin kiertyvänivelisessä robotissa on kuusi vapausastetta ja nivelet ovat kiertyviä. Monipuolisuuden ansiosta rakennetta käytetään laajasti eri sovelluksiin. (Hänninen 2021, 119.)



Kuvio 4. ABB IRB 5720 kiertyvänivelinen teollisuusrobotti (IRB 5720 N.d)

3.3.5 SCARA-robotti

Selective compliant assembly robot arm eli SCARA-robotit koostuvat kahdesta rinnakkaisesta pyörivästä liitoksesta, jotka mahdollistavat robotin liikkumisen vaakatasossa ja yhdestä pystysuuntaisesta liukuvasta liitoksesta (kuvio 5). Niiden erityispiirre on, että ne ovat joustavampia x-y-akselilla, mutta hyvin jäykkiä z-akselilla. (Niku 2001, 11.) SCARA-robotteja käytetään tyypillisesti pienten kappaleiden kokoonpanotehtävissä, kuten esimerkiksi elektronisten laitteiden kokoonpanolinjoilla. (Hänninen 2021, 121–122.)



Kuvio 5. Fanuc SR-3iA SCARA-robotti (SR-3iA SCARA Robot N.d)

3.3.6 Rinnakkaisrakenteinen robotti

Rinnakkaisrobotit eli Delta-robotit koostuvat mekaaniselta rakenteeltaan kolmesta liikeakselista, jotka on yhdistetty nivelakselilla alustaan (kuvio 6). Näille roboteille ominaista on nopea liike, mutta niiden ulottuvuus on usein melko rajoittunut. Tyypillisesti rinnakkaisrobotteja käytetään teollisuudessa erityisesti poiminta-, pakkaus- ja työstösovelluksissa. (Hänninen 2021, 125.)



Kuvio 6. Rinnakkaisrakenteinen robotti (Kruger 2013)

3.3.7 Heilurirobotti

Vuonna 1984 ASEA esitteli IRB 1000 -robotin, joka oli aikansa nopein kokoonpanorobotti (kuvio 7). Sen ainutlaatuinen heilurirakenne vähensi hitausmomenteja ja mahdollisti korkean kiihtyvyyden laajalla työalueella, tarjoten merkittävän edistysaskeleen SCARA-robotteihin verrattuna. (Bredin & Marshall 2008, 58–59.)



Kuvio 7. ASEA IRB 1000 heilurirobotti (ABB Robotics The IRB1000 was believed to be the world's fastest assembly robot with a "pendulum" configuration 2014).

Nopeat poimintaoperaatiot esimerkiksi elektroniikka- ja elintarviketeollisuudessa vaativat vielä nopeampia ratkaisuja. Vuonna 1998 ABB vastasi tähän tarpeeseen julkaisemalla IRB 340 FlexPicker -robotin, joka perustui Delta-robottiin. (Bredin & Marshall 2008, 58–59.)

3.4 Palvelurobotit

ISO 8373-standardissa palvelurobotti määritellään olevan robotti henkilökohtaiseen tai ammatilliseen käyttöön, joka suorittaa hyödyllisiä tehtäviä ihmisille tai laitteille (ISO 8373:2021, 1). Palvelurobotti on robotti, joka on suunniteltu auttamaan ihmisiä erilaisissa palvelutehtävissä joko kotona, julkisissa tiloissa tai teollisuuden ulkopuolisissa ympäristöissä. Se ei siis ole teollisuusrobotti, vaan se toimii ihmisten kanssa tai ihmisiä varten esimerkiksi siivouksessa, kuljetuksessa, asiakaspalvelussa tai terveydenhuollossa. Palvelurobotit voivat olla joko ammattilaiskäyttöön tarkoitettuja, kuten logistiikkarobotit tai Kotikäyttöön tarkoitettuja, kuten robotti-imurit. (Hänninen 2021, 37–40.)

3.5 Yhteistoimintarobotti

Yhteistoimintarobotti eli cobot on suunniteltu työskentelemään yhteistyössä sekä jakamaan työtilaa ihmisen kanssa. Ne ovat perinteisiin teollisuusrobotteihin verrattuna pienempikokoisia ja kevyempirakenteisia. Niiden rakenteet ovat pyöristettyjä, liikkeet ovat hitaampia sekä niihin on lisätty erilaisia antureita lisäämään turvallisuutta. Yhteistoimintarobotteja käytetään laajalti teollisuudessa, eli teollisuusrobotteina, mutta niitä voidaan hyödyntää myös palvelurobotteina. (Hänninen 2021, 126–127.)

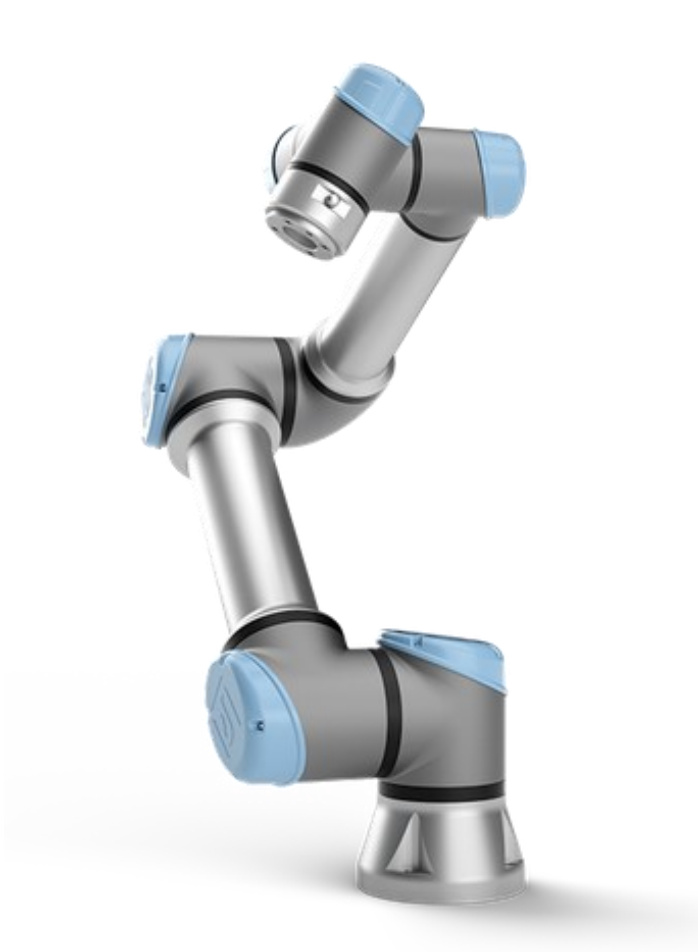
Eryteisesti pienille yrityksille rajallisilla resursseilla yhteistyörobotit tuovat mahdollisuuksia, sillä ne ovat helposti muokattavissa eri tehtäviin ja helposti ohjelmoitavia sekä asennettavissa ilman suuria investointeja. Ne voivat suorittaa monia samoja tehtäviä kuin perinteiset teollisuusrobotit, mutta pienemmällä laitteistolla ja ilman turva-aitoja. (Robotiikka 2016, 17–18.)

3.5.1 Universal Robots

Universal Robots on perustettu vuonna 2005 Tanskassa. Heidän tavoitteenaan oli kehittää kevyitä ja helposti ohjelmoitavia yhteistoimintarobotteja, jotka sopivat myös pienille ja keskisuurille yrityksille. Ensimmäinen kaupallisesti menestynyt yhteistoimintarobotti UR5 julkaistiin vuonna 2008. Kevyt ja monikäyttöinen robottikäsivarsi mullisti teollisuusrobotit. (Historiamme N.d.)

3.5.2 UR5e

Universal Robotsin valmistama UR5e (kuvio 8) kiertyvänivelinen yhteistoimintarobotti on kevyt 20,6 kg painoinen ja monenlaisiin sovelluksiin mukautuva teollisuusrobotti. Robotin toimintasäde on 850 mm ja kantokyky 5 kg. Helpon ohjelmoinnin ansiosta niiden nopea siirtäminen uusiin käyttötarkoituksiin ilman tuotantoasettelun muutoksia tekee roboteista erinomaisia pienille eräajoille ja toistuvasti vaihtuville tehtäville. UR:n helppo ohjelmointi ei vaadi käyttäjältä aiempaa ohjelmointiosaamista. Cobotin ohjelmia voidaan käyttää uudelleen toistuvia tehtäviä varten, mikä parantaa automaation joustavuutta ja tehokkuutta. UR-coboteissa on edistykselliset sisäänrakennetut turvallisuusominaisuudet, kuten voiman tunnistusteknologia ja törmäyksenesto. Nämä innovaatiot mahdollistavat cobottien turvallisen työskentelyn ihmisten rinnalla ilman suojakaiteita tai -häkkejä. (UR5e N.d.)



Kuvio 8. UR5e yhteistyörobotti (UR5e N.d.).

3.6 Robotin ohjelmointi

Robottien ohjelmoinnin tarkoituksena on laatia robotille liikkeiden toimintajärjestys ja logiikka, synkronoitu toiminta muiden laitteiden kanssa, sekä toiminnan määrittely virhetilanteissa. Yleisimmin robottien ohjelmointikielet perustuvat perinteisiin ohjelmointikieliin kuten Basic, C ja Pascal, mutta jokaisella robottimerkillä on oma ohjelmointikieli. Erona tietokoneohjelmointiin robottiohjelmointikielet sisältävät fyysisiin liikkeisiin liittyviä erityiskäskyjä. (Kolehmainen 2024, 244.)

3.6.1 Ohjelmointitavat

Nykyisin robottien ohjelmoinnissa kolme suosituinta tapaa on onlineohjelmointi eli opettamalla ohjelmointi, offline- eli etäohjelmointi ja johdattamalla ohjelmointi. Kutakin näistä menetelmistä voidaan käyttää ohjelman kirjoittamiseen robotin tulkitsemaan muotoon. (Gurgul 2018, 158.)

Onlineohjelmointi tapahtuu ohjaamalla robotin manipulaattoria ja efektoria haluttuun asentoon käsiohjaimen avulla ja tallentamalla asennon paikkatieto ohjelman muistiin. Muu tarvittava ohjelman käskytyks luodaan tietokoneelle kirjoittamalla. (Kolehmainen 2024, 245.) Online ohjelmointi antaa laajimman mahdollisuuden käyttää robotin ominaisuuksia. Kuitenkin haittapuolena todellisissa olosuhteissa on aikaa vievää ja ohjelmoinnin ajaksi mahdollinen tuotanto joudutaan keskeyttämään. (Gurgul 2018, 164.)

Offline-ohjelmointi eli etäohjelmointi on robottien ohjelmoimista tuotannon ulkopuolella. Etäohjelmointia voidaan toteuttaa eri muodoissa. Käytössä on teksti-, malli-, ja muototietoon perustuvia ratkaisuja, joista keveimpänä tapana voidaan hyödyntää tekstieditoreja kuten Word. Tekstipohjaisien ohjelmien testaaminen jää kuitenkin todellisessa ympäristössä koetettavaksi. Malli- ja muototietoon pohjautuvilla etäohjelmointiohjelmistoilla paikoituspaikat ja liikekäskyt sekä robotin ja ohjelmitteiden testaus voidaan suorittaa simuloimalla. (Kolehmainen 2024, 245.)

Johdattamalla ohjelmointia käytettiin aiemman sukupolven roboteissa. Tässä tavassa robotin toimilaitteet vapautetaan, jotta ihminen voi ohjata robotin liikkeit manuaalisesti ja liikeradat tallennetaan instrumenttinauhuriin. Nauhaa kelaamalla eri nopeuksilla voitiin vaikuttaa robotin liikeno-
peuteen. (Kolehmainen 2024, 245.) Johdattamalla ohjelmoinnin haasteena oli se, että ohjemaan ei

jälkikäteen voinut tehdä muutoksia, vaan muutoksen tullessa ohjelmointi täytyi toteuttaa kokonaan alusta (Gurgul 2018, 158). Menetelmä on ollut nykyisin vähemmän käytössä tietokonepohjaisen ohjelmoinnin myötä, mutta sen suosio on kasvanut voimaohjattujen- ja yhteistyörobottien myötä. Käsitteenä johdattamalla ohjelmoiminen on muuttunut enemmän johdattamalla opettamiseksi tietokonepohjaiseen ohjelmaan. Johdattamalla opettamisesta on tullut helpoin ja nopein tapa ohjelmoida robotteja yksinkertaisten prosessien kohdalla. (Kolehmainen 2024, 245–246.)

3.6.2 Visualcomponents

Visual Components Oy on Suomessa vuonna 1999 perustettu 3D-teollisuussimulaatiokehityksen yritys. Yrityksen tavoitteena on tehdä tuotannosta tehokkaampaa ja tuotannon suunnittelusta nopeampaa ja helpompaa. Yrityksen tuotteena on Visual Components simulointi- ja etäohjelmointiohjelmistot. (About us N.d.) Visual Components on yleiskielinen simulointi- ja etäohjelmointiohjelmisto eli Visual Components tukee eri valmistajien robottijärjestelmien ohjelmointia ja simulointia. Yleiskielisessä visuaalisessa ohjelmoinnissa ohjelmoijan ei tarvitse juurikaan miettiä robotin ohjelmointikieltä, koska ohjelmoinnin jälkeen ohjelma kääntää ohjelmoinnin robottimerkkikohtaiselle ohjelmointikielelle. (Kytöharju & Pöysäri 2024.)

Visual Components tarjoaa ohjelmistoissaan eCatalog Komponenttikirjaston, johon sisältyy yli 3500 valmiita komponenttia. 3D-komponentteja voi tehdä ohjelmistolla myös itse tai tuoda ohjelmistoon valmiita CAD-tiedostoja. (Manufacturing simulation N.d.)

3.7 Robottihionta

Robotit soveltuvat hyvin hiontaan, kiillotukseen, koneistusjäysteen ja leikkauspurseen poistoon, terävien reunojen pyöristykseen sekä viisteiden valmistukseen. Materiaalin poistoa voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla. Työstettävä kappale voidaan kiinnittää robotin tarttujaan ja hiontatyökalu on kiinteästi robotin työskentelyetäisyydellä (part-to-tool) tai hiontatyökalu voidaan kiinnittää robotin käsivarteeseen, ja työstettävä kappale on robotin työskentelyetäisyydellä (tool-to-part). Part-to-tool -tapaa hyödynnetään useasti pienten kappaleiden kohdalla ja varsinkin, jos hiontalaitteet ovat suuria tai käytetään useampaa hiontalaitetta. Tool-to-part -tapaa käytetään usein silloin, kun työstettävät kappaleet ovat suuria tai painavia, jolloin robotti ei kykene niitä käsittelemään. Tällä

tavalla myös hiontaravikkeiden vaihto on helpompaa, kun hiontalaite on kiinni robotissa. (Aho-
nen, Christophe, Haapakoski, Holamo, Kapiainen, Karvonen, Latokartano, Lempiäinen, Liljamo,
Paasio, Partanen, Skriko, Siltala & Närhi 2024, 48–50.)

3.8 Voimaohjaus

Robottien tuntoaisti voidaan toteuttaa monella eri tasolla yksinkertaisista rajakytkimistä aina kehittyneeseen voimaohjaukseen saakka. Tunnistusratkaisu valitaan käyttötarkoituksen mukaan. Perustasolla robotti havaitsee kosketuksen, esimerkiksi onko kappale tarttujassa tai onko törmäys tapahtunut. Tätä voidaan täydentää jousikuormitetuilla mekanismeilla ja antureilla. Kehittyneemässä voimaohjauksessa seurataan moottoreiden sähkövirtaa ja verrataan sitä teoreettiseen malliin, jolloin voidaan arvioida ulkoisten voimien vaikutuksia. Menetelmä on kuitenkin herkkä häiriöille ja vaatii tarkkaa mallinnusta. Tarkimman tuntoaistin saa käyttämällä erillisiä voima-antureita, kuten venymäliuskoja, jotka mittaavat voimaa tarkasti. Näitä käytetään erityisesti sovelluksissa, joissa voiman hallinta on kriittistä, kuten hionnassa. Voimaohjaus on nykyään yleinen erityisesti yhteistyöroboteissa. Sen avulla robottia voidaan ohjata käsin tai käsitellä herkkiä kappaleita turvalisesti ja tarkasti. (Aro & Liuha 2024, 182–183.)

4 Lähtötilanne

OnSteel Oy valmistaa kaapeleiden valmistamisessa käytettäviä virtauskappaleita (kuvio 9). Virtauskappaleet on teräksestä valmistettuja kappaleita, jotka hiotaan ja kiillotetaan erityisen kiiltäviksi, jotta pursotettava lämmin massa virtaa virtauskappaleen kanavissa vaivattomasti. Kappaleen kannan ulkohalkaisija on 290 mm ja korkeus 310 mm ja sen reunoilla kiertävät virtauskanavat jyrsitään koneistamalla. Jyrshintä ei tee pinnasta kuitenkaan tasaista, vaan jättää pinnan hieman karkeaksi (kuvio 10). Tämän vuoksi viimeistelytyö tulee tehdä hiomalla ja kiillottamalla. Hionnan jälkeen kappale käy nitrauksessa, jonka jälkeen pinta kiillotetaan vielä kertaalleen. Nitrauksella tarkoitetaan kappaleen pintakäsittelyä tyypin avulla, jolla saadaan pinnasta kestävämpi korroosiota ja kulumista vastaan (Fager 2002, 34).



Kuvio 9. Virtauskappale



Kuvio 10. Osan pinta koneistuksen jäljiltä

Nykyisin hiontatyö kanaviin tehdään käsin, koska sen epäsäännöllinen muotoilu estää hionnan muilla tavoilla. Hiontatyössä käytetään paineilmatoimista kulma- ja suorahiomakonetta. Hionta

aloitetaan karkeasta paperista ja jatketaan portaittain hienompaan paperiin, kunnes loppukiillotus tehdään kiillotuslaikalla ja kiillotustahnalla. Yleensä hiontapaperin kiinnittäminen hiomakoneeseen on toteutettu noin 125 mm halkaisijaltaan olevalla pyöreällä hiontatalalla, jonka reunat ovat elastiset. Tallan elastisuuden ansiosta hionta saadaan myötäilemään kappaleen epäsäännöllisen muotoisia pintoja. Työhön sopivan joustavaa tallaa ei ole suoraan myytävänä, vaan hiontatyöntekijän on muokattava jäykästä tallasta itse työhön sopiva.

5 Toteutus

5.1 Vaihtoehtoisia robotin hiontalaitteita

Hiottavan kappaleen muotoilu vaatii hiontalaitteelta tietynlaisia kriteereitä. Tässä tapauksessa hiottavan kappaleen urien vaihteleva muoto tuo suurimman haasteen. Hiontalaitteen kontaktipinnan tulee mahtua uran jokaiseen osaan. Kappaleessa on sekä pyöristettyjä että teräviä reunoja ja nurkkia. Pyöristetyt reunat vaativat hiomalaitteelta joustavuutta, joka taas on haitaksi terävien reunojen säilyttämisessä. Hiontalaitteen kontaktipinnan on myös mahduttava kapeiden urien seinämille. Tästä syystä hiontaan tarvitaan erilaisia hiontalaitteita, jolloin myös hiontalaitteen vaihdettavuus robottiin tulee huomioida.

5.1.1 Kulmahiomakone

Yhtenä vaihtoehtona hiontaan on kulmahiomakone, jollainen jo nykyisin on käytössä käsinhionnassa. Robottiin on mahdollista kiinnittää joko käsihiomalaite tai robottiin suunniteltu kulmahiomalaite, kuten esimerkiksi Gisonin valmistama pneumaattinen kulmahiomakone (kuvio 11). Gison GP-AG831-kulmahiomakoneessa on valmiiksi kiinnityslaippa, jonka avulla se voidaan helposti kiinnittää robottiin (7" Pneumatic Angle Grinder for Robot Arms N.d).



Kuvio 11. Gison kulmahiomakone (7" Pneumatic Angle Grinder for Robot Arms N.d)

5.1.2 Suorahiomakone

ToolDrives:n valmistama Compact Line Module (kuvio 12) on sähkötoiminen monipuolinen suorahiomakone, jonka kompakti koko ja 2,2 kilogramman paino tuo etua käytettäessä yhteistoimintarobottia. Compact Line Module on myös Universal Robots+ -sertifioitu eli sen voi yhdistää saumattomasti robottiin Universal Robots:n PolyScope-käyttöliittymän kautta. Kyseiseen työkaluun voidaan liittää monipuolisesti erilaisia hiontalaikkoja ja karoja. (Compact Line Module. N.d.)



Kuvio 12. ToolDrives Compact Line Module (Compact Line Module N.d)

Schunk valmistaa robottiin kiinnitettävää suorahiomalaitetta pneumaattisena (kuvio 13). Lisäksi hiontalaitteessa on itsessään sivuttaissuuntainen jousto. Hiontalaite soveltuu hyvin karatyökaluille. (MFT. N.d.)



Kuvio 13. Schunk MFT (MFT N.d)

5.1.3 Nauhahiomakone

Gison valmistaa pienikokoisia pneumaattisia nauhahiomakoneita robottikäsiin (kuvio 14). Gison GP-BS10 on massaltaan 0.8 kilogrammaa, nauhan leveys on 10 mm ja pituus 330 mm. Nauhahiomakoneen muoto mahdollistaa myös ahtaiden urien hionnan. (Air Belt Sander for Robotic Arm N.d.)



Kuvio 14. Gison GP-BS10 nauhahiomakone (Air Belt Sander for Robotic Arm N.d)

5.2 OnRobot Hex voima-anturin testaus

Virtauskappaleen kiertyvien urien hionnassa voimansäätö kontaktipinnalle on välttämätöntä tasaisen hiontajäljen aikaansaamiseksi. JAMK:n robotiikan laboratoriossa testattavaksi oli saatavilla kuusi akselinen OnRobot HEX-E QC voima-/vääntömomenttianturi (kuvio 15), joka on suunniteltu mm. hionta-, kiillotus- ja kokoamissovelluksiin (HEX force/torque sensor – giving the sense of touch to your robot. N.d).



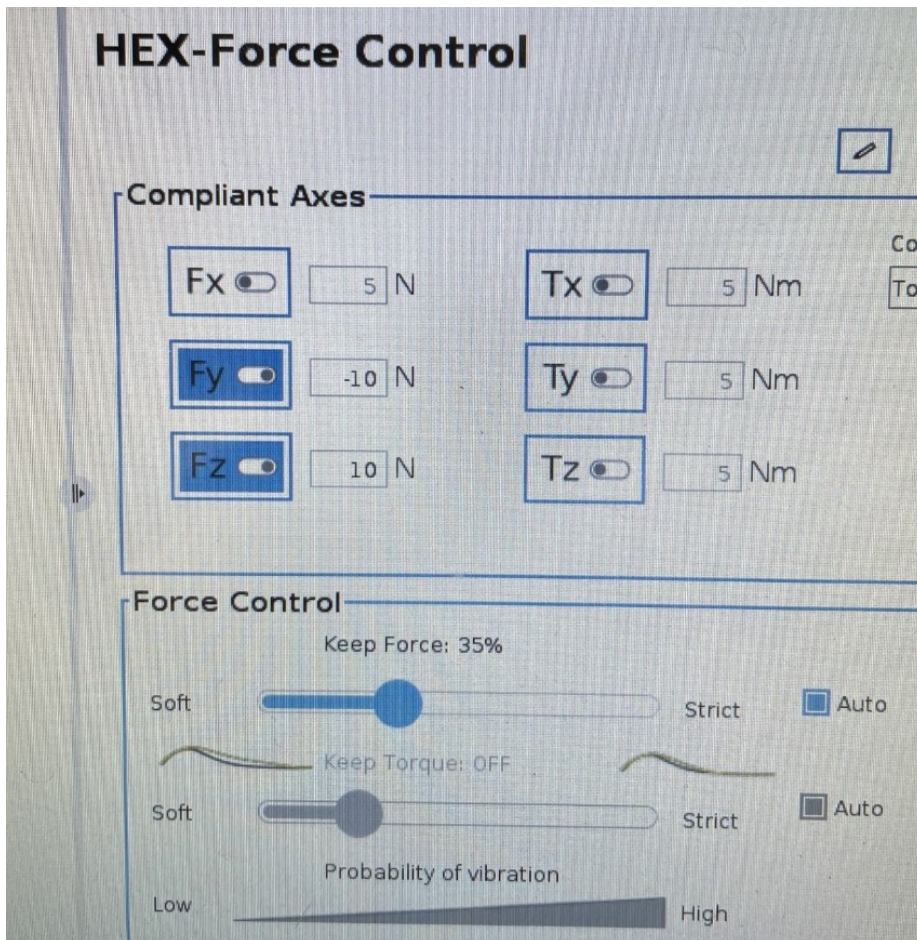
Kuvio 15. OnRobot HEX-E/H QC voima-anturi (HEX force/torque sensor – giving the sense of touch to your robot. N.d)

Hiontalaitteeksi robottiin kiinnitettiin akkukäyttöinen Milwaukee-suorahiomakone (kuvio 16). Akkukäyttöinen hiomalaite soveltui hyvin testikäyttöön, koska hiontalaitteelle ei tarvitse asentaa sähkö- tai paineilmajohtoja. Hiontalaite kiinnitettiin HEX voima-anturiin itsetehdyllä kiinnikkeellä. Robotti oli aseteltuna hiottavan kappaleen viereen kuvion 16 mukaisesti. Kyseisessä asettelussa robotti ei yletä hiottavan kappaleen toiselle puolelle, joten pyörityspenkki olisi lopulliseen sovelukseen tarpeellinen. Myös robotin asettelu hiottavan kappaleen yläpuolelle ylösalaisin on mahdollista ja tällöin robotilla olisi enemmän työskentelyulottuvuutta hiottavaan kappaleeseen nähden. Testausta varten kuvan 16 mukainen asettelu oli riittävä.



Kuvio 16. Milwaukee-hiomakone kiinnitettynä UR5e yhteistoimintarobottiin

Tarkoituksena testissä oli silmämääräisesti seurata, kuinka robottiin kiinnitetty hiomakoneen tällä mukalee hiottavan kappaleen pintaa. Robotin ohjelmointi testiin toteutettiin johdattamalla ohjelmalla. Testipintana oli noin 20 cm mittainen viistosti alaspäin laskeva uran reuna. Pölyn synty-
misen välttämiseksi laikkaan kiinnitettiin hiontapaperin sijaan mikrokuituliina. Voima-anturin asetukset asetettiin kuvion 17 mukaan. Testin tuloksena hiontalaikka myötäilee uran pintaa ongelmitta eli voima-anturi käyttäytyy toivotulla tavalla.



Kuvio 17. Voima-anturin asetukset

5.2.1 Vaihtoehtoiset voiman ohjauslaitteet

Vaihtoehtoisesti hionnassa voi hyödyntää paineilmakäyttöistä voimanohjausyksikköä, kuten Fer-Robotics:n valmistamaa ACF-K voimansäätösarjaa (kuvio 18). ACF-K on paineilmakäyttöinen aktiivisesti säätävä lisäakseli, joka on suunniteltu erityisesti yhteistoimintarobotille. Tämän avulla ohjelmoinnista saadaan helpompaa, kun ohjelmassa ei tarvitse huomioida voiman ohjauksen yhteensopivuutta robotin ohjelman kanssa. (ACF-K. N.d.)

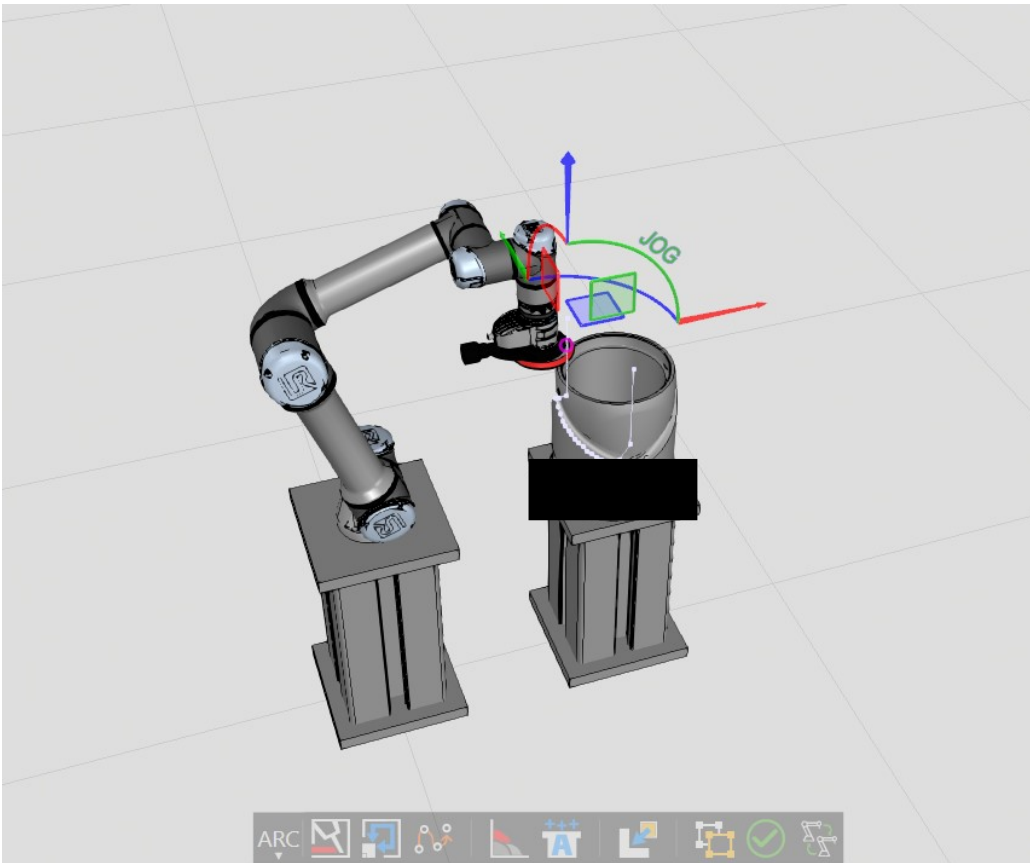


Kuvio 18. Active Contact Flange Kit (ACF-K N.d)

5.3 3D-mallinnuksen hyödyntäminen ohjelmoinnissa

Virtauskappaleita on monen erikokoisia ja hiottavat erät ovat pieniä. Tästä syystä robotin ohjelmoinnin tulisi olla mahdollisimman helppoa ja nopeaa. Hiottavista kappaleista on saatavilla 3D-mallinnukset, joita on mahdollista hyödyntää offline-ohjelmoinnissa.

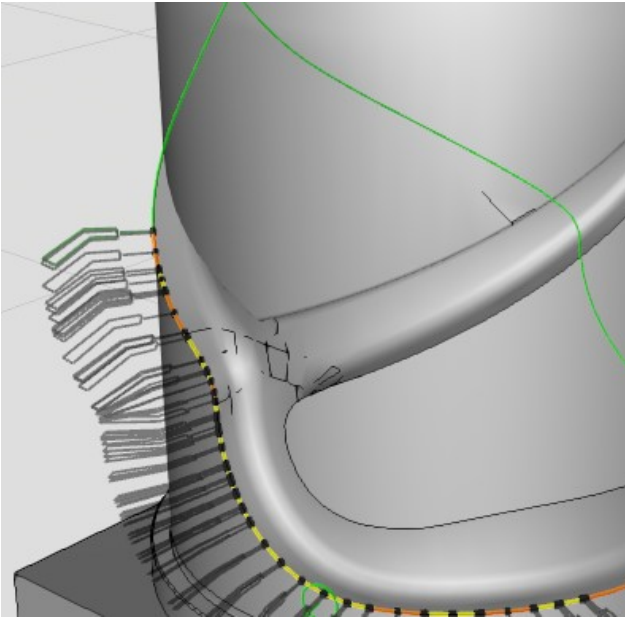
Offline-ohjelmointiin JAMK:lla oli käytettävissä Visual Components OLP 4.9 Premium. Ohjelman rakentaminen alkoi 3D-mallinnuksen lisäämisellä ohjelmointiympäristöön. Visual Components ympäristöön voi lisätä hyvinkin laajasti eri 3D-mallinnuksien tiedostomuotoja. Myös UR5e -robotti löytyy suoraan Visual Componentsin laajasta katalogista. Hiontatyökaluksi valikoitui OnRobot Sander. Myös OnRobot hex voima-anturi löytyy katalogista mutta sen voimanohjaustoimintoja ei pystytä hyödyntämään Visual Component:ssa. Kuviossa 19 laitteet ovat lisättyinä Visual Components offline-ohjelmointiympäristössä.



Kuvio 19. UR5e -robotti ja oheislaitteet Visual Components -ohjelmointiympäristössä

Visual Component:sta löytyy edistyksellisiä toimintoja, joiden avulla hiontaratojen ohjelmointi saadaan toteutettua. Visual Coponent:sta löytyy ohjelmointityökaluja eri sovelluksiin mm. hiontaan ja hitsaukseen. Tässä ohjelmoinnissa valittiin hionnan sijaan hitsausohjelmointityökalu, koska se sisältää huomattavasti enemmän toimintoja ja se toimii myös hiontasovelluksissa.

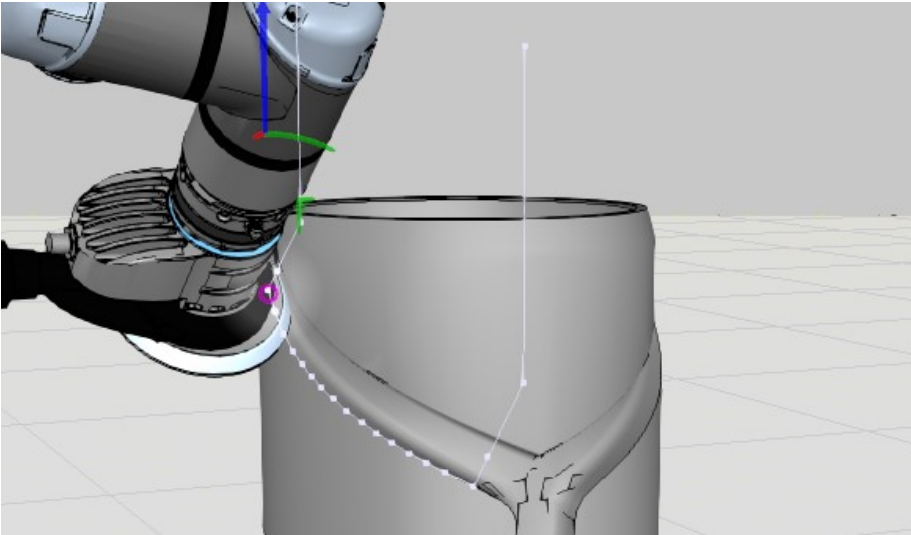
Viemällä hiiren osoittimen kappaleen eri osiin ohjelma ehdottaa automaattisesti eri hiontaratoja (kuvio 20). Ohjelma tarvitsee kuitenkin hiottavasta kappaleesta tumman viivan, jota seurata. Saa-dakseen hiontarata syvemmälle uraan voidaan käyttää joko offset-asetusta tai lisätä kappaleen 3D-mallinnusta piirrettäessä viivoja myös uran syvempiin osiin.



Kuvio 20. Visual Components -ohjelmiston hiontarataehdotus

Jokaisen hiontaradan asetuksista voidaan muokata esimerkiksi radan pituutta, pisteiden tiheyttä, offset-asetusta, työkalun kulmaa suhteessa kappaleeseen ja työkalun nopeutta ja useita muita radan ominaisuuksia. Myös hitsauksesta tyypillisen edestakaisen siksak-liikkeen voi lisätä rataan. Ohjelmisto luo automaattisesti myös robotin lähestymispisteet, joita voi myös tarvittaessa muokata. Parhaiten erilaiset hiontaradat löytyvät kokeilemalla eri asetuksia.

Testiradaksi tehtiin kuviossa 21 valkoisella esiintyvä rata, jossa on lähestymis- ja poistumispisteet. Ohjelman siirtäminen robotille onnistuu Visual Component:n Postprocess -työkalulla. Työkalu muuttaa Visual Components:n yleiskielen laitevalmistajakohtaiselle kielelle, tässä tapauksessa Universal Robots:n kielelle. Postprocess -työkalu luo tekstipohjaisen urp-tiedoston, joka voidaan muistititkulla siirtää UR5e:n ohjauspaneeliin. Ohjauspaneelissa avataan ohjelma ja lisätään pisteisiin haluttu TCP. Tämän jälkeen ohjelma on käytettävissä robotilla.



Kuvio 21. Testihiontarata

5.3.1 OnRobot HEX voima-anturin yhdistäminen Visual Components -ohjelmaan

Visual Components -ohjelman saatua toimimaan robotissa alkoi selvitys, pystytäänkö OnRobot HEX -voimanohjaus toteuttamaan yhdessä Visual Components -ohjelman kanssa. Useista yrityksistä huolimatta todettiin, ettei se ole olemassa olevilla resursseilla mahdollista. Tästä syystä myös 3D-mallinnuksesta luotu robotin ohjelmointi jää testaamatta hiottavaan kappaleeseen.

6 Pohdinta

Työn tavoitteena oli tutkia mahdollisuuksia hiontasovelluksen toteuttamiseen, jonka seurauksena syntyi tarkemmat tutkimuskysymykset. Tutkimuskysymyksiä oli, millaisia hiomalaitteita yhteistyörobotissa voidaan käyttää hiontasovelluksessa, sopiiko OnRobot HEX -voima-anturi käytettäväksi virtauskappaleen muotojen hionnassa ja miten 3D-mallinnusta voidaan hyödyntää robotin ohjelmoinnissa.

Vastaukseksi ensimmäiseen kysymykseen työssä esiteltiin sovellukseen potentiaalisia hiontalaitteita. Esitellyjä hiomalaitteita ei päästy testaamaan käytännössä eli ne ovat vain ehdotuksia millaiset hiontalaitteet voisivat sopia sovellukseen. Toiseen kysymykseen testauksen tuloksena todettiin HEX voima-anturi soveltuvaksi työhön. Vastaukseksi kolmanteen kysymykseen saatiin Visual Com-

ponents -ohjelmiston avulla luotua testiohjelmaa 3D-mallinnuksesta, muutettua ohjelmaa UR:n ohjelmakielelle ja robotti toimimaan ohjelmoinnin mukaisesti. Tämän jälkeen tarkoituksena oli vielä yhdistää HEX voima-anturi 3D-mallinnuksesta luotuun ohjelmointiin, mutta se ei onnistunut.

Alun perin opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä JAMK:lle hiontasovellus, jota voitaisiin hyödyntää opetuskäytössä, mutta työn toimeksiantajaksi vaihtui OnSteel Oy, koska heillä oli tarve hyvinkin saman kaltaiselle kehitystyölle. Työn aikana hankaluuksia tuotti erityisesti hiottavan kappaleen monimutkainen muotoilu ja työn rajaaminen. Työtä aloitettaessa annettiin hyvinkin vapaat kädet lähteä tutkimaan sovelluksen toteuttamista, josta koitui haasteita valita oleelliset tutkimuskysymykset.

Tuloksia voidaan hyödyntää hiontasovelluksen jatkokehityksessä. Tämä työ oli oikeastaan vasta tutustumista mitä toimiva hiontasovellus voisi vaatia. Hiontasovelluksen tuotantoon saattamiseksi tarvitaan vielä mittava määrä jatkokehitystä ja resursseja, kuten eri työkalujen testausta, ohjelmoinnin kehittämistä, tuotannon kannattavuuslaskelmia sekä robottisolun tuotantoon liittämistä ja turvallistamista.

Lähteet

7" Pneumatic Angle Grinder for Robot Arms. N.d. Gison verkkosivuilla. Viitattu 11.4.2025. <https://www.gison.com.tw/en/category/A0201.html>.

About us. N.d. Visual Components verkkosivuilla. Viitattu 27.1.2025. <https://www.visualcomponents.com/about-us/>.

ACF-K. N.d. FerRoboticsin verkkosivuilla. Viitattu 15.4.2025. <https://www.ferrobotics.com/en/services/products/active-contact-flange-kit/>.

Ahonen, P., Christophe, F., Haapakoski, T., Holamo, O., Kapiainen, P., Karvonen, H., Latokartano, J., Lempiäinen, J., Liljamo, J., Paasio, L., Partanen, A., Skriko, T., Siltala, N. & Närhi, J. 2024. Teollisuusrobotiikan sovelluksia. Julkaisussa: Teollisuuden robotiikka. Toinen, uudistettu painos. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry, 37–77. <https://janet.finna.fi>, Ellibslibrary.

Air Belt Sander for Robotic Arm. N.d. Gison verkkosivuilla. Viitattu 14.4.2025. https://www.gison.com.tw/en/product/air_tools_GP-BS10.html.

Aro, J. & Liuha, A. 2024. Aistijärjestelmät ja kommunikointi. Julkaisussa: Teollisuuden robotiikka. Toinen, uudistettu painos. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry, 162–183. <https://janet.finna.fi>. Ellibslibrary.

Bredin, C & Marshall, D. 2008. Success story. Julkaisussa ... for a better world. ABB Review. 56–63. Viitattu 17.1.2025. https://library.e.abb.com/public/cb7fbbe19bdea794c1257466006ee1f5/ABB%20Review%202008_72dpi.pdf.

Compact Line Module. N.d. ToolDrives verkkosivuilla. Viitattu 11.4.2025. <https://www.tool-drives.de/compact-line-module-en>.

Cylindrical robot type. N.d. All OnRobots verkkosivuilla. Viitattu 17.1.2025. <https://allonrobots.com/cylindrical-robot/>.

Fager, K. 2002. Teräksien ja alumiinien pintakäsittelymenetelmiä. Artikkelijulkaisussa 3/2002, 33–35. Viitattu 19.5.2025. https://vuorimiesyhdistys.fi/wp-content/uploads/2019/09/Vuoriteollisuus_2002-3.pdf.

Gurgul, M. 2018. Industrial robots and cobots. Everything you need to know about your future coworker. Monee IL: Michal Gurgul.

HEX force/torque sensor – giving the sense of touch to your robot. N.d. OnRobot verkkosivuilla. Viitattu 14.4.2025. <https://onrobot.com/fi/toutteet/hex-6-axis-force-torque-sensor>.

Historiamme. N.d. Universal Robots verkkosivuilla. Viitattu 17.4.2025. <https://www.universal-robots.com/fi/tietoja-universal-robots/our-history/>.

Hänninen, P. 2021. Robotiikka ja tekoäly. Tampere: Tammertekniikka / AMK-Kustannus.

IRB 5720. N.d. ABB-verkkosivuilla. Viitattu 21.1.2025. <https://new.abb.com/products/robotics/robots/articulated-robots/irb-5720>.

ISO 8373:2021. Robotics – Vocabulary. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 8.11.2021. Viitattu 17.10.2024. <https://janet.finna.fi/Record/jamk.993187864806251?sid=4843366444>, SFS Online

Kolehmainen, P. 2024. Robottien ohjelmointi. Julkaisussa: Teollisuuden robotiikka. Toinen, uudistettu painos. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry, 265–290. <https://janet.finna.fi>, Ellibslibrary.

Kytöharju, J. & Pöysäri, S. 2024. Simulointi ja mallipohjainen etäohjelmointi. Julkaisussa: Teollisuuden robotiikka. Toinen, uudistettu painos. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry, 243–263. <https://janet.finna.fi>. Ellibslibrary.

Kruger, B. 2013. Amazing Delta/Parallel Robot Video's. Blogi julkaisu Protoneer.co.nz sivustolla. Viitattu 22.1.2025. <https://blog.protoneer.co.nz/amazing-delta-parallel-robot-videos/>.

Lempiäinen, J. 2024. Teollisuuden robotiikka suomessa. Julkaisussa: Teollisuuden robotiikka. Toinen, uudistettu painos. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry, 243–263. <https://janet.finna.fi>. Ellibslibrary.

Manufacturing simulation. N.d. Visual Components verkkosivuilla. Viitattu 27.1.2025. <https://www.visualcomponents.com/products/manufacturing-simulation/>.

MFT. N.d. Schunk verkkosivuilla. Viitattu 14.4.2025. https://schunk.com/fi/en/automation-technology/machining-tools/mft/c/PGR_2535.

Niall, H. N.d. Understanding Robot Coordinate Frames and Points. Artikkelit SolisPLC verkkosivuilla. Viitattu 19.5.2025. <https://www.solisplc.com/tutorials/robot-coordinate-frames-and-points>.

Niku, S. 2001. Introduction to robotics. New Jersey: Prentice Hall.

Opinnäytetyön raportointi. 2024. Opinnäytetyön raportointiohje. Viitattu 20.4.2025. <https://oppi-materiaalit.jamk.fi/raportointiohje/>.

Opinnäytetyön toteutustavat. 2025. Opinnäytetyö ohje. Viitattu 20.4.2025. <https://help.jamk.fi/opinnaytetyo/fi/toteutustavat-ja-rakenne/opinnaytetyon-toteutustavat/>.

Robotiikka. 2016. Verkkosivu. Viitattu 14.1.2025. <https://docplayer.fi/67729437-Robotiikka-2016-1-johdanto-ja-historiaa.html>.

SR-3iA SCARA Robot. N.d. Fanuc verkkosivuilla. Viitattu 22.1.2025. <https://www.fanucamerica.com/products/robots/series/scara/sr-3ia-scara-robot>.

Säännöt ja periaatteet. N.d. Jyväskylän ammattikorkeakoulun ohjeistus eettisistä periaatteista. Viitattu 11.11.2024. <https://www.jamk.fi/fi/opiskelijalle/tutkinto-opiskelija/saannot-ja-periaatteet>.

The Benefits of Robotic Grinding and Finishing. 2025. Robotiikan blogi Association for advancing automation sivustolla. Viitattu 20.4.2025. <https://www.automate.org/robotics/blogs/the-benefits-of-robotic-grinding-and-material-removal>

The Unimate robot that revolutionized the technological world. 2022. Artikkelin KOHA verkkosivulla. Viitattu 17.1.2025. <https://www.koha.net/en/tech/roboti-unimate-ge-beri-revolucion-ne-boten-teknologijike>.

UR5e. N.d. Universal Robots verkkosivut. Viitattu 14.1.2025. <https://www.universal-robots.com/products/ur5e/>.

Vaughn, R. 2013. The Difference between Cartesian, Six-Axis, and SCARA Robots. MachineDesign verkkosivulla 2.2013. Viitattu 17.1.2025. <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21831692/the-difference-between-cartesian-six-axis-and-scara-robots>.

Yritys. N.d. OnSteel Oy: n www-sivuilla. Viitattu 2.10.2024. <https://onsteel.fi/yritys/>.

#tbt #ABBRobotics The #IRB1000 was believed to be the world's fastest assembly robot with a "pendulum" configuration. 2014. Viestipalvelu X 20.11.2014, ABB Robotics. Tilapäivitys ABB Roboticsin sivuilla. Viitattu 17.1.2025. <https://x.com/ABBRobotics/status/535372385638420481>