

**ROBOTISOIDUN HIOMAKONESOLUN KÄYTETTÄVYYDEN  
PARANTAMINEN**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Valkeakosken kampus, Automaatiotekniikka

Syksy, 2017

Joona Juurtti

Automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Valkeakoski

---

<b>Tekijä</b>	Joona Juurtti	<b>Vuosi</b> 2017
<b>Työn nimi</b>	Robotisoidun hiomakonesolun käytettävyyden parantaminen	
<b>Työn ohjaaja/t</b>	Antti Aimo	

---

#### TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää tilaajan Jame-Shaft Oy:n robotisoidusta hiomasolusta automaattisen ajon pysähtymiseen johtavia ongelma-kohtia, jotka ratkaisemalla voitiin parantaa solun käytettävyyttä ja tehostaa sen toimintaa.

Työssä kehitettiin robottisolun käytettävyyttä parantamalla aihion paikannusta lavalta sekä paikoitusta väliasemassa. Kehittäminen kohdistui robotin ohjelmistoon, aihion valaistukseen sekä väliaseman fyysisiin muutoksiin. Muutosten vaikutuksia seurattiin omakohtaisilla havainnoilla sekä keskusteluilla koneoperaattoreiden kanssa.

Solussa tehtyjen muutosten jälkeen häiriötilanteet automaattisessa ajossa ovat vähentyneet noin kolmanneksen. Solun toimintaa voidaan jatkokehittää parantamalla edelleen aihion paikannusta. Sitä voisi kehittää niin, että robotti huomioisi lavan sijainnin suorittamalla aihion haun myös oman x-akselinsa suunnassa. Tämä ohjelmistomuutos voisi olla parempi vaihtoehto kuin lavan toistuva tarkka asettaminen paikoituskulmien väliin.

Työssä tehdyt muutokset ovat jo käytössä Jame-Shaft Oy:n robotoidussa hiomakonesolussa.

**Avainsanat** Robotiikka, ohjelmointi, paikannus, käytettävyys

**Sivut** 27 sivua, joista liitteitä 2 sivua

Automation Engineering  
Campus

---

<b>Author</b>	Joona Juurtti	<b>Year</b> 2017
<b>Subject</b>	Improving the usability of a robotized grinding cell	
<b>Supervisors</b>	Antti Aimo	

---

ABSTRACT

The aim of this thesis was to find the problematic points that caused unexpected stops in the automated operations of a robotized grinding cell for Jame-Shaft Oy, so that by eliminating these problems the cell's usability could be increased and its operations streamlined.

The usability of the robot cell was developed by improving the positioning of the blank both in the pallet and at an intermediate location. The development work was focused on the software of the robot, the lighting of the blank, and physical changes in the intermediate location. The effects of the development work were monitored through personal observations, as well as discussions with the machine operators.

After the changes had been applied, unexpected stops have decreased by approximately a third. The cell's operations can be further developed by improving the positioning of the blank. This can be done by having the robot take into account the position of the pallet by performing the positioning of the blank in the direction of the robot's x-axis. This software change might be a better alternative, than the constant precise positioning of the pallets between position angles.

The changes made in the project have already been implemented at the robotized grinding cell of Jame-Shaft Oy.

**Keywords** Robotics, programming, positioning, usability

**Pages** 27 pages including appendices 2 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	YRITYSESITTELY .....	1
3	TEOLLISUUSROBOTIIKAN TEORIAA.....	2
3.1	Teollisuusrobotiikka .....	2
3.1.1	Robottityyppejä .....	3
3.1.2	Ohjelmointi.....	4
3.2	Anturit/sensorit.....	7
3.3	Konenäkö.....	8
4	ROBOTTISOLU .....	9
4.1	Robotti.....	10
4.2	Lavat .....	11
4.3	Väliasema .....	11
4.4	Hiomakone .....	12
5	HÄIRIÖT.....	13
6	HÄIRIÖIDEN KORJAUS.....	14
6.1	Vaakapaikannus .....	14
6.2	Pystypaikannus.....	16
6.3	Väliasema .....	16
7	YHTEENVETO .....	17
	LÄHTEET .....	19

## Liitteet

Liite 1      Konenäkö sovelluksen kappaleen asetusten muistilista

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on löytää robotisoidusta hiomasolusta ongelma-kohtia, jotka ratkaisemalla voidaan parantaa solun käytettävyyttä ja tehostaa sen toimintaa. Ratkaisemalla ongelma-kohtia lisätään yksittäisen solun tuottavuutta ja parannetaan yrityksen kykyä vastata kasvavaan kysyntään.

Työn tilaaja Jame-Shaft Oy hakee ratkaisua hiomakonesolun odottamattomiin pysähdyksiin automaattisessa ajossa. Pysähdykset häiritsevät sujuvaa tuotantoa. Kun solu pysähtyy, se vaikuttaa myös muihin koneisiin. Yksi operaattori valvoo useita koneita, joten häiriönpoisto ei tapahdu välttämättä välittömästi. Työn valmistuttua solussa tulisi olla aikaisempaa vähemmän häiriötilanteita. Työn tilaaja voi hyödyntää opinnäytetyössä tehdyjä muutoksia ja jatkokehittää solun toimintaa entisestään, sekä mahdollisesti käyttää tuloksia muissa soluissa ja parantaa niiden toimintaa.

## 2 YRITYSESITTELY

Jame-Shaft Oy on erikoistunut metsä-, maanrakennus- ja kaivoskoneiden sekä kuormankäsittelylaitteissa käytettävien tappi-holkkiparien valintaan ja valmistukseen. Yrityksen laatu ja ympäristö järjestelmät on auditoitu ISO 9001 ja ISO 14001 standardien sekä työterveys- ja työterveysjohtamisjärjestelmä OHSAS 18001 standardin mukaan. (Jameshaft 2017.)

Jame-Shaft Oy tarjoaa vankalla kokemuspohjalla ja tutkimustiedolla metalliosien koneistus, lämpökäsittely sekä pinnanviimeistely palveluita. Yrityksen koneistuksessa on käytössä noin 40 CNC-ohjattua työstökoneita, joista viisi on monitoimisorveja. Koneilla työstettävät kappaleet voivat vaihdella halkaisijaltaan 20 millimetristä noin 350 millimetriin ja pituudeltaan 15 millimetristä noin 1000 millimetrin. Erikoisuutena on mahdollisuus pitkien reikien poraukseen sekä erittäin monimutkaisten tuotteiden valmistus monitoimisorveilla. (Jameshaft a & e 2017.)

Yritys tekee myös metallin lämpökäsittelyä. Se voidaan tehdä hiiletyskarkaisulla, nitrauskäsittelyllä tai induktiokarkaisulla. Hiiletyskarkaisulla kappaleelle saadaan kova ja kulutusta kestävä pinta kuumentamalla sitä hiiltä luovuttavassa kaasuseoksessa ja karkaisemalla kuumennettu kappale tämän jälkeen öljyssä. Käsittelyssä syntyvällä puristusjännityksellä kappaleella saadaan erittäin hyvä pintakovuus. Se on myös väsymislujaa ja sisältäen sitkeä. Nitrauksista yleisin on mustanitraus. Mustanitrauksella

saadaan kappaleelle kova pinta ja erittäin hyvä korroosionkesto. Induktiokarkaisulla pystytään käsittelemään haluttuja kohtia kappaleesta. Koko kappaletta ei tarvitse käsitellä, joten tuotteen läpimenoaika on nopeampi kuin muilla käsittelymenetelmillä. (Jameshaft b, c & d 2017.)

Pinnanviimeistelyssä kappaleet voidaan hioa tai kovasorvata, jolloin niihin saadaan tarkat toleranssit sekä hyvän pinnanlaatu. Yrityksen toimintafilosofiaa kuvaa hyvin lause ”Kaikki saman katon alta” sillä tuotteet valmistetaan yhdessä tehtaassa alusta loppuun. (Jameshaft a & f 2017.)

Jame-Shaft Oy:n liikevaihto oli vuonna 2016 13,1 miljoonaa euroa ja henkilöstömäärä 52 henkeä. Yrityksen liikevaihdosta noin 40 prosenttia tuli viennistä. Yrityksen myynti on kasvanut voimakkaasti vuoden 2017 aikana. Yritys on vastannut kysynnän kasvuun lisäämällä henkilöstöään noin 50 prosentilla sekä varaamalla uusiin investointeihin noin 10 prosenttia seuraavan vuoden liikevaihdon arvosta. (Jameshaft e 2017.)

### 3 TEOLLISUUSROBOTIIKAN TEORIAA

#### 3.1 Teollisuusrobotiikka

Robotit ovat yleistyneet teollisuudessa vuosien mittaan, ja ne tulevat yleistämään entisestään teollisuuden kysynnän kasvaessa. Teollisuusrobotti määritellään ISO 8373 standardissa ”Automaattisesti ohjattu, uudelleenohjelmoitava, monikäyttöinen manipulaattori, jossa voidaan ohjelmoida kolmea tai useampaa vapausastetta ja joka voi olla kiinteästi paikallaan tai liikkua teollisessa automaatiosovelluksessa” (ISO 8373/2012, 1).

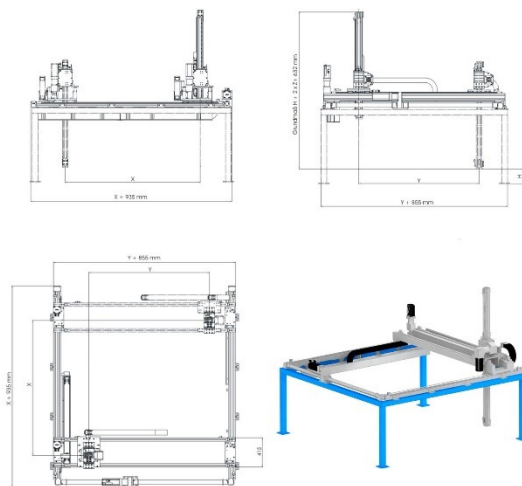
Olennaista määritelmässä on uudelleenohjelmoitavuus. Määritelmässä ei ole huomioitu robotiikan kehitystä, sillä uusissa roboteissa niiden toimintaa säädetään myös aistiohjauksella: Robotti havainnoi ympäristöä antureiden avulla ja päivittää liikeratojaan niistä saadun tiedon avulla. Yhdistämällä ohjelmointi ja aistiohjaus voidaan robotin ohjauksessa korjata epätarkkuus, joka vallitsee suunnittelujärjestelmän 3-D-mallimaailman ja todellisen maailman välillä.

Robotteja ohjataan opettamalla niille toimintapisteet, jossa ne tekevät erilaisia toimia, kuten kappaleen poiminta tai asettaminen tiettyyn paikkaan. Jos toimintapisteitä on paljon, voidaan niiden määrittämisen apuna käyttää kolmiulotteisia tietokonemalleja. Mallien avulla määritetään itse toimintapisteet sekä robotin liikeradat pisteiden välillä. Simuloitu malli voidaan siirtää robotille toteutettavaksi ohjelmaksi. Ohjaustapa soveltuu tilanteissa, joissa robotti käsittelee kappaleita, joiden paikka ja asento pysyvät samoina.

Kappaleen paikan ja asennon muuttuessa robotin on pystyttävä muuttamaan itse toimintaansa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että opetettuja pisteitä ei voida käyttää, vaan kappale on paikannettava tapauskohtaisesti robotin koordinaatistoon ja kappaleen asento on selvitettävä. Tähän voidaan käyttää konenäkösovellusta.

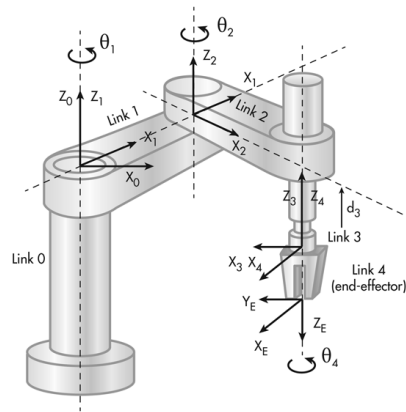
### 3.1.1 Robottityyppejä

Suorakulmaisen robotin kolme ensimmäistä vapausastetta ovat lineaarisia. Suorakulmaisia robotteja kutsutaan myös portaaliroboteiksi. Robotin rakenne voidaan tukea työalueenkulmista kuten kuvassa 1 esitetään. Työalue määrää robotin liikkuvuuden rajat. Halutessa robotti voidaan kiinnittää paikoilleen tiettyyn kohtaan tai liikkuviin telineisiin. Kantavuudet ja liikkuvuus vaihtelevat hyvin paljon riippuen robotista. (Laine ym. 1999, 16. ; Tekes 2015.)



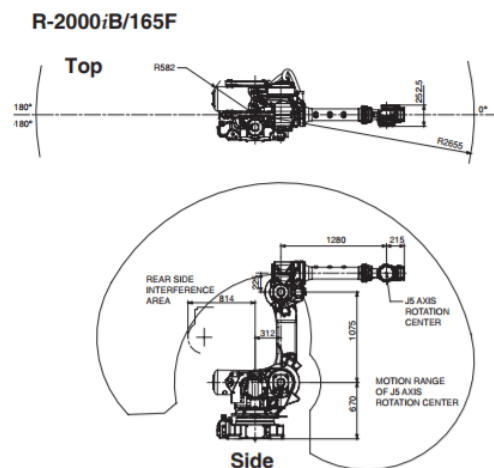
Kuva 1. Portaalirobotti (FLG Automation n.d.).

Scara-robotissa (Selective Compliance Assembly Robot Arm) kuvassa 2., on kolmella vaakatasossa kiertyvällä nivelellä ja yhdellä pystysuuntaisella lineaariakselilla saadaan robotin työkalu oikealle korkeudelle haluttuun kohtaan. Scara-robottia käytetään usein nopeaan kevyiden kappaleiden käsittelyyn. (Laine ym. 1999, 14.)



Kuva 2. Scar-robotti ja akselien liikesuunnat (MachineDesign 2016).

Kiertyväniveliseissä roboteissa tärkein piirre on, että kaikki vapausasteet ovat kiertyviä. Tämän lisäksi niiden tukivarret on kytketty peräkkäin, jolloin robotille saadaan laaja liikerata. Kuuden vapausasteen robotilla kuvassa 3, joista vähintään kolme akselia on kiertyviä, on mahdollista saada työkalun melkein mihin tahansa asentoon robotin työalueella. (Laine ym. 1999, 16,18.)



Kuva 3. 6-akselisen robotin työalue (FANUC n.d.).

### 3.1.2 Ohjelmointi

Tavoitteena on, että robotti tekee mahdollisimman paljon ja nopeasti tuotavaa työtä. Siksi robotin ohjelmoinnin tulisi keskeyttää työnteko vain lyhyeksi ajaksi tai ei ollenkaan. Opettamalla ohjelmointi pitää tehdä paikan päällä robotin luona ja tuotanto robotilla tämän takia joudutaan pysäyttämään. Etäohjelmoinnilla robottia voidaan ohjelmoida muualla, jolloin tuotantoa ei tarvitse pysäyttää yhtä pitkäksi aikaa kuin online ohjelmoinnilla. Tämän avulla koneiden pysähtymisaikaa saadaan lyhennettyä sekä riskejä vähennettyä. (ABB n.d.)



Paikalla tehtävää ohjelmointia, kutsutaan myös online-ohjelmoinniksi. Siinä robotti ohjelmoidaan, joko kirjoittamalla komentoja robotin käsiohjaimella tai opettamalla robotille työssä tarvittavat liikkeet. Opettamalla ohjelmoinnissa robotille annetaan komennot tehtävä kerrallaan liikuttamalla se haluttuun pisteeseen ohjaimen avulla ja tallentamalla paikkatieto robotin muistiin. Lisäämällä useampi paikkatieto ja antamalla robotille liike-ehdot, robotti laskee itselleen liikeradan, joka kulkee halutuiden pisteiden kautta. Ohjelmoitaessa opettamalla etuna on se, että robotin liikkeet nähdään konkreettisesti ja mahdolliset ongelmat on helpompi korjata saman tien. Haittana on se, että ohjelmoinnin aikana robottia ei voida käyttää tuotannossa. (Laine ym. 1999, 79-80.)

Etäohjelmoinnissa, jota kutsutaan myös offline-ohjelmoinniksi, robotti ohjelmoidaan tietokoneella. Yleensä työssä käytetään erikseen suunniteltua ohjelmistoa, jossa on graafinen käyttöliittymä ja simulointimahdollisuus. Näihin ohjelmiin voidaan tuoda 3D-malleja tuotannossa käytettävistä kappaleista, ja koneista. Tuotujen 3D-mallien avulla ohjelmalla on mahdollista mallintaa robottisolu tai haluttu robotin toiminta. 3D-mallien avulla ohjelmointi voidaan tehdä komento kerrallaan tai tehtäväkokonaisuus kerrallaan. (Laine ym. 1999, 81-83 ; Finnrobotics Oy n.d.)

Ohjelmien toimivuus voidaan testata simuloimalla käskyt tietokoneella ennen kuin ne siirretään robottiin. Simuloinnilla pystytään selvittämään helposti ovatko robotin liikkeet mahdollista toteuttaa vai ei. Tarvittaessa virheet pystytään korjaamaan ohjelmassa ja tämän jälkeen simulointi voidaan suorittaa uudestaan. Etäohjelmoinnilla ei kuitenkaan saada täysin valmista robottiohjelmia, joka toimii täysin oikein tuotannossa vaan ohjelma vaatii usein vielä hienosäätöä robotilla paikan päällä. (Laine ym. 1999, 81-83 ; Finnrobotics Oy n.d.)

Robotin ohjelmointikielissä ei ole vielä yhtä yhteistä kieltä jota kaikki suuret robotti valmistajat noudattaisivat, vaan käytössä on useita valmistaja-kohtaisia ohjelmointikieliä. FANUC yhtiö robotteja voidaan ohjelmoida TPP (Teach Pedant Programming) ohjelmointikieltä. TPP-kieli muodostuu tallennetuista käskyistä ja suoritettavista komennoista, jotka on tallennettu robotin muistiin. (FANUC a 2003.).

- J P[1] 50% CNT100 Offset, PR[]
- L P[2] 100mm/sec FINE INC
- C P[3] P[4] 100mm/sec FINE ACC

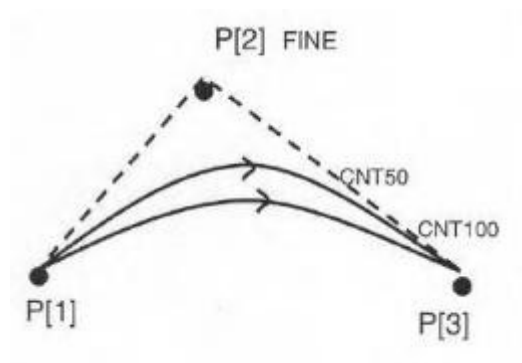
Yllä on lueteltuna TPP-kielessä käytettäviä liikepisteitä ja liikekäskyjä, joilla pisteisiin liikutaan. Kunkin rivin ensimmäinen kirjain merkitsee liiketapaa eli millaisella liikkeellä robotti liikkuu haluttuun pisteeseen. J (joint) liikuttaa robotin optimoidulla liikkeellä niveliä vapaasti kääntäen. L (linear) liikuttaa robotin suoraviivaisella liikkeellä ja C (circular) liikuttaa robotin käärimäisesti pisteiden välillä. Viimeksi mainittua komentoa, käytetään, kun

halutaan tehdä ympyrämäisiä liikkeitä. P[x] määrittää pisteen, mihin robotti liikkuu.

Esimerkkikomentojen seuraava kohta määrää robotin liikenopeuden. Käskyn toteutuksessa voi käyttää eri vaihtoehtoja, mutta yleisimmät ovat prosentti sekä mm/sec. Sadan prosentin nopeudella robotti liikkuu maksiminopeudellaan ja viidelläkymmenellä prosentilla se liikkuu puolet siitä. Millimetriä sekunnissa ohjaa robotin liikkumaan halutun matkan annetussa aikayksikössä 1-2000 mm/sec arvojen sisällä.

FINE ja CNT määrittävät robotin paikoitustarkkuuden (katso kuva 4). FINE komennolla robotti liikkuu haluttuun pisteeseen koko matkan perille asti. CNT (continius) on jatkuva paikoitus, eli robotti alkaa oikaista ennen kuin se on saavuttanut pisteen. Luku CNT:n perässä määrää milloin robotti aloittaa oikaisun: 100 se aloittaa oikaisun aikaisemmin ja 0 oikaisua ei juuri tapahdu.

Esimerkkiriveillä viimeisenä määritetään liikkeen valinta, jolla määritetään lisää liike-ehtoja. Korjain (offset) muuttaa pisteen sijaintia halutulla määrällä. Inkrementaalaisella liikkeellä (INC) robottia liikutetaan haluttuun suuntaan ilman varsinaista pistettä. Kiihdytysaika (ACC) määrittää robotin kiihtyvyyden, jolla sen halutaan saavuttavan määritetyn liikkumanopeuden. Viimeisen vaihtoehdon voi myös jättää tyhjäksi tai niitä voi lisätä useamman. (Fastems 2009.)



Kuva 4. Paikoitustarkkuuksien liike-erot (ebah n.d.).

Ohjelmoinnissa käskyjen lisäksi voidaan käyttää komentoja, joilla voidaan muun muassa suorittaa vertailuja sekä erilaisia laskutoimituksia. Ohjelmien sisällä voidaan kutsua myös makro-komentoja, sekä muita ohjelmia. Näiden eri elementtien avulla voidaan luoda yksinkertaisia tai monimutkaisia ohjelmia.

Yksi ohjelmointityyli on muuttujaohjelmointi. Sitä on hyvä käyttää silloin, kun robotin tekemä työvaihe on sama, mutta käsiteltävien kappaleiden pituus, halkaisijat ja kappalemäärät vaihtelevat sekä kappaleet ovat lavattu

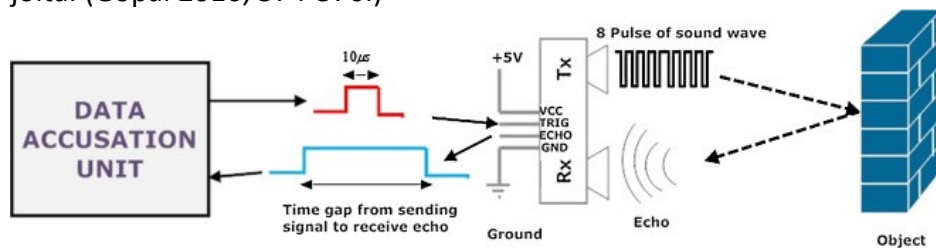
matriisilavalle. Muuttujaohjelmoinnissa robotille ohjelmoidaan perusohjelma, jossa määritellään robotin liikeradat, pisteet ja muut työssä tarvittavat toiminnot. Pisteille lisätään offsetmuuttujat. Niiden avulla voidaan pisteiden paikkaa muuttaa. Offsetmuuttujiin vaikuttavat kappaleiden pituus, halkaisijat sekä lukumäärä. (Mustonen, haastattelu 1.12.2017.)

Muuttujaohjelmoinnissa perusohjelmaan määritetään yhden kappaleen hakupaikka matriisilavalta sekä muut mahdolliset pisteet, jossa robotti käy. Koska matriisilavalla kappaleiden välinen etäisyys on vakio, voidaan sen perusteella laskea lavalla olevien kaikkien kappaleiden sijainti, kun yhden kappaleen sijainti tiedetään. Sijaintitiedon avulla robotti osaa hakea kaikki lavalla olevat kappaleet oikeasta paikasta, vaikka sille on opetettu vain yhden kappaleen paikka. Käyttäjää voidaan pyytää antamaan muuttujan arvot, kun hän asettaa ohjelman. Arvot voidaan hakea tarvittaessa myös robotin muistista. (Mustonen, haastattelu 1.12.2017.)

Muuttuja ohjelmoinnin etuna on sen joustavuus, sillä menetelmässä tarvitsee ohjelmoida vain yksi ohjelma usean ohjelman sijaan. Robottia ohjelmoidessa on hyvä miettiä, kuinka robotti tulee liikkumaan eri liikepisteiden välillä, sillä robotti lukee useampaa ohjelmariviä samanaikaisesti ja pyrkii ennakoimaan määritettyjen liikepistekomentojen lisäohjeiden (CNT ja FINE) avulla omaa liikettään. Robotti toimii näin, jotta sen toiminta olisi sujuvaa. (Mustonen, haastattelu 1.12.2017.)

### 3.2 Anturit/sensorit

Ultraäänianturi perustuu äänen kulkuajan mittaamiseen kohteeseen. Kuvassa 4 on esitetty anturin perustoiminta. Anturi lähettää lyhyitä pulsseja ja pulssin kohdatessa esteen, se heijastuu takaisin anturin vastaanottimeen. Anturi mittaa aikaa, kuinka kauan pulssilla kestää heijastua takaisin esteestä ja laskee siitä, käyttäen perusteena äänen nopeutta ilmassa esteen arvioidun etäisyyden sensorista. Järjestelmän toimintaa voidaan yksinkertaistaa käyttämällä äänennopeudella vakio arvoa ilmassa. Yksinkertaistamisesta huolimatta voidaan esteen etäisyys mitata senttimetrin tarkkuudella. Äänennopeuteen ilmassa vaikuttaa ilman lämpötila, kosteus, ilmanpaineen muutos sekä hiilidioksidin konsentraatio ilmassa, joten tarkempia mittaustuloksia varten on huomioitava äänennopeuteen vaikuttavia tekijöitä. (Gopal 2016, 574-576.)



Kuva 5. Ultraäänianturin toiminnankuvaus (Gopal 2016).

Ultraääniantureita on sekä digitalisia että analogisia. Digitaliset anturit lähettävät tiedon digitaalisessa muodossa ja analogiset anturit välittävät tiedon analogisesti 4-20mA virran avulla. Ultraäänianturit voivat joko mitata etäisyyttä jatkuvasti, tai ne voidaan ohjelmoida tunnistamaan vain tiettyjä etäisyyksiä. Ultraääniantureilla voidaan mitata kovia sekä nestemäisiä pintoja, mikä tekee niistä monipuolisia antureita. (Pepperl+Fuchs n.d.)

### 3.3 Konenäkö

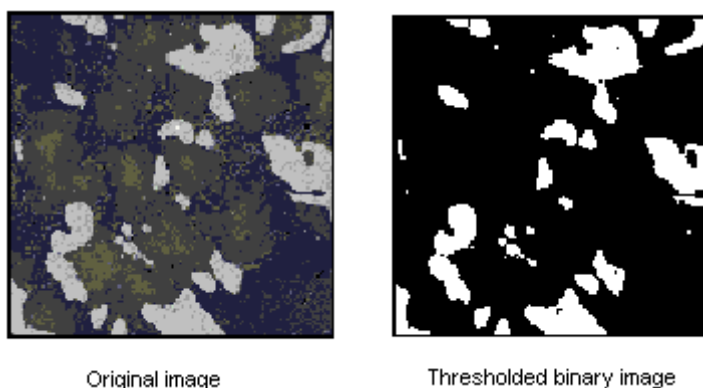
Konenäköjärjestelmä toteutetaan kameratekniikalla ja tietokoneohjelmistoilla. Sen avulla voidaan tunnistaa kappaleita ja hahmoja. Robottisoveluksissa konenäköä käytetään kappaleen tai kohteen sijainnin määrittämiseen, jossa translaatio (x, y, z) ja orientaatio (roll, pitch, yaw) mitataan. Konenäköjärjestelmää voidaan käyttää myös kohteen tunnistukseen tai luokitteluun laadun, muodon, värin, tunnisteiden, koon tai kohteen tekstin perusteella sekä kohteen mittaukseen robotin liikeohjelman luomiseksi tai muokkaamiseksi. (Aalto ym. 1999, 56.)

Konenäköjärjestelmä muodostuu neljästä kokonaisuudesta: kuvan muodostus, kuvakaappaus, kuvankäsittely ja ohjausjärjestelmä. Konenäköä voivat tukea muut robotin anturit, mutta ne eivät ole sen varsinaisia osia. Kuvan muodostetaan linseillä, kameralla sekä valoherkällä ilmaisimella. Kameraan muodostuva kuva projisoidaan linssien läpi. Kuvan laatu ja siitä erottuvat yksityiskohdat riippuvat linssin laadusta. Linssivirheet vaikeuttavat kuvankäsittelyn avulla tehtävää mittauksia ja paikannusta. Kun virheet tunnetaan, niiden vaikutukset voidaan poistaa laskennallisesti. (Aalto-Yliopisto Teknillinen Korkeakoulu n.d.)

Konenäköön käytettävän kamerasen ominaisuuksissa korostuu kyky tarkkoihin mittauksiin tai kyky havainnoida nopeasti liikkuvaa kohdetta. Kameran tärkein komponentti on valoherkkä kenno, jolla kameralle tuleva valo muutetaan digitaaliseen muotoon. Kenno muodostuu valoherkistä pisteistä, joihin osuva valo luo varauksen. Pisteiden jännite mitataan ja muunnetaan digitaaliseen muotoon A/D-muuntimella. (Aalto-Yliopisto Teknillinen Korkeakoulu n.d. ; Opetushallitus n.d.)

Yleisimmin ovat käytössä CCD- ja CMOS-kennot. Niiden erona on teknologia, jolla valoherkän pisteen varaus muunnetaan digitaaliseen muotoon. CCD-kennoissa varaus mitataan yksittäisessä pisteessä, josta niitä siirretään sarakeittain lukualueelle mitattavaksi, kun taas CMOS-kennolla jokainen mittauspiste sisältää oman muuntimen. CCD-kennon etuna CMOS-kennoon on pienempi kohina, parempi valoherkkyys ja yksinkertaisempi rakenne. Haittana on hitaampi toiminta ja suurempi virrankulutus. CCD-kenno soveltuu kohteisiin, jossa kuvanlaatu on ratkaisevampi kuin nopeus. Kehitys on painottunut CMOS-kennoihin, joten todennäköisesti ne tulevat yleistymään myös korkeaa kuvanlaatua edellyttävissä sovelluksissa. (Edmund Optics n.d. ; Davies 2012, 732-735.)

Kuvankäsittelyssä kuvasta etsitään järjestettävän toiminnan kannalta keskeistä informaatiota. Yleensä käytetään harmaasävykuvia, koska ne ovat valoherkempiä ja niiden sisältämä datamäärä on pienempi kuin värikuvien. Käytettävän kuvan laatua voidaan parantaa suodattamalla siitä pois tarpeetonta tietoa tai siitä voidaan erottaa pienempiä osa-alueita tarkempaan analysointiin. Kuvassa olevaa informaatiota voidaan muokata analyysialgoritmeille helpommin käsiteltäväksi tai sen ominaisuuksia tai siinä olevien esineiden piirteitä voidaan korostaa erilaisilla suodinoperaatioilla. Kuvan informaatioisisältöä voidaan yksinkertaistaa binärisoimalla. Se tehdään vertaamalla kuvapisteen kirkkausarvoa kynnsarvoon. Vertailuarvon perusteella kuvapisteelle annetaan joko arvo päällä (ON) tai pois (OFF) esimerkiksi ON-pikseli voi tarkoittaa kuvassa mustaa pikseliä ja OFF-pikseli valkoista (katso kuva 4.). Kynnsarvon avulla tapahtuva binärisointi on herkkä valaistuksen muutokselle. (Davies 2012, 84-91.)



Kuva 6. Binäärimuutoksella käsitelty kuva (National Instruments 2016).

Kuvan laatuun vaikuttaa myös kuvauskohteen valaistus. Kohteen valaistuksen säilyessä muuttumattomana myös kuvankäsittely helpottuu. Hyvin toteutettu valaistus tekee kuvasta mahdollisimman yksinkertaisen, mutta tuo esiin riittävän informaation tehtävän suorittamiseksi. Suora valaistus tuottaa terävät varjot ja epätasaisen valaistuksen kohdepinnalle. Epäsuoravalistus ei ole niin kirkas kuin suora, mutta tuottaa tasaisen valon koko pinnalle ja vähentää varjoja. Taustavalolla saadaan kappaleen ulkoreunat selkeästi esille ja välkkyvällä valolla voidaan kuvassa pysäyttää kohteen liike. (Aalto-Yliopisto Teknillinen Korkeakoulu n.d.)

## 4 ROBOTISOLU

Robottisolu (kuvassa 7.) on Fastems Oy:n vuonna 2011 toimittama järjestelmä Tacchella Crossflex hiontakoneeseen. Soluun kuuluu hiontakoneen lisäksi robotti, joka vaihtaa hiontakoneeseen automaattisesti kappaleita käyttäen apunaan konenäköä, sekä ultraäänianturia.



Kuva 7. Robottisolu (Oma kuva 2017).

#### 4.1 Robotti

Työssä tutkittavassa solussa on FANUC:n 6-akselinen R2000/b 165f robotti. Sen ohjaus on toteutettu FANUC System r-30iA ohjainyksiköllä. Robotti pystyy käsittelemään 165kg kuormia 0,2mm tarkkuudella, ilman työkalua robotti ulottuu 2655mm päähän. Ulottuvuutta voidaan lisätä työkalun avulla. Robotti voidaan ohjelmoida paikallisesti ohjainyksikköön kytketyllä käsiohjaimella tai etänä käyttäen siihen suunniteltuja tietokoneohjelmia. (FANUC n.d.)

Tutkitussa solussa robottiin on kiinnitetty työkaluksi Tecnomagnete:n MaxX 250 magneettitarttujaa, jota se pystyy ohjaamaan päälle ja pois Pulmek Automationsin mekaanis-pneumaattisella koneistolla. Magneettitarttujalla saadaan hyvä ja pitävä ote solussa valmistettavista magneettisista kappaleista. Robotin työkalupäähän on myös kiinnitetty SICK UM18 ultraäänianturi, joka pystyy mittaamaan kappaleen etäisyyttä 30-250mm päästä. Työkalupäässä on kiinni myös Sonyn valmistama XC-56 kamera, jossa on kiinni Pentax 4,8mm f1/8 linssi. Ne ovat osa solussa olevaa konenäkö järjestelmää. Konenäköä käytetään apuna pystyssä olevien aihoiden haussa. Sillä paikannetaan aihoiden orientaatio ja työkalun asentoa säädetään siltä saatavan informaation mukaan. Konenäön ohjelmistona käytetään FANUC:n kuvaus ohjelmaa, jota pystytään ohjaamaan tietokoneen graafisella käyttöliittymällä. (SICK n.d.)

## 4.2 Lavat

Solun ohjelmisto on suunniteltu siten, että riippuen työstettävästä kappaleesta solussa on käytössä kappaleen paikoitusta varten lovitetut matriisilavat tai tasaiset lavat. Matriisilavoja käytetään kappaleilla, jotka eivät pysy lavalla kunnolla pystyssä. Tasaiselle lavalle lavataan pystyssä pysyvät kappaleet säännölliseen matriisimuotoon. Matriisilavalla kappaleiden maksimimäärä lavalla on 18 kappaletta. Yhdelle tasaiselle lavalle mahtuvien kappaleiden maksimi määrä riippuu kappaleiden halkaisijasta. Pystyssä lavattuja kappaleita voidaan myös ajaa lovitetulla lavalla. Solussa on paikat neljälle lavalle ja ne on merkitty metallisin paikoituskulmin, jotta lavojen nollapisteeet ovat kohdallaan. Vaakalavauksessa jokaisessa lavassa on mahdollista olla aihiota. Pystylavauksessa yhden lavan pitää olla alussa tyhjä, sillä robotti lavaa tyhjälle lavalle valmiit työstetyt kappaleet.

Soluun on myös liitetty näyttöpaneeli, joka on yhdistetty robotin ohjausyksikköön. Näyttöpaneelin graafisen käyttöliittymän avulla robotille voidaan määrittää aktiiviset lavat ja, kappaleiden määrät lavalla. Sillä pystytään myös pysäyttämään ja käynnistämään robotin kierto. Näytöltä näkee lisäksi, kuinka monta kappaletta robotti on tehnyt sarjasta ja kuinka monta siitä on vielä jäljellä.

## 4.3 Väliasema

Väliasema (katso kuva 8.) on paikka, johon aihiot ja kappaleet viedään odottamaan seuraavaa vaihetta. Väliasemassa aihioille tehdään lopullinen paikoitus, sillä lavauksessa aihiot eivät välttämättä ole olleet oikeassa kohtaan. Paikoituksen tarkoituksena on taata, että kappaleet ovat kohdassa, josta robotti osaa hakea ne. Vaakaan lavatut aihiot paikoitetaan työntämällä niitä niiden päistä telineellä tasaus kohtaan. Pystyyn lavattujen aihoiden orientaatio tarkastetaan väliaseman ylätasolla, jossa robotin kenenäköjärjestelmä ottaa kuvan aihioista ja vertaa sitä määriteltyihin tietoihin. Jos aihion orientaatio on 0,8 asteen sisällä vertailuarvosta robotti antaa kappaleen olla, muuten robotti tekee aihiolle pieniä korjausliikkeitä. Robotti kääntää työkalunsa aihion kanssa samaan kulmaan ja nostaa sen ilmaan, jonka jälkeen robotti kääntää työkalun sen alkuperäiseen asentoon. Tämän jälkeen robotti tarkistaa aihion orientaation ja toistaa saman liikkeen maksimissaan viisi kertaa. Jos viidennen käännöksen jälkeen aihio ei vielä ole kohdillaan, lopettaa robotti sen kääntelyn, pysähtyy ja ilmoittaa siitä hälytyksellä.



Kuva 8. Väliasema (Oma kuva 2017).

Robotti tuo väliasemaan myös valmiit kappaleet odottamaan, kunnes ne viedään siitä takaisin lavalle. Valmiita kappaleita ei tarvitse enää paikoittaa, sillä robotti on hakenut kappaleet koneesta ja tietää näin niiden sijainnin.

#### 4.4 Hiomakone

Solussa on Tacchella Machine Crossflex pyöröhiontakone, jossa on 100mm leveä hiontakivi. Koneella on mahdollista hioa hiontakiven tasaiseen pintaan nähden kohtisuoria pyöreitä pintoja, sekä siihen nähden 90 asteen kulmassa olevia tasaisia pintoja.

Koneen sisällä on kaksi pylkkää, yksi molemmilla puolilla. Kummassakin pylkässä on oma kärki, joka voidaan vaihtaa riippuen kappaleesta, jota hiotaan. Tarvittaessa toisessa pylkässä on myös mahdollista käyttää pakkaan, johon saadaan muut kappaleet kiinni. Molemmat pylkät ovat siirrettävissä, mutta vain vasemmanpuoleista siirretään tarpeen vaatiessa, kun kappaleen asetusta tehdään. Oikealla olevassa pylkästä voidaan säätää korjaimella asetetun kappaleen suoruutta. Hiottavan kappaleen pyöriminen hiontakiven mukana estetään asettamalla kappaleeseen veto, joka pyörittää kappaletta kiven kanssa samaan suuntaan.

Koneelle tehdään ohjelmat käyttäen koneessa olevaa järjestelmää. Ohjelmat voidaan tallentaa koneen muistiin, jolloin kappaleiden kohdalla ei tarvitse tehdä uusia ohjelmia vaan ne voi valita listasta. Järjestelmä toimii Siemens Sinumerik 840D powerline käyttöjärjestelmää, jonka päällä on T.O.P Tacchella käyttöliittymä.



## 5 HÄIRIÖT

Tarkastelemalla robottisolun toimintaa ja haastatteleamalla robottisolun parissa työskenteleviä operaattoreita selvitin, minkälaisia häiriöitä robottisolussa ilmenee. Yleisin häiriö solussa oli hiomakoneen ilmoitus, että kärjet eivät olleet menneet kiinni. Tämä johtui pääasiassa siitä, että aihio oli tullut väärässä asennossa koneeseen, jolloin koneen vetotappi ei ollut osunut kappaleen vetoreikään tai muuhun ennalta valittuun kohtaan. Aihio väärään asentoon vaikuttivat eri syyt, riippuen siitä oliko aihiot ladattu lavalle vaaka- tai pystypäin. (Koivisto & Maula, haastattelu 18.9.2017.)

Vaakalavauksessa aihiot haettiin lavalta käyttäen valmiiksi laskettuja aihio paikkoja. Aihio saattoi pyörähtää hieman, kun robotti haki aihion lavalta. Koska aihio oli pyörähtänyt noston aikana vetoreikä ei ollut enää siinä kohtaa missä sen piti olla. Kun aihio vietiin koneeseen ei vetotappi osunut kohdalleen (katso kuva 9.), jolloin koneen kärjet eivät pystyneet sulkeutumaan ja kone pysähtyi. Hiomakoneessa käytetään vetotappia, jotta aihio ei pyöri hiomakiven mukana ja hiontajälki on hyvä. (Maula, haastattelu 18.9.2017.)



Kuva 9. Häiriö kuva koneessa (Oma kuva 2017).

Pystylavauksessa aihiot haettiin lavalta käyttäen valmiiksi laskettuja pisteitä, johon lisättiin korjain, jonka arvot laskettiin konenäön avulla. Välillä robotti pysähtyi paikantaessaan aihiota, jos konenäkö ei löytänyt aihiota kuvasta. Tähän vaikuttivat kameralle asetettu pitkä valotusaika, jolloin ikkunoista paistava auringonvalo tai ohiajavan sähkötrukin valot ylivalottivat

kuvan. Valotusaika oli pitkä, jotta kameralla saatiin tarpeeksi selkeä kuva, josta konenäkö pystyi tunnistamaan kappaleen.

Lavalta haun jälkeen kappale vietiin väliasemalle, jossa robotti tarkasti konenäön avulla aihion asennon ja korjasi sitä tarvittaessa. Aihion asentoa ei pystynyt korjaamaan, jos konenäkö ei löytänyt määritettyjä referenssipisteitä kuvasta. Tässä tilanteessa robotti käänsi aihiota referenssipisteiden löytämiseksi. Se toisti yrityksen viisi kertaa ja jos pisteiden tunnistus ei onnistunut, robotti pysähtyi ja ilmoitti siitä hälytyksellä. Robotin viedessä valmiita kappaleita lavalle magneetti vapautettiin ennen kuin kappaleet olivat lavassa kiinni. Silloin kappaleet tippuivat lavalle ja osa niistä saattoi kaatua.

## 6 HÄIRIÖIDEN KORJAUS

Muutoksissa keskityttiin vaaka- ja pystypaikannuksessa sekä väliasemassa ilmenevien häiriöiden korjaamiseen. Korjaukset pyrittiin tekemään robotin ohjelmamuutoksilla sekä vähäisillä fyysisillä muokkauksilla. Tehtyjen muutoksien vaikutuksia seurattiin kysymällä koneen operaattoreiden havaintoja. Niiden perusteella voitiin todeta, että automaatioajossa ilmenevät häiriöt olivat vähentyneet noin kolmanneksella. Tarkempien tulosten saamiseksi seurantaa tulisi jatkaa.

### 6.1 Vaakapaikannus

Häiriöitä tarkastellessa huomattiin, että jos lava oli vähänkin eri paikassa suhteessa robotin laskennalliseen hakupisteeseen, niin aihio pyörähti sitä haettaessa. Tarkastettaessa robotin koodia huomattiin myös, että robottiin kiinnitetty magneettipää aktivoitui muutama sentti ennen kuin se oli aihiossa kiinni. Koska magneetin aktivoitui liian aikaisin, niin magneetti nosti kevyemmät ahiot irti lavasta ennen kuin magneetti oli hakupisteessä. Liian aikainen nosto lisäsi kevyempien kappaleiden pyörähdystä. Kappaleidein hakua muutettiin siten, että jokainen aihio paikannettiin lavalta ultraäänianturin avulla. Muutoksen seurauksen aihio oli erittäin todennäköisesti magneetin pyöreiden kappaleiden paikoitusta helpottavan uran keskellä ja aihio ei pyörähtänyt nostossa niin helposti kuin aikaisemmin.

Aihioiden paikannuksessa käytettiin hyödyksi robotin ohjelman aikaisemman version tapaa laskea hakupisteet. Ne oli laskettu offset-muuttuja avulla kappalemäärien perusteella. Paikannusta kehitettiin lisäämällä aihion reunojen paikannuksen, joka on kuvattu seuraavassa kappaleessa.

Aihion tarkennettu paikannus alkaa robotin tulesa laskettuun hakupisteeseen. Siinä se tallentaa sijaintinsa paikkatietorekisteriinsä (tässä piste A)

sekä ultraäänianturin mittaaman etäisyydestä hakupisteestä tietorekisteriin. Etäisyydestä lisätään viisi millimetriä, jolloin siitä saadaan vertailuarvo, ja se tallennetaan tietorekisteriin. Vertailutiedon avulla robotti pystyy paikantamaan vaakasuunnassa olevan pyöreän kappaleen kyljistä pisteet, joiden avulla se voi laskea aihion keskikohdan. Lasketusta hakupisteestä robotti liikkuu lineaarisella liikkeellä kappaleen säteen suuntaan. Robotin liike on määritelty robotinkoordinaatistossa siten että, robotti liikkuu lavauksen y-akselin negatiivisessa suunnassa niin kauan, kunnes ultraäänianturin mitta-arvo ylittää aikaisemmin tallennetun vertailuarvon. Vertailuarvon täytyessä robotti pysähtyy. Pysähtyttyään se tallettaa paikkatiedon (piste B) paikkatietorekisteriin. Sen jälkeen se ja liikkuu takaisin ensimmäiseen tallennettuun haun alkupisteeseen (piste A). Kun robotti on palanut haun alkupisteeseen se toistaa aikaisemmin tekemänsä liikkeen, mutta tällä kertaa y-akselin positiiviseen suuntaan ja tallettaa pysähtyttyään paikkatiedon (piste C) paikkatietorekisteriin. Kun robotti on hakenut aihion toisenkin reunan pisteen, se laskee pisteiden keskiarvon, josta se saa uuden hakupisteen (piste D) koordinaatit ja liikkuu uuteen laskettuun pisteeseen (piste D). Liikuttuaan laskettuun pisteeseen (piste D) robotti tallettaa uuden paikkatiedon paikkatietorekisteriin, näin siitä tulee uusi hakupiste (piste A). Sen jälkeen robotti aloittaa aikaisemmin kuvaillun haun uudestaan ja suorittaa sen kuusi kertaa. Hakupiste määritetään sen takia kuusi kertaa, koska testatessa huomattiin, että anturi saattoi antaa pyöreästä reunasta väärän mittatiedon hetkellisesti ja mittauksen toistomäärien kasvaessa yhden mittavirheen vaikutus on pienempi.

Testatessa ohjelman muutoksia huomattiin lisäksi, että robotti ei löytänyt aihion reunoja, jos lava oli jätetty yli 30 millimetrin päähän sen määritellystä kohdasta. Ohjelmaan päätettiin lisätä tästä hälytys, jotta koneenoperaattori pystyi korjaamaan lavan sijainnin. Hälytys ilmenee solussa olevan keltaisen liikennevalon syttyessä. Valon huomattuaan operaattori ottaa käsiohjaimen käteen, jossa näkyvä viesti kehottaa tarkastamaan aihoiden määrän, sekä robotintyökalun sijainnin. Operaattori pystyy kuitaamaan hälytyksen painamalla start-painiketta robotin ohjausyksiköstä. Hälytys toimii myös siinä tapauksessa, jos koneenoperaattori on syöttänyt kappaleetiedot väärin ohjelmaan.

Jokaisen nivelen servomoottorin hetkellisiä vääntömomenteja tutkimalla ohjelmoitiin ”tuntoaisti”. Vääntöarvot löytyvät systeemimuuttujista (system variable) joita robotti hyödyntää esimerkiksi omassa törmäystunnistuksessaan. Ohjelmalla pystytään estämään, ettei magneettia aktivoida liian aikaisin vaan vasta silloin, kun magneetti on kiinni aihiossa. Kun robotti on suorittanut hakupisteen viimeisen paikannuksen, käynnistetään ”tuntoaisti” ohjelma ja robotti liikkuu z-akselin negatiivisessa suunnassa (alaspäin), kunnes asetettu momenttiehto täyttyy ja robotti pysähtyy. Robotin magneetti aktivoidaan ja robotti liikkuu haunlopetuspisteeseen ja nostaa aihion mukaansa.

## 6.2 Pystypaikannus

Ylivalottuneista kuvista johtuneista pysähtymisistä pyrittiin pääsemään eroon poistamalla lavalta-haussa kamera käyttö ja korvaamalla se reunoja tunnistavalla haulilla ultraäänianturin avulla. Toimintaperiaate on perusidealtaan samantyylinen kuin aikaisemmin tehdyssä vaakahaussa.

Robotti liikkuu offset-nollapisteestä kappalemäärän mukaan laskettuun hakupisteeseen (piste E) ja pysähtyy. Tämän jälkeen se liikkuu robotin x-akselin negatiivisessa suunnassa ja vertaa ultraäänianturin arvoa ennalta määritettyyn vertailuarvoon, ja tämän ylittyessä robotti pysähtyy. Pysähdyttyään se tallettaa sijaintinsa (piste F) paikkatietorekisteriin ja lisää paikkatiedon x-arvoon kappaleen säteen arvon ja liikkuu täten laskettuun uuteen pisteeseen (piste G). Anturin vertailuarvo asetetaan siten, että ultraäänianturin arvoon lisätään 50 millimetriä. Näin X-akselin suunta saadaan paikannuttua lähes kappaleen keskelle. Seuraavaksi robotti hakee edelliseen hakuun nähden 90 asteen kulmassa y-akselin suunnan mukaisen sijainnin. Y-akselin suuntainen haku toimii samalla periaatteella kuin x-akselin suuntainen haku. Robotti toistaa reunojen haun toisen kerran, tarkentaakseen aihion keskikohdan paikkatietoa (piste G). Tehtyään haun, robotti kääntää magneetin oikeaan asentoon ja käyttää samaa momenttihaikua apunaan kuin vaakahaussa korkeuden tunnistamiseen. Täten saadaan kappaleen orientaatio xyz-suunnassa korjattua lavauksen paikoitusvirheistä huolimatta ja robotti tarttuu kappaleeseen aina kiinni siten, kun on tarkoituskin.

Valmiiden kappaleiden pystyhaussa huomattiin aikaisemmin, että kappaleet saattoivat kaatua, kun robotti toi niitä lavalle. Se johtui siitä, että robottiin määritelty kappaleiden tuontipiste oli korkeammalla kuin lavan pinta. Tämä johti siihen, että robotti tiputti kappaleen lavalle ja ne saattoivat kaatua. Kappaleiden kaatuminen ratkaistiin käyttämällä apuna momenttiarvoja. Kun valmis kappale tuotiin laskettuun tuontipisteeseen, robotti vertasi mitattua momenttiarvoa ohjelmassa asetettuun arvoon. Robotti laski kappaletta alaspäin negatiivisessa z-akselin suunnassa, kunnes momenttiarvo ylittyi ja robotti pysähtyi. Tämä merkitsi, että kappale on lavan pinnassa. Pysähdyttyään robotti irrottaa magneetin kappaleesta ja nousee ylös. Tämä estää, ettei kappaleita enää tiputeta ilmasta, jolloin ne eivät kaadu niin helposti.

## 6.3 Väliasema

Väliasemaan asennettiin kulmapöytä (katso kuva 10.), jossa on yhden sentin korkeudessa 90 asteen kulmassa oleva reuna. Kulmapöydän lisäyksellä voitiin eliminoida lavalla syntyvä mahdollinen hakuvirhe, aihoiden fyysisellä paikoituksella. Aihiot paikoitetaan kulmapöydän nurkkaan työntämällä niitä vuorotellen vapaina olevista suunnista kaksi kertaa. Työntämällä kappaletta kaksi kertaa taataan, että aihio on pöydän kulmassa. Koska aihio on paikoitettu nurkkaan, tietää robotti aihion tarkansijainnin.

Tällöin robotin on mahdollista kääntää aihiota tarvittaessa, ilman että aihio liikkuu sivuttaissuunnissa. Vanhalla väliasemalla aihiot liikkuvat välillä, kun niitä käännettiin, sillä aihiot eivät olleet aina samassa kohtaa. Kun robotti haki aihioita väliasemasta, ne saattoivat pyörähtää, jos ne eivät olleet oikeassa haku kohdassa. Aihoiden tasaus kulmapöydällä merkitsi sitä, että aihoiden reuna on aihion halkaisijan verran kulmapöydän takareunasta. Tällöin robotti osaa laskea aihoiden uuden sijainnin ja hakea aihion aina oikeasta kohtaa.



Kuva 10. Uusi väliasema (Oma kuva 2017).

Kulmapöydällä tarkistetaan vielä aihion oikea asento kameralla. Robottiin lisättiin valo kameran ympärille. Se valaisee aihion kuvattaessa. Valon luomalla suoralla valaistuksella aihioon pintaan saadaan tasainen valopinta, jonka ansiosta kuvissa ei näy öljyläikkiä. Suoralla valolla aihiossa olevien reikien reunat saadaan myös hyvin esille, jolloin konenäön on helpompi tunnistaa ne kuvasta. Kohdistetulla suoralla valolla kamera valotusaikaa saadaan lyhennettyä, joka auttaa ulkopuolisen valon haitan vähenemiseen. Valon lisäys vaatii jokaisen käytettävän kuvausohjelmien valotusaikojen säätämistä, sillä vanhoilla asetuksilla kuvat ylivalottuvat eikä kone näkö löydä kappaleita kuvista. Asetusten muuttamista varten operaattoreille tehtiin ohjeet, jotka löytyvät liitteestä 1.

## 7 YHTEENVETO

Työn teoriaosuudessa käsiteltiin robotiikan teoriaa siltä osin, kun sitä hyödynnetään Jame-Shaft Oy:n käytössä olevassa robottisolussa. Käytännön

osuudessa kehitettiin robottisolun käytettävyyttä parantamalla aihion paikannusta lavalta sekä paikoitusta väliasemassa. Kehittäminen kohdistui robotin ohjelmistoon, aihion valaistukseen sekä väliaseman fyysisiin muutoksiin. Muutosten vaikutuksia seurattiin omakohtaisilla havainnoilla sekä keskusteluilla koneoperaattoreiden kanssa.

Aihion paikannusta muutettiin lisäämällä kappaleen reunojen tunnistus, jonka perusteella laskettiin aihion hakupiste. Hakupisteen vaakapaikannuksessa robotti tunnistaa paikannettavan aihion reunat kuusi kertaa peräkkäin hakupisteen tarkkuuden parantamiseksi. Hakupisteen pystypaikannuksessa poistettiin konenäön avulla tehty kappaleen paikannus ja se korvattiin ultraäänellä tehtävällä reunojen tunnistuksella. Väliasemassa tehtävää paikoitusta kehitettiin lisäämällä väliasemaan kulmapöytä, jolla aihiot paikoitetaan tarkasti. Konenäöllä tehtävää paikannusta parannettiin lisäämällä kameran ympärille LED-valaisin, joka valaisee aihiota kohtisuoraan. Muutos vakio aihion valaistuksen, joka paransi konenäön varmuutta.

Tehdyillä muutoksilla parannettiin solun käytettävyyttä. Koneen operaattoreiden alustavien havaintojen mukaan häiriötilanteet automaattisessa ajossa ovat vähentyneet noin kolmanneksen. Nykytilanteessa lava on sijoitettavat paikalleen pituussuunnassa 20 millimetrin tarkkuudella. Sivusuunnassa metalliset paikoituskulmat määräävät lavan pääpiirteisen sijainnin, mutta lava voi silti olla vinossa. Aihion paikannuksessa lavalta tehdyt muutokset ottavat huomioon aihion sijainnin muutoksen robotin y-akselin suunnassa. Aihion paikannusta voidaan kehittää edelleen siten, että robotti huomioisi lavan sijainnin suorittamalla aihion haun myös x-akselin suunnassa. Tämä ohjelmistomuutos voisi olla parempi vaihtoehto kuin lavan toistuva tarkka asettaminen paikoituskulmien väliin.

Työn tekeminen on syventänyt ymmärtämystäni robotiikasta ja sen mahdollisuuksista. Robotin ohjelmointi todellisen työtehtävän toteutukseen lisäsi tietämystäni eri antureiden sekä FANUC:in robotin ominaisuuksista. Huomasin, että robotille suunniteltu työtehtävä voidaan toteuttaa monella eri tavalla. Robotin ohjelmoinnissa haasteena on aihoiden vaihteleva koko, sillä ohjelmien on toimittava sekä pienten että suurten kappaleiden kanssa. Tärkeää on kuitenkin se, että robotin tekemä työ etenisi häiriöttä, jotta tuotanto olisi sujuvaa ja ennustettavaa.

## LÄHTEET

Aalto, H., Heilala, J., Hirvelä, T., Kuivanen, R., Laitinen, M., Lehtinen, H., Lempiäinen, J., Lylynoja, A., Renfors, J., Selin, K., Siintoharju, T., Temmes, J., Tuovila, T., Veikkolainen, M., Vihinen, J. & Virtanen, A. (1999). *Robottiikka*. Vantaa: Talentum Oyj/MetalliTekniikka.

Aalto-Yliopisto Teknillinen Korkeakoulu (n.d.) Konenäkö robotin ohjauksessa. Haettu 8.12.2017 osoitteesta [http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c\\_teoria.pdf](http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c_teoria.pdf)

ABB (n.d.). RobotStudio®. Haettu 15.11.2017 osoitteesta <http://new.abb.com/products/robotics/fi/robotstudio>

Davies, E.R. (2012). *Computer & Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities 4*. painos. Waltham USA: Elsevier.

ebah (n.d.). Manual FANUC – J3i B. Haettu 12.12.2017 osoitteesta <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgbrUAA/manual-fanucr-j3i-b?part=3>

Edmund Optics (n.d.). *Imaging Electronics 101: Understanding Camera Sensors for Machine Vision Applications*. Haettu 8.12.2017 osoitteesta <https://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/imaging/understanding-camera-sensors-for-machine-vision-applications/>

FANUC (n.d.). FANUC Robot R-2000iB series. Haettu 15.11.2017 osoitteesta [http://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/robot/R-2000iB\(E\)\\_v08.pdf](http://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/robot/R-2000iB(E)_v08.pdf)

FANUC a (2003). FANUC Robotics SYSTEM R-J3iB Controller KAREL Reference Manual. Haettu 12.12.2017 [http://www.aip-pri-meca.net/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?Command=Core\\_Download&EntryId=147&PortalId=1&TabId=150](http://www.aip-pri-meca.net/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?Command=Core_Download&EntryId=147&PortalId=1&TabId=150)

Finnrobotics Oy (n.d.). Offline ohjelmointi. Haettu 15.11.2017 osoitteesta <http://finnrobotics.fi/suunnittelu/offline-ohjelmointi/>

FLG Automation (n.d.). NC-100FP. Haettu 15.11.2017 osoitteesta <http://flg-automation.de/wp-content/uploads/NC-100FP.jpg>

Gopal, P. (2016). Effects of environment on accuracy of ultrasonic sensor operates in millimetre range. *Perspectives in Science* Volume 8, 574-576.

ISO 8373 (2012). Robots and robotic devices – Vocabulary. ISO. Haettu 7.12.2017 osoitteesta <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>

Jameshaft (2017). Yritys. Haettu 1.12.2017 osoitteesta <http://jameshaft.fi/fi/yritys/>

Jameshaft a (2017). Koneistus. Haettu 1.12.2017 osoitteesta <http://jameshaft.fi/fi/koneistus/>

Jameshaft b (2017). Hiiletyskarkaisu. Haettu 1.12.2017 osoitteesta <http://jameshaft.fi/fi/hiiletyskarkaisu/>

Jameshaft c (2017). Mustanitraus. Haettu 1.12.2017 osoitteesta <http://jameshaft.fi/fi/mustanitraus/>

Jameshaft d (2017). Induktiokarkaisu. Haettu 1.12.2017 osoitteesta <http://jameshaft.fi/fi/induktiokarkaisu/>

Jameshaft e (2017). Uutiskirje Syksy 2017. Haettu 1.12.2017 osoitteesta <http://jameshaft.fi/fi/uutiskirje-syksy-2017>

MachineDesign (2016). What's the Difference Between Industrial Robots. Haettu 15.11.2017 osoitteesta <http://www.machinedesign.com/robotics/what-s-difference-between-industrial-robots>

National Instruments (2016). Thresholding an Image. Haettu 8.12.2017 osoitteesta <http://www.ni.com/tutorial/2916/en/>

Opetushallitus (n.d.). Konenäkö. Haettu 8.12.2017 osoitteesta <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/automaatio/konenako/index.html>

Pepper+Fuchs (n.d.). Ultrasonic Sensors Knowledge (Part 3): Different Operating Modes. Haettu 21.12.2017 osoitteesta <https://www.pepperfuchs.com/global/en/25434.htm>

Tekes (2015). Cimcorp: Uuden sukupolven robotti Suomesta myy maailmalla. Haettu 15.11.2017 osoitteesta <https://www.tekes.fi/tekes/tulokset-ja-vaikutukset/caset/2015/cimcorp-uuden-sukupolven-robotti-suomesta-myy-maailmalla/>

SICK (n.d.). Sensick UM-1811116 UM-1811117 manual. Haettu 11.12.2017 osoitteesta [https://www.sick.com/media/docs/7/97/497/Operating\\_instructions\\_SENSICK\\_UM18\\_11116\\_UM18\\_11117\\_de\\_en\\_IM0012497.pdf](https://www.sick.com/media/docs/7/97/497/Operating_instructions_SENSICK_UM18_11116_UM18_11117_de_en_IM0012497.pdf)



**Haastattelut**

Koivisto, A. (2017). Hioja, Jame-Shaft Oy. Haastattelu 18.9.2017

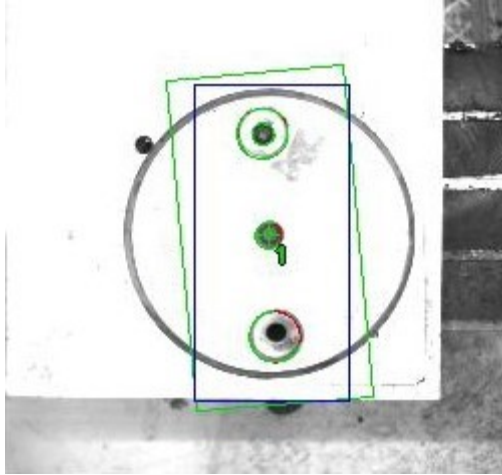
Maula, T. (2017). Hioja, Jame-Shaft Oy. Haastattelu 18.9.2017

Mustonen, P. (2017). Kehitysinsinööri, Jame-Shaft Oy. Haastattelu  
1.12.2017

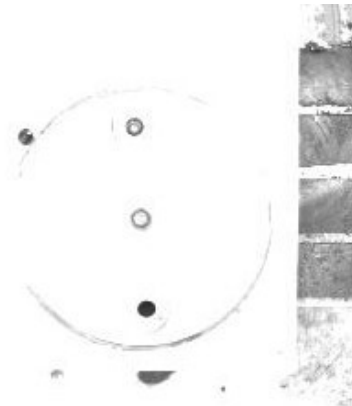
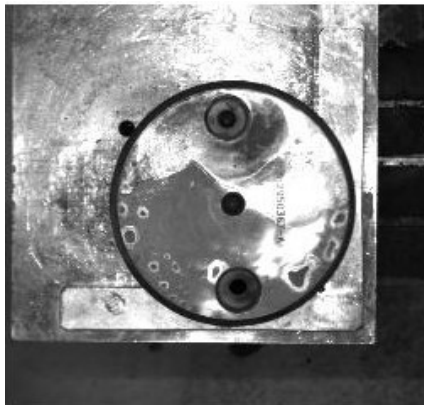
Konenäkö sovelluksen kappaleen asetusten muistilista

### Valotuksen tarkistus

- Hyvä valotus – reunat hyvin esillä, reiät selkeät

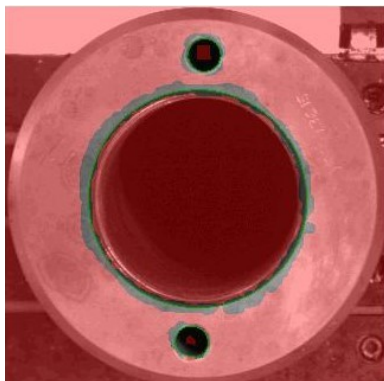


- Huono valotus – alivalottunut (vasemmalla) kuva tumma, reunat ei hyvin esillä, reikien reunat eivät ole selvät: ylivalottunut (oikealla), kuva liian kirkas, reunat eivät näy, reiät eivät teräviä



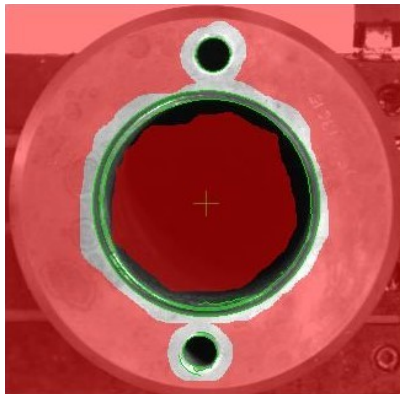
### Etsittävän kuvion rajaus

- Hyvä rajaus – reikien ympäristöt, reunat, muut toistettavat muodot, ei ylimääräisiä viivoja



(haettu toistettavia reunoja)

- Huono rajaus – etsitty kohtia, jotka ei toistu jokaisessa kohtaa: huonosti rajattu alue



(keskeltä haetaan paljon viivoja, joita ei toistu kaikista kappaleista)

### Hakualue

- Hyvä alue – alue tarpeeksi iso, jotta kohdistuspaikat voidaan löytää, vaikka kappale olisi väärin lavattu

