

Antti Heikkilä

HIONTATYÖVAIHEEN AUTOMATISOINTI TUOTANNOSSA

HIONTATYÖVAIHEEN AUTOMATISOINTI TUOTANNOSSA

Antti Heikkilä
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Kone- ja tuotantotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, koneautomaatio

Tekijä: Antti Heikkilä

Opinnäytetyön nimi: Hiontatyövaiheen automatisointi tuotannossa

Työn ohjaaja: Juha Männistö

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2017 Sivumäärä: 55 + 2 liitettä

Työn toimeksiantaja Celermec Oy on Sievissä sijaitseva ohutlevymekaniikkaa ja koneistuspalveluita tarjoava sopimusvalmistaja. Celermec Oy valmistaa myös hitsauskokooppa-
noja ja tekee pulverimaalausta.

Työn tavoitteena oli selvittää menetelmä hionnan automatisoimiseksi. Menetelmä on kohdennettu yhdelle tuoteperheelle. Tuotteesta hiotaan ja viimeistellään hitsauksessa syntyvä kupu, minkä jälkeen tuote maalataan. Jotta tuotteet voidaan asettaa julkiselle paikalle, pinnanlaadun ja maalipinnan on vastattava korkeita laatuvaatimuksia. Hionnan automatisoinnilla pyritään ensisijaisesti parantamaan tuotteiden laatua.

Työssä tarvittavan teorian tutkimiseksi oli tehtävä rajauksia tuotantomenetelmään. Rajaus-
ten tekemiseksi apuna käytettiin osatoimintoihin jakoa, mikä helpotti ratkaisuvaihtoehtojen
miettimistä. Ratkaisujen rajaamisessa käytettiin apuna asiantuntijoiden haastatteluja, joi-
den pohjalta hiova robottijärjestelmä todettiin parhaaksi vaihtoehdoksi. Tuotantomenetel-
män rajaus mahdollisti hiovaan robottijärjestelmään liittyvän teorian tutkimisen. Teoria
muodostuu hionnasta, teollisuusrobotiikasta ja voimaohjauksesta.

Onnistuneessa hionnassa oikean työkalun ja hiomalaikan valinta ja hiojan ammattitaito rat-
kaisevat työn laadun. Teollisuusrobottiratkaisu toteutuksessa pitää huomioida suojauksen,
kappaleen käsittelyn, työkalun, ohjauksen ja ohjelmoinnin suunnittelu. Voimanohjauksen
avulla robotisoidussa hionnassa voidaan saavuttaa hyvä pinnanlaatu. Voimanohjauksen
idea on pitää pintapaine vakiona työstettävän pinnan ja hiontamedian välillä. Se onnistuu
joko adaptiivisella ohjauksella tai robotin päähän kiinnitetyllä joustavalla lisäakselilla.

Työ esittelee joustavia lisäakseliratkaisuja, joiden avulla robotisoitu hionta on mahdollista
toteuttaa. Ratkaisu kannattaa toteuttaa 20 - 40 kg:n käsittelykyvyn omaavalla käsivarsiro-
botilla, jonka päähän kiinnitetään jouston tuova lisäakseli. Lisäakseliin kiinnitetään esimer-
kiksi robottikara ja hiova työkalu. Karan käyttövoimaksi kannattaa valita paineilma, jolloin
robottijärjestelmä saadaan mahdollisimman keveäksi. Hiontamedia kannattaa kiinnittää pi-
kakiinnittimen avulla robottikaraan, sillä se mahdollistaa joustavan työkalun vaihdon.

Asiasanat: teollisuusautomaatio, robotiikka, voimaohjaus, lastuava työstö, hionta

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 HIONNAN AUTOMATISOINTI	7
2.1 Hionta	7
2.1.1 Käsin hionta	8
2.1.2 Hiomalaikat	9
2.2 Teollisuusrobotiikka	14
2.2.1 Mekaaniset rakenteet	14
2.2.2 Robottityypit	14
2.2.3 Toimilaitteet	18
2.2.4 Työkalut ja tarraimet	19
2.2.5 Ohjausjärjestelmä	20
2.2.6 Ohjelmointi	20
2.2.7 Oheislaitteet	23
2.2.8 Suojalaitteet	24
2.3 Voimaohjauksen perusteet	26
2.3.1 Adaptiivinen ohjaus	26
2.3.2 Muut menetelmät	28
2.3.3 Joustavat työkalut	29
2.3.4 Voimaohjauksen ohjelmointi	33
2.4 Robottijärjestelmän suunnittelu	34
2.5 Robottiturvallisuus	35
3 HIONTATYÖVAIHEEN AUTOMATISOINNIN KOMPONENTIT	37
3.1 Automatisoinnin tavoitteet	37
3.2 Lähtötilanne	37
3.3 Työn rajaukset	37
3.3.1 Ratkaisuvaihtoehdon rajaus	38
3.3.2 Prosessin rajaus	39
3.4 Teollisuusrobotin valinta	39

3.4.1 Perustelut vaihtoehdoille	39
3.4.2 Robottivaihtoehdot	40
3.5 Työkaluvaihtoehdot	42
3.5.1 Joustava lisäakseli	42
3.5.2 Moottori ja lisälaitteet	46
3.6 Soluesimerkki	48
3.6.1 Kappaleen kiinnitys ja käsittely	49
3.6.2 Suojaus	49
4 YHTEENVETO	50
LÄHTEET	53
LIITTEET	
Liite 1 Tarjouspyyntö hiomalaitteista	
Liite 2 Active Contact Flange datasheet	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö kartoittaa mahdollisuuksia hionnatyövaiheen automatisoimiseksi. Ratkaisun etsiminen on kohdistettu yhdelle tuoteperheelle. Tuoteperhe valmistetaan alumiinista. Alumiiniset kappaleet hitsataan yhteen, minkä jälkeen näkyvät hitsikuvut hiotaan perusaineen tasalle ja viimeistellään maalausta varten. Tuotteiden loppusijoitus on julkinen paikka, joten tuotteilla on tiukat laatuvaatimukset. Työn toimeksiantaja on Celermec Oy.

Celermec Oy on vuonna 1997 perustettu ohutlevymekaniikan sopimusvalmistajaksi. Vuonna 2001 yrityskaupan myötä palvelutarjontaan tulivat koneistuspalvelut. Palvelu kattaa yksittäiset kappaleet ja kokoonpanot. Yrityksen toimenkuvaan kuuluvat myös hitsaus ja pulverimaalaus. Yhteistyöverkoston kautta Celermec tarjoaa palveluita kuten elektrolyyttinen pinnankäsittely ja silkipaino. (Celermec, linkki Yritysesittely.)

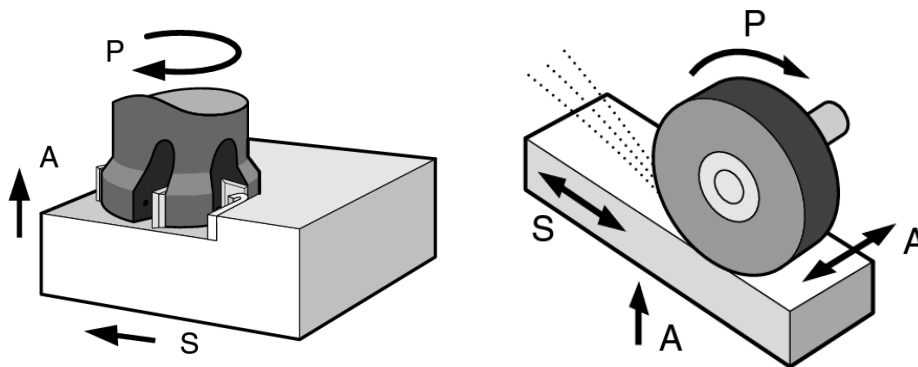
Hionnan automatisoinnissa on monta haastetta. Työn tavoitteina on löytää menetelmä hionnan automatisoimiseksi sekä selvittää automatisoinnissa huomiotavat asiat ja hionnan automatisoinnin kannattavuus.

2 HIONNAN AUTOMATISOINTI

2.1 Hionta

Hionta on lastuavan työn menetelmiä. Työstettävän kappaleen materiaalin tulee olla pehmeämpää kuin työkalun materiaalin. Lastun irrottaminen tapahtuu kolmen liikkeen avulla, lastuamis-, asetus- ja syöttöliikkeen. (Maaranen 2012, 16.)

Lastuamisliikkeen tekee joko työkalu tai työkalu, riippuen työstömenetelmästä. Lastuamisliike (kuva 1, kohta P) on lastunirroituksen suuntainen, ja sen mittana on lastuamisnopeus. Lastuamisnopeuden mittasuurena käytetään joko m/min tai m/s. Asetusliikkeellä määritetään lastuamisen syvyys (kuva 1, kohta A) millimetreinä. Syöttöliikkeessä terä liikkuu työkalun pinnalla. Syötön (kuva 1, kohta S) mittayksikkö työstötavan mukaan on mm/r tai mm/min. (Maaranen 2012, 16.)



KUVA 1. Lastuavat liikkeet hionnassa ja otsajyrsinnässä (Maaranen 2007, 12)

Hionnassa lastuava terä muodostuu hiomajyväsistä, joiden muoto on geometrisesti epämääräinen. Hiontaa suoritetaan yleensä pyörivällä hiomalaikalla. Hiomalaikassa rakeet on sidottu sideaineen välityksellä laikkaan kiinni. Laikan koskettaessa syöttöliikkeen vaikutuksesta työkalun pinta rakeet irrottavat kappaleen pinnasta pieniä lastuja. Hionta eroaa muista lastuavista menetelmistä sen lastuavien terien eli hiomarakeiden määrässä. (Ihalainen – Aaltonen – Aromäki – Sihvonen 1998, 197.)

2.1.1 Käsien hionta

Käsihiomakoneita käytetään levy- ja teräsrakenteiden sekä valukappaleiden rouhinta-, sovitus- ja puhdistushiontaan. Käsihiomakoneiden käyttövoima on joko sähkö tai paineilma. Sähkökäyttöisten koneiden etu on käyttövoiman saavuus. Paineilmalla toimivat laitteet ovat keveitä, käyttövarmoja ja niissä on portaaton säätömahdollisuus. (Maaranen 2012, 92.)

Käsihiomakoneilla hiojan rooli korostuu, sillä asetus- ja syöttöliikkeet tekevät hioja. Hiomalaikka tekee pää- eli leikkuuliikkeen. Onnistunut käsin hionta vaatii silmien ja käsien hyvää yhteistyötä, joka on mahdollista saavuttaa työkokemuksen kautta. (Maaranen 2012, 93.)

Suorissa hiomakoneissa moottorin akselia on jatkettu ja se on suojattu metallisella kotelolla. Hiomalaikka kiinnitetään jatketulle akselille. Koneiden pyörimisnopeus tavallisesti on 3 000 - 7 200 rpm tähän vaikuttavat koneen malli ja suurin sallittu laikkakoko. (Maaranen 2012, 92.) (Kuva 2.)



KUVA 2. Suorahiomakone GD0801C (Makita, linkit Koneet -> Metallintyöstö -> Suorahiomakoneet)

Kulmahiomakoneessa moottorin akseli on 90°:n kulmassa kulmahiomakoneen hiomalaikkaan nähden. Koneiden pyörimisnopeus on normaalisti 7 200 - 12 000 rpm. Koneeseen voidaan kiinnittää napa- tai katkaisulaikkoja ja erilaisia puhdistus- ja kiillotuslaikkoja. (Maaranen 2012, 92.) (Kuva 3.)



KUVA 3. Kulmahiomakone GA6040F01 (Makita, linkit Koneet -> Metallintyöstö -> Kulmahiomakoneet-> Kulmahiomakoneet 150 mm)










Karahiomakone on myös suorahiomakone. Koneessa voidaan käyttää hionta-työkalujen lisäksi pikateräs- ja kovametallijyrsimiä, kuten pyöriviä viiloja. Karahiomakoneet soveltuvat kevyeen hiontaan ja vähäiseen aineenpoistoon. Karahiomakoneet ovat käytännöllisiä, muun muassa purseiden poistoon koneistetuista kappaleista. (Maaranen 2012, 93.) (Kuva 4.)



KUVA 4. Karahiomakone raskaaseen teollisuuskäyttöön GS5000 (Makita, linkit Koneet -> Metallintyöstö -> Suorahiomakoneet)

2.1.2 Hiomalaikat

Hionnassa lastun irrottaa hiomalaikka. Hiomalaikka koostuu hiomajyväsistä, si-deaineesta joka sitoo hiomajyväset ja jyvien väliin jäävistä huokosista. Hiomalaikan geometrinen muoto valitaan käyttötarkoituksen mukaan. (Kuva 5.) (Maaranen 2012, 94.)

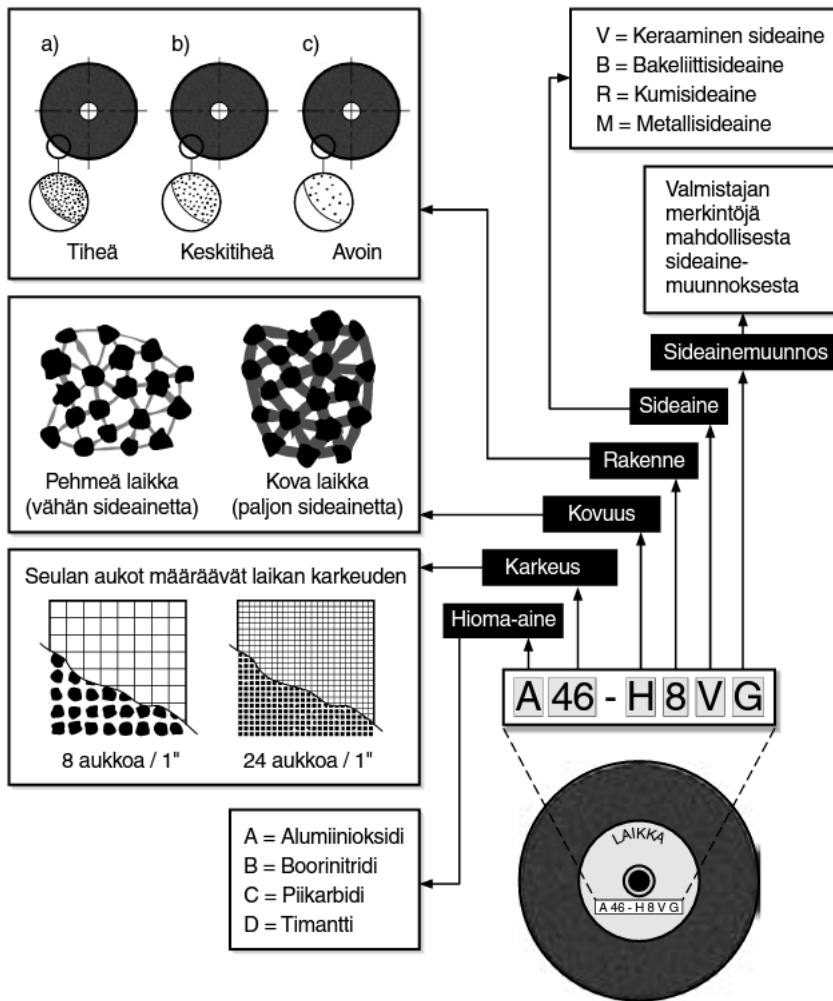
Laikkatyyppi	Esimerkkejä käyttökohteista	
 Suora laikka	Penkkihiomakoneet Suorat käsihiomakoneet	Työkaluhiomakoneet Tasohiomakoneet
 Syvennetty suora laikka	Penkkihiomakoneet Työkaluhiomakoneet	
 Suora kuppilaikka	Penkkihiomakoneet Työkaluhiomakoneet	Tasohiomakoneet
 Kartiomainen kuppilaikka	Työkaluhiomakoneet Tasohiomakoneet	Kulmahiomakoneet
 Lautaslaikka	Työkaluhiomakoneet	
 Katkaisulaikka	Kulmahiomakoneet	
 Napalaikka	Kulmahiomakoneet	
 Karalaikka	Karahiomakoneet	
 Nauhiomapää	Karahiomakoneet	

KUVA 5. Erilaisia hiomalaikkatyyppejä ja käyttökohteita (Maaranen 2012, 95)

Napalaikoissa hionta tehdään niiden otsapinnalla. Napalaikkoja käytetään esimerkiksi hitsissaumojen hiontaan. (Maaranen 2012, 92.)

Pintojen viimeistelyhiontaa voidaan tehdä käyttäen hiomapaperilaikkoja. Hiomapaperilaikoilla ei voida poistaa suuria ainemääriä, mutta laikka soveltuu hyvin myös kaarevien pintojen puhdistukseen ja viimeistelyyn. (Maaranen 2012, 93.)

Vaatimukset hiontalaikalle ovat työ kohtaisia. Hiontalaikkaa valittaessa tulee huomioida hioma-aine, karkeus, kovuus, rakenne ja sideaine. Hiomalaikasta tulisi löytyä laatumerkinnät, josta selviää laikan ominaisuudet. (Kuva 6.) (Maaranen 2012, 95.)



KUVA 6. Esimerkki hiomalaikan laatumerkinnöistä (Maaranen 2012, 96)

Yleisimpiä hioma-aineita ovat alumiinioksidi, piikarbidi ja timantti. Hioma-aineet merkitään laikkaan kirjaimilla A - D. Piikarbidi sopii alhaisten vetolujuuden omaavien materiaalien hiontaan kuten alumiinin. Laikka on yleensä väriltään vihreä tai harmaa ja merkitään kirjaimella C. (Maaranen 2012, 96.)

Karkeudella kuvataan hiomajyvästen suuruutta, joka ilmoitetaan numerolla. Mitä pienempi numero on, sitä suuremmat hiomajyväset ovat (taulukko 1). Karkea laikka valitaan, kun halutaan suuri hiomateho ja hiomajälki saa olla karkea. Hie-nolla laikalla tavoitellaan hyvää pinnanlaatua kuten viimeistelyhionnassa. (Maaranen 2012, 97.)

TAULUKKO 1. Karkeusluokat ja niitä vastaava numero arvo (Maaranen 2012, 97)

Karkeusluokka	Arvo
Karkea	10, 12, 14, 16, 20, 24
Keskikarkea	30, 36, 46, 54, 60
Hieno	70, 80, 90, 100, 120
Erittäin Hieno	150, 180, 200, 220, 240, 280, 320, 400, 500, 600

Kovuudella tarkoitetaan voimaa, jolla sideaine sitoo hiomajyvät laikkaan kiinni. Jos laikkaan kohdistuu suuri hiontapaine ja sideaine pitää hiomajyvät kiinni, voidaan puhua kovasta laikasta. Yleensä valitaan kova laikka pehmeille aineille ja pehmeä laikka koville aineille (taulukko 2). (Maaranen 2012, 98.)

TAULUKKO 2. Kovuusluokat ja niitä vastaava arvo (Maaranen 2012, 98)

Kovuusluokka	Arvo
Pehmeä	A - H
Keskikova	I - P
Kova	Q - Z

Rakenteella tarkoitetaan hiomajyväten, sideaineen ja välitilan keskinäistä suhdetta. Välitilan ollessa suuri puhutaan avoimesta laikasta. Vastaavasti välitilojen ollessa pieniä laikan rakenne on tiheä. Tiheä laikka valitaan, kun halutaan hyvä

pinnanlaatu, hiottava aine on kova ja hauras sekä kosketuspinta laikan ja kapaleen välillä on pieni. Avoin laikka valitaan pehmeille ja sitkeille materiaaleille. (Taulukko 3.) (Maaranen 2012, 98.)

TAULUKKO 3. Rakenneluokat ja niiden arvot (Maaranen 2012, 98)

Rakenneluokka	Arvo
Tiheä	0 - 3
Keskitiheä	4 - 6
Avoin	7 - 12

Sideaine kertoo, millä materiaalilla jyväset, on sidottu yhteen laikan kanssa. Sideaineet merkitään tavallisimmin kirjaimilla V, B, R, tai M. (Taulukko 4.) (Maaranen 2012, 98.)

TAULUKKO 4. Sideaineet ja niiden käyttökohteet (Maaranen 2012, 98)

Sideaine	Lyhenne	Käyttökohte
Keraaminen sideaine	V	Yleisin sideaine. Käytetään tarkkuushi-onnassa ja kun kehänopeudet pieniä.
Bakeliittisideaine	B	Suuri lujuus ja joustavuus. Sopii hyvin rouhintahiontaan.
Kumisideaine	R	Kun tavoitellaan hyvää pinnanlaatua.
Metallisideaine	M	Käytetään timantti- ja boorinitridi-laikoissa.

2.2 Teollisuusrobotiikka

Standardi ISO 10218 – 1 (2011, 14) määrittelee teollisuusrobotin seuraavasti: ”automaatiosovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja joka voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva.”

Teollisuusrobotiikka on seurausta toisen maailman sodan aiheuttamasta nopeasta tekniikan kehityksestä. Vuonna 1961 syntyi ensimmäinen teollisuusrobotti Unimate, jota General Motors alkoi käyttää kuumien kappaleiden purkamiseen painevalu koneesta. (Stone 2005, 1 - 5.)

Teollisuudessa robotiikka ja automaatio on vienyt jo työpaikkoja. Tämä suunta ei ole muuttumassa. Tekniikalla voidaan korvata raskaat, likaiset ja ihmiselle soveltumattomat työt. Automaatio on yksi tapa vastata kiristyneeseen kilpailuun kansainvälisellä kentällä, koska tuotantoa saadaan tehostettua ja laatua parannettua. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että työ tulee katoamaan, sillä se muuttaa muotoaan. (Hiltunen – Hiltunen 2014, 176; Ventä 2017.)

2.2.1 Mekaaniset rakenteet

Robottien liikkeet synnyttää toimilaitte, yleensä joko moottori tai sylinteri. Toimilaitte on liitetty tukivarsiin. Toimilaitteet liikuttavat tukivarsia joko tietyn suoran suunnassa tai suoran ympäri. Tätä käsitteellistä akselia, jonka mukaan tukivarsien liikkeet syntyvät, kutsutaan yleensä niveleksi. Robotin yksi nivel vastaa yhtä vapausastetta (DOF, degree of freedom). Teollisuusroboteissa vapausasteet ovat kiertyviä tai suorina. (Kuivanen 1999, 15.)

2.2.2 Robottityypit

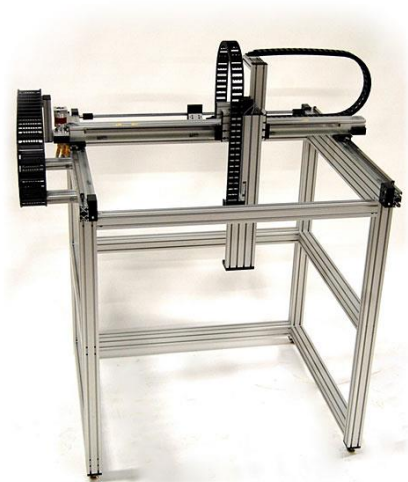
Erilaisia teollisuusroboteja on suunniteltu useita tuhansia. Tavallisimmat teollisuusrobotit ovat kiertyvänivelisiä. Näissä kaikki vapausasteet ovat kiertyviä.

Kiertyvänivelisillä roboteilla on yleensä neljä tai kuusi vapausastetta. Markkinoilla on myös seitsemän vapausasteen kiertyvänivelisiä robotteja. (Kuivanen 1999, 16.) (Kuva 7.)



KUVA 7. ABB:n kiertyvänivelinen IRB 4400 teollisuusrobotti (ABB, linkit TUOTTEET JA PALVELUT -> Robotit)

Suorakulmainen robotti on toteutettu lineaariliikkeillä. Lineaariliikkeet ovat toteutettu X-, Y- ja Z-akselin suuntaisesti, joten vapausasteita on kolme. Suorakulmaisesta robotista yleisin esimerkki on portaalirobotti. (Kuivanen 1999, 16.) (Kuva 8.)



KUVA 8. Lineaarirobotti (Macron Dynamics, linkit Products -> Linear Robotics -> Application photos)

Scara-robotilla on neljä vapausastetta. Työkalu saadaan oikeaan kohtaan kolmen vapausasteen avulla. Neljäs vapausaste on lineaarinen pystyliike työtason normaaliin nähden. Scara-robotin liikkeissä on mukailtu ihmisen kättä, jossa ranteeseen on asennettu pystyjohde. (Kuivanen 1999, 16.) (Kuva 9.)



KUVA 9. Scara-robotti Adept Cobra s350 SCARA (Omron Adept Technologies, linkit Products -> Robots -> Cobra Scara Robots)

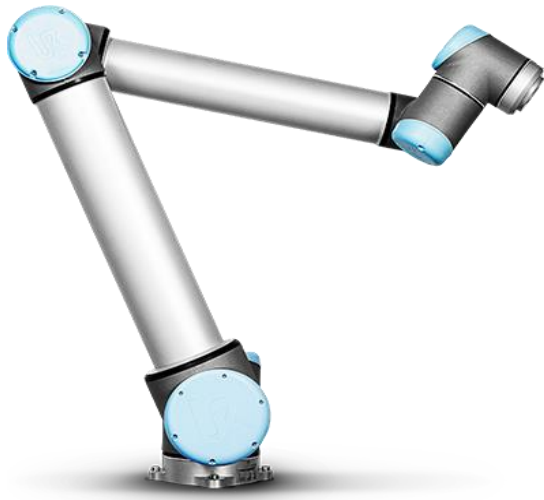
Rinnakkaisrakenteiset robotit kestävät voimia. Voiman kesto saavutetaan, kun toimilaitteet ovat kytketty rinnan. Tällä tavalla voimat jakautuvat tasaisemmin tukivarsiin ja rakenteesta saadaan kevyempi. Rakennetta kutsutaan suljetuksi kinemaattiseksi rakenteeksi. (Kuivanen 1999, 16.) (Kuva 10.)



KUVA 10. ABB poimijarobotti IRB 360 (ABB, linkit TUOTTEET JA PALVELUT - > Robotit)

Yhteistyörobotit voivat työskennellä turvallisesti yhteistyössä ihmisten kanssa. Niiden anturointi mahdollistaa ulkoapäin tulevien voimien tunnistamisen. Antureiden tunnistessa liian suuren voiman, robotti pysähtyy. Yhteistyörobotin liikkeet ovat turvallisia myös niiden liikkeiden hitauden ansiosta. Yhteistyörobottien käsittelykyky on pieni, joten ne soveltuvat hyvin tavaroiden siirtelyyn ja yksinkertaisiin työtehtäviin kuten työkalujen kiinnittämiseen, kokoonpanoon ja kiillottamiseen. Yhteistyörobottien etuja ovat seuraavat:

- helppo ohjelmoida
- asennustilavaatimukset ovat pienet
- useimmat sovellukset eivät vaadi turva-aitoja
- helppo sijoittaa uusiin tehtäviin. (Bélanger-Barrette 2015, 3.) (Kuva 11.)



KUVA 11. Yhteistyörobotti UR10 (Universal Robots, linkki Products)

2.2.3 Toimilaitteet

Robottien liikkeet saadaan aikaiseksi toimilaitteilla kuten moottorilla. Toimilaitteiden yleisimmät voimanlähteet ovat pneumatiikka, hydraulikka ja sähkö. (Kuivanen 1999, 19.)

Pneumaattisissa toimilaitteissa ilmanpainetta hyödynnetään lineaari- tai kierto- liikkeiden saavuttamiseksi. Pneumatiikan avulla voidaan saada halpa ja yksinkertainen rakenne. Hydraulikalla saadaan suuria voimia aikaiseksi, mutta se on kallista ja vaatii enemmän huoltoa. Sähköllä toimivat toimilaitteet ovat suosituimpia. Nykyisillä sähköisillä toimilaitteilla voidaan saavuttaa suuret voimat. (Kuivanen 1999, 19.)

Toimilaitteita käytetään voiman siirtoon. Voima ja liike siirretään toimilaitteelta nivellelle käyttäen työntötankoja, kuularuuveja, ketjuja, vipumekanismeja ja hammashihnoja tai hammaspyörästäjä. Nykyaikaisilla roboteilla voimansiirto toteutetaan yleensä hammaspyörästäjä hyödyntäen. Hammaspyörästäjällä saadaan momenttia alemmas ja kierrosluvut vastaamaan nivelen liikealueelle. (Kuivanen 1999, 19.)

Robotti ei saa missään olosuhteissa romahtaa. Tämän takia toimilaitteet ovat varustettu jarruilla. Kun jarruihin tulee virta, pito on poistettuna, kun virtaa ei

tule, jarrut menevät päälle. Tällä poissuljetaan esimerkiksi sähkökatkosten aiheuttamat riskit. (Kuivanen 1999, 19.)

2.2.4 Työkalut ja tarraimet

Yleisimmät voimanlähteet työkaluille ovat sähkö, pneumatiikka, hydraulikka ja tyhjiö (Jenkins 2005, 11 - 8). Työkaluissa jako voidaan tehdä tarraimien ja prosessiin osallistuvien työkalujen välillä. Tarraimien tehtävä on tarttua työkaluihin ja työstettäviin kappaleisiin. Prosessiin osallistuvia työkaluja ovat esimerkiksi hitsaustyökalut ja hiomalaitteet. (Kuivanen 1999, 60.)

Pneumatiikassa voima syntyy, kun ilma puristetaan kasaan kompressorissa. Ilmalla toimivat työkalut ovat halpoja, turvallisia ja keveitä. Tyhjiömuun perustuvia työkaluja käytetään asioiden nosteluun, joilla on tasainen pinta esimerkiksi ohutlevymetalli. Monet tarttujat ovat joko hydraulikkaan- tai pneumatiikkaan perustuvia. Hydraulikkaa käytetään, kun siirrettävät kappaleet ovat raskaita. Sähköä käytettäessä, tarttujan nivelten liikkeiden toteuttava moottori on raskas. Tämän takia tarttujalle tulee painoa. (Kuivanen 1999, 63.)

Tarttujissa käytetään monia eri mekanismeja, joiden mukaan ne voidaan jaotella seuraavasti:

- avautuvat ja sulkeutuvat tarraimet
- kiertyväsormiset ja rinnakkain suoraviivaisesti liikkuvilla sormilla varustetut tarraimet
- liikkuvien sormien lukumäärän mukaan
- jäykät ja joustavat tarraimet
- kappalekohtaiset tai yleistarraimet
- keskittävät tarraimet
- magneettiset tarraimet
- alipainetarraimet
- sisäisesti laajenevat tarraimet
- yksittäinen, kaksois- tai revolveritarrain
- älykkäät anturoidut tarraimet

- erikoistarraimet. (Kuivanen 1999, 60.)

Robotilla on mahdollista tehdä esimerkiksi hitsausta, kokoonpanoa ja viimeistelyä prosessityökalujen avulla. Tavallisia prosessityökaluja ovat

- kaari- ja pistehitsauspäät
- ruiskumaalaus-, liimaus- ja saumasuutin
- jyrsin tai hiomalaite
- polttoleikkain
- valukauha
- ruuvaustyökalu tai niittauslaite. (Kuivanen 1999, 77.)

2.2.5 Ohjausjärjestelmä

Teollisuusrobotin ohjaus perustuu kolmeen koordinaatistoon:

- maailmankoordinaatistoon
- peruskoordinaatistoon
- työkalukoordinaatistoon.

Maailmakoordinaatisto on sidottu robotin työskentely-ympäristöön. Peruskoordinaatisto on sidottu robotin jalustaan ja työkalukoordinaatisto on yleensä sidottu työkaluun. Työkalukoordinaatistolla voidaan muun muassa määrittää työkalun asento. (Kuivanen 1999, 21.)

Robottiohjain huolehtii robotin liikkeistä. Se laskee itsenäisesti tarvittavat liikkeet ja kiertymät, kun sille kerrotaan mihin pisteeseen sen tulee liikkua ja missä koordinaatistossa piste sijaitsee. Ohjaimella on kyky ohjata muita laitteita esimerkiksi automaattisia kiinnittimiä. Tämä tapahtuu ohjaimessa olevien digitaal- ja analogialähtöjen ja -tulojen avulla. (Korhonen 2016, 21.)

2.2.6 Ohjelmointi

Ohjelmoinnin tehtävä on kertoa robotille tehtävien järjestys ja logiikka, miten reagoida ympäristön signaaleihin ja miten toimia virhetilanteessa. Robotin ohjelmointia tehdään johdattamalla, opettamalla ja etäohjelmoimalla. (Kuivanen 1999, 78.)

Johdattamalla ohjelmoinnissa ihminen liikuttaa lihasvoimin halutun liikeradan. Nivelillä olevat paikka anturit tallentavat lukemat instrumenttinauhuriin. Johdattamalla ohjelmointi on ensimmäisiä ohjelmointitapoja. (Kuivanen 1999, 78.)

Perinteisin tapa robotteja ohjelmoitaessa on opettamalla ohjelmointi. Robotti ajetaan haluttuun paikkaan ja paikkatieto tallennetaan robottiohjaimelle. Ohjelmoinnissa käytetään käsiohjainta, millä robottiohjelma voidaan luoda kokonaisuudessaan. Liikkeiden toteuttamisessa apuna on ohjaussauva, tavallinen pääte, editoriohjelmisto. PC-ohjelma tekstin luomiseksi ja levykeasemat ohjelmien siirtoa ja varastointia varten. (Kuivanen 1999, 78.)

Etäohjelmointi (off-line) on tarkoitettu tuotekehityksen ja valmistuksen väliin. Etäohjelmointi perustuu mallipohjaiseen ohjelmointiin, missä hyödynnetään valmistettavan kappaleen 3D CAD -muototietoa. Tällä tavalla robotin liikkeet voidaan ohjelmoida ilman robottia. (Kuivanen 1999, 80.)

Tuotannon ulkopuolisessa tietokoneessa käytetään 3D-graafista käyttöliittymää ja robotin sekä oheislaitteiden simulointimalleja. Erityisesti etäohjelmointi soveltuu, kun valmistusprosessi edellyttää suuria määriä paikoituspisteitä, kuten hitsaus, leikkaus, jäysteitys, kiillotus, hionta, maalaus, pinnoitus ja työstö. (Kuivanen 1999, 80.)

Etäohjelmoinnin etuna on, että tuotteen valmistus voidaan simuloida. Simuloinnilla saadaan selville, soveltuuko olemassa oleva laitteisto tuotteen valmistukseen. Robotin käyttö tehostuu etäohjelmoinnin ansiosta. Robotin työskennellessä, etäohjelmointi mahdollistaa uusien työstöratojen ohjelmoinnin toisaalla. (Kuivanen 1999, 80 - 86.)

Kuten opettamalla ohjelmointi, myös mallipohjainen ohjelmointi perustuu robotin paikoituspisteisiin. Mallipohjaisen ohjelmoinnin erona on, että voidaan käyttää 3D-muototietoja hyödyksi paikoituspisteiden luonnissa. (Kuivanen 1999, 80 - 86.)

Ohjelmointia ei voi aloittaa, jos robottisolusta ei ole tehty simulointimallia. Valmistettava kappale tuodaan simuloituun ympäristöön, mahdollisesti kiinnittimeen, siten että kiinnittimen valittu referenssikoordinaatisto yhtyy valmistettavan kappaleen referenssikoordinaatistoon. Muototiedon käyttö mahdollistaa nopean paikoituspisteiden generoinnin. Muototiedon ansioista työkalun asento voidaan säilyttää vakiona esimerkiksi käyrän normaalin suhteen. Jos kappale on monimutkainen, tuhannen erikseen määrätyn paikoituspisteen sijaan etäohjelmoinnissa voidaan käyttää yhtä komentoa: seuraa rataa. (Kuivanen 1999, 80 - 86.)

Paikoituspisteiden luonnin jälkeen ohjelmoidaan komennot. Komentojen ohjelmointiin on kaksi tapaa: komento kerrallaan eli eksplisiittinen ohjelmointi tai tehtäväkokonaisuus kerrallaan eli implisiittinen ohjelmointi. (Kuivanen 1999, 80 - 86.)

Komento kerrallaan toteutetaan kuten opettamalla ohjelmoinnissakin. Käskyt kirjoitetaan yksi kerrallaan. Robottien käskykanta on joko yleiskielinen tai robotikohtainen. (Kuivanen 1999, 80 - 86.)

Tehtäväkokonaisuus kerralla ohjelmoitaessa on oltava menetelmäosaamista. Tätä ohjelmointitapaa voidaan kutsua myös piirrepohjaiseksi ohjelmoinniksi. Piirteillä tarkoitetaan aliohjelma makroja, joita ohjelma kutsuu, kun tietty joukko ehtoja toteutuu. (Kuivanen 1999, 80 - 86.)

Aliohjelma makroiin on tallennettu prosessille ominaiset piirteet. Esimerkiksi hionnassa oikea tapa kuljettaa työkalua kappaleen pinnalla tallennettaisiin omaksi piirteeksi. Tämän ansioista ohjelmointinopeus on ylivertainen ja prosessin laatu voidaan tallentaa järjestelmään. Näin saadaan korkealaatuisia kiillotus- ja hiontapintoja tai tasalaatuisia, korkealuokkaisia hitsisaumoja. (Kuivanen 1999, 80 - 86.)

Etäohjelmoinnilla ohjelmat tarkistetaan simuloimalla. Jos ongelmakohtia, kuten törmäyksiä esiintyy, ne tallentuvat ajon aikana tiedostoon, jolloin niihin voidaan

palata ajon jälkeen. Simuloitu ohjelma täytyy kääntää postprosessorin kautta robotille. Postprosessori kääntää simuloinnissa käytetyn yleiskielen robottikohtaiseksi ohjelmointikieleksi. (Kuivanen 1999, 80 - 86.)

2.2.7 Oheislaitteet

Automaattiseen työkalun vaihtoon tarvitaan teline työkaluille, joka mahdollistaa robotin työkalun vaihdon. Markkinoilla on lukuisia toimittajia työkaluhyllyille. Kuvassa 12 esimerkki saksalaisen Amtrun toimittamasta työkaluhyllystä, joka sopii erityisesti sen työkaluille.



KUVA 12. Työkaluhylly (Amtru, linkit Robot applications -> Tools -> Accessories)

Jos robotin täytyy vaihtaa työkalua, sille on olemassa erilaisia pikakiinnittimiä. Työkalun vaihtajat mahdollistavat erilaisten työkalujen kiinnittämisen robottiin ja lisäävät näin järjestelmän joustavuutta. (Kuva 13.)



KUVA 13. ATI Industrial Automationin työkalunvaihtajat (ATI Industrial Automation, linkit Products -> Robotic Tool Changers)

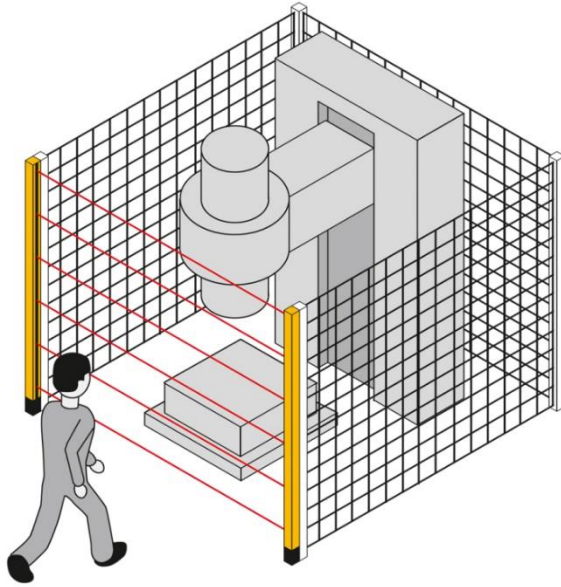
2.2.8 Suojalaitteet

Robotin turvallinen toiminta varmistetaan erilaisilla suojalaitteilla, jotka ovat yhteydessä robotin ohjaukseen. Toimivan robottisolun suojaus on tapauskohtainen. Yleisiä turvallisuusstrategioita ovat seuraavat:

- eristetään muuttumaton robotin vaara-alue
- robotin mukana kulkeva havaintokenttä
- estetään robotin haitallinen vaikutus ihmiseen
- ihmisen mukana kulkeva turva-alue.

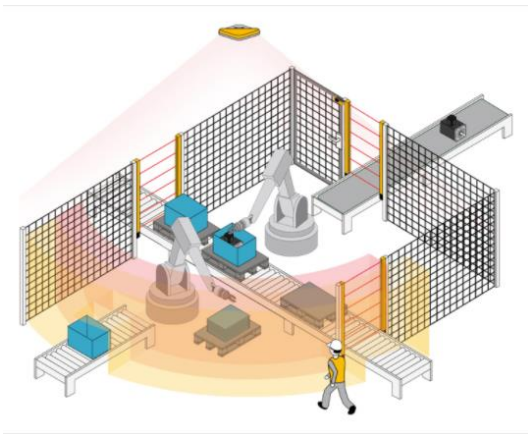
Lopullisissa ratkaisuihin voidaan käyttää yhtä strategiaa tai näiden yhdistelmiä. (Malm 2008, 6.)

Robotin eristäminen toteutetaan valoverhoilla ja turva-aidoilla. Tällä tavalla estetään robotin työstöalueelle pääseminen ja liikkeen pysäyttäminen. (Kuva 14.)



KUVA 14. Valoverholla ja aidalla suojattu kone (Pliz, linkit Products and solutions -> Sensor technology -> Optoelectronic sensors)

Robotin mukana kulkeva havaintokenttä voidaan toteuttaa esimerkiksi SafetyEYE-laitteella. Toteutus perustu kameroihin, jotka kuvaavat aluetta. Keltaisella turva-alueella koneiden liikkeitä hidastuvat ja punaisen alueen rikkoontuessa koneet pysähtyvät. (Kuva 15.)



KUVA 15. SafetyEYE-laitte ja sen käyttöesimerkki (Pliz, linkit Products and solutions -> Sensor technology -> Safe camera systems)

Kun robotin haitallinen vaikutus ihmiseen estetään, robotin on oltava kevyt ja liikkeet riittävän hitaita. Tätä strategiaa käytetään muun muassa yhteistyörobo-teilla. (Malm 2008, 6.)

Ihmisen mukana kulkeva turva-alue tarkoittaa esimerkiksi laitetta, jota ihminen kantaa mukanaan. Robotti tunnistaa laitteen lähestymisen ja reagoi siihen. Menetelmän luotettavuudesta ei ole takeita. (Malm 2008, 6.)

2.3 Voimaohjauksen perusteet

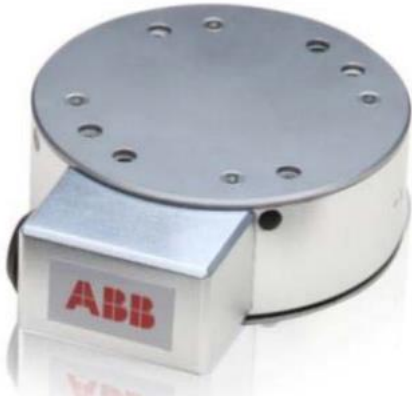
Voimaohjauksen kehittyminen robotiikassa, on mahdollistanut pinnankäsittely työvaiheiden automatisoinnin. Jotta hiontaa ja pinnan viimeistelyä on mahdollista tehdä robotilla, hiovan työkalun tai robotin liikkeiden on myötäiltävä tai joustettava työstettävää pintaa vasten. Joustolla tarkoitetaan siirtymän suhdetta voimaan. (Erlbacher 2000, 20 - 29.)

Markkinoilla on kaksi voimaohjaukseen liittyvää toteutustapaa adaptiivinen voimaohjaus ja ohjaustapa, missä robotin päähän kiinnitetään lisäakseli, joka reagoi työstettävän pinnan muutokseen. Adaptiivinen ohjaus on kalliimpi toteuttaa kuin kiinnitettävä lisäakseli. (Erlbacher 2000, 20 - 29.)

2.3.1 Adaptiivinen ohjaus

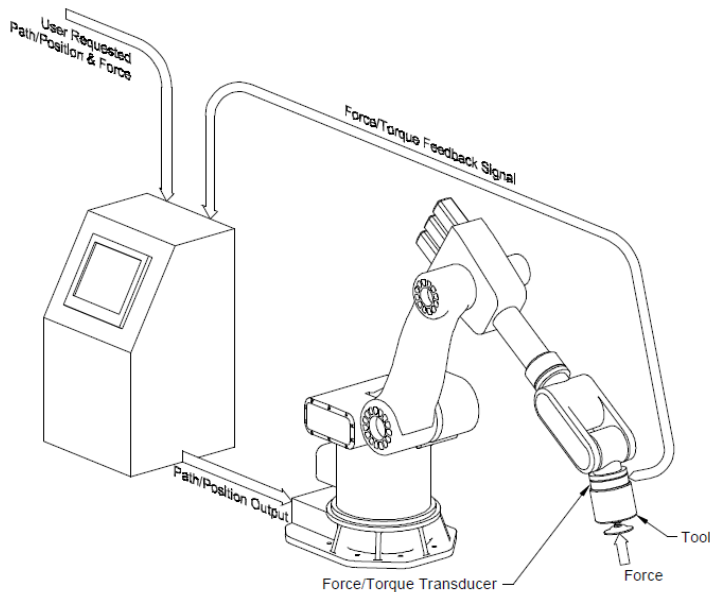
Ratkaisua verrataan ihmiskäden toimintaan. Missä ihmisellä on aivot ja lihakset, robotilla on tietokone ja servomootorit. Kun robottiin lisätään voimaa aistiva komponentti, sillä olisi mahdollisuus myös tuntea. (Erlbacher 2000, 20 - 29.)

Adaptiivisuuden saavuttamiseksi robottikäden päähän kiinnitetään voiman ja väännön muunnin. Muuntimen mittaama voimatieto välittyy suoraan robottiohjaimelle. (Kuva 16.) (Integrated Force Control. Robotic real-time tactile feedback. Fully integrated force control technology. 2014, 9.)



KUVA 16. ABB voima anturi (Integrated Force Control. Robotic real-time tactile feedback. Fully integrated force control technology. 2014, 9)

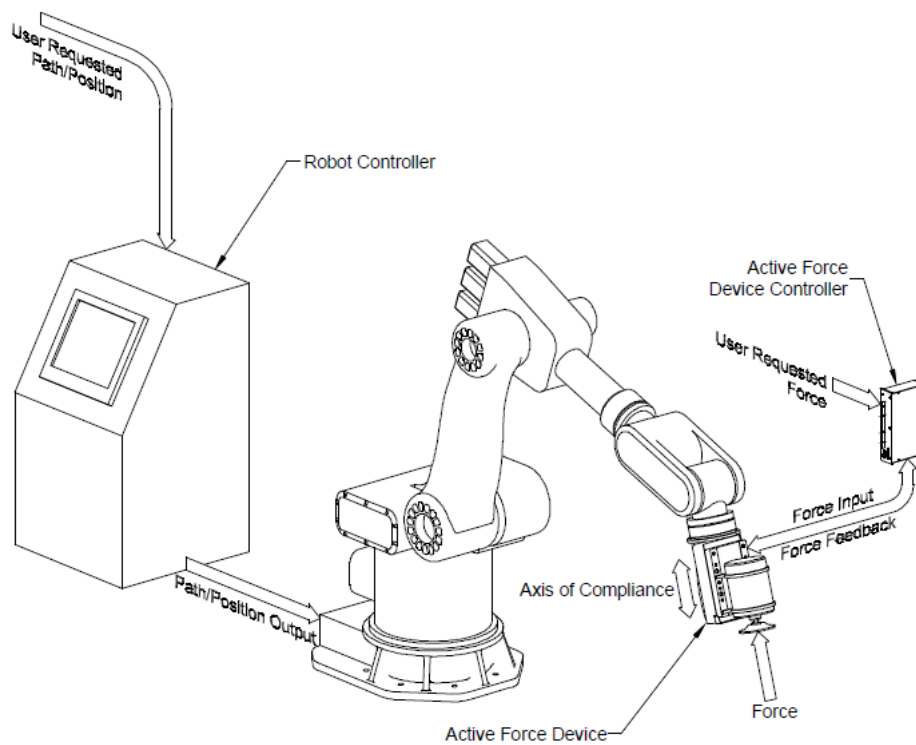
Muuntaja mittaa siihen kohdistuvaa vääntöä ja voimaa kuudelta eri akselilta. Robottiohjain vertaa saatua arvoa ihmisen ohjaimelle asettamaan arvoon. Jos saadussa arvossa ja ohjaimen syötetyssä arvossa on ero, robottiohjain kompensoi robotin liikkeen vastaamaan syötettyä arvoa. (Kuva 16.) (Erlbacher 2000, 20 - 29.)



KUVA 16. Adaptiivisen voimaohjauksen periaate (Erlbacher 2000, 20 - 29)

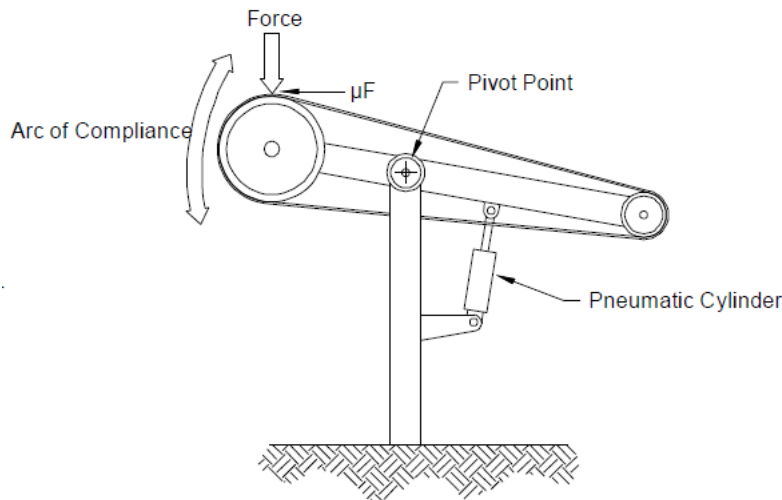
2.3.2 Muut menetelmät

Toisenlaisessa menetelmässä robottikäsi ja voiman aistiva työkalu ovat erillisiä yksiköitä. Tässä ohjaustavassa robottiin liitetään työkalu, jossa on myötäilevä lisäakseli. Joustavan akselin liike voi olla, joko lineaari- tai kiertyväliike. Lineariakselin liike on yleensä 0 - 25 mm ja kiertoa voi olla 0 - 5 astetta. Suuremmatkin liikkeet ovat mahdollisia, mutta usein tarpeettomia. Työkalu tarvitsee yleensä oman ohjausyksikön, joka voi toimia yhteistyössä robottiohjaimen kanssa. (Kuva 18.) (Erlbacher 2000, 20 - 29.)



KUVA 18. Robottiin kiinnitetyn lisäakselin toimintaperiaate (Erlbacher 2000, 20 - 29)

Työkalun voi kiinnittää lattiaan, jolloin robotti liikuttaa työstettävää kappaletta tarttujan avulla. Tämä soveltuu hyvin pienille kappaleille, joita robotin on helppo käsitellä. Etuna tässä menetelmässä on, että painovoiman kompensointi helpottuu. Työkalun tarvitsema jousto lisätään esimerkiksi pneumaattisella sylinterillä. (Kuva 19.) (Erlbacher 2000, 20 - 29.)



KUVA 19. Joustavan hiontatyökalu kiinnitetty maahan (Erlbacher 2000, 20 - 29)

2.3.3 Joustavat työkalut

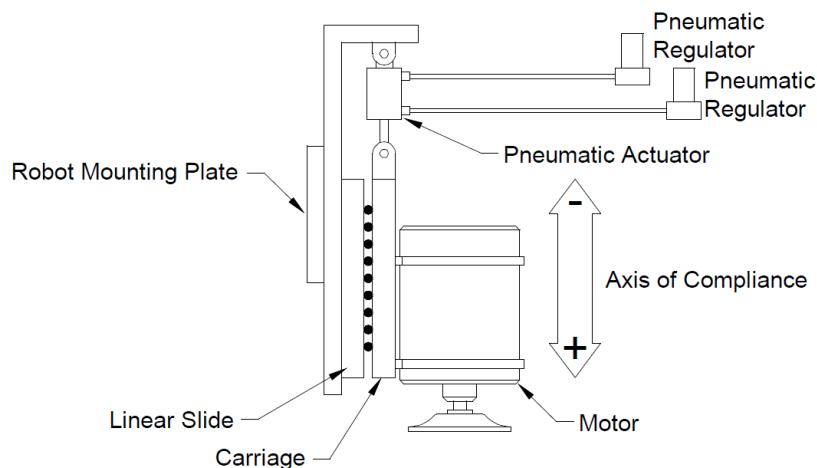
Työkalujen jouston saavuttamiseksi on kaksi ohjaustekniikkaa, passiivinen ja aktiivinen ohjaus. Passiivisen ja aktiivisen työkalun erona voidaan käyttää analogiaa auton vakionopeuden säätimestä. Nykyään autoissa oleva vakionopeuden säädin toimii sillä tavalla, että säätimille annetaan nopeusarvo, joka halutaan pitää. Vakionopeuden säädin mittaa, paljonko auton todellinen nopeus on. Jos nopeus on eri kuin haluttu arvo, säädin säätää sen vastaamaan haluttua arvoa. Tällaista järjestelmää kutsutaan aktiiviseksi järjestelmäksi eli suljetuksi järjestelmäksi. (Erlbacher 2000, 20 - 29.)

Ennen tällaista järjestelmää samanlainen sovellus olisi voitu toteuttaa esimerkiksi kepillä, jolla kaasua säädetään pysymään tietyssä asennossa. Keppi asennetaan kojelaudan ja kaasupolkimen välille. Tämä takaa tasaisen nopeuden tasaisella maalla, mutta mäen tullessa vastaan nopeus pienenee. Keppi ei tunnista nopeuden muutosta. Tätä kutsutaan passiiviseksi järjestelmäksi eli avoimeksi järjestelmäksi. (Erlbacher 2000, 20 - 29.)

Työkalujen jousto on seurausta työkalun liikeakselista. Akselin liikkeen aikaansaamiseksi käytetään toimilaitetta, jonka käyttövoimana on jousi, elektromagnetismi tai pneumatiikka. Jossain tilanteissa hiovan median jousto voi olla riittävä kuten harjaus sovelluksissa. (Erlbacher 2000, 20 - 29.)

Seuraavassa on esitetty passiivisen ja aktiivisen laitteen periaatteet. Markkinoilla olevat laitteet voivat rakenteeltaan olla erilaisia, mutta toiminnalliset periaatteet ovat samat. (Erlbacher 2000, 20 - 29.)

Passiivisessa tekniikassa pneumaattiset toimilaitteet ovat yleisiä. Pneumaattisten toimilaitteiden rakenne koostuu pneumaattisesta toimilaitteesta, kuten sylinteristä jossa on säätimet, lineaarijohteesta, moottorista ja vaunusta johon toimilaitte ja moottori ovat kytköksissä. (Kuva 20.) (Erlbacher 2000, 20 - 29.)



KUVA 20. Passiivinen pneumatiikalla toimiva hiomalaite (Erlbacher 2000, 20 - 29)

Passiivisesti toimivissa laitteissa ajatellaan olevan kolme käyttötapaa. Ensimmäisessä käyttötavassa työkalun oletetaan pysyvän samassa asennossa koko prosessin ajan. Tällöin painovoiman vaikutus ei muutu. Tässä menetelmässä ei tarvita elektronista ohjausta, koska pneumaattisen toimilaitteen säätimet asetetaan tietylle arvolle eikä tuo arvo muutu prosessin aikana. (Erlbacher 2000, 20 - 29.)

Toisessa käyttötavassa työkalun orientaatio voi muuttua. Jos työkalun orientaatio muuttuu, pneumaattisen toimilaitteen arvokin täytyy muuttua, sillä painovoima vaikuttaa eri tavalla. Jos työkalun orientaatio muuttuu, toimilaitteen säätimien arvot pitää muuttaa ja tallentaa robottiohjaimelle. Muuttaminen täytyy tehdä jokaiselle opetuspisteelle erikseen, jossa kappaleen orientaatio muuttuu. (Erlbacher 2000, 20 - 29.)

Kolmannessa käyttötavassa työkalun orientaatio saa muuttua eikä jokaiselle ohjelmointipisteelle tarvitse säätää uutta arvoa. Tämä perustuu kaavoihin, jotka toimivat koko ajan taustalla säätäen oikean arvon toimilaitteelle (kaava 1; kaava 2). Menetelmä eroaa kuitenkin aktiivisesta menetelmästä. (Erlbacher 2000, 20 - 29.)

Sylinterin männän puoleinen paine lasketaan kaavalla 1 (Erlbacher 2000, 20 - 29).

$$P_p = \frac{F_W(1 - \cos(\theta_g)) + 2F_a}{2A_p}$$

KAAVA 1

P_p = männän puoleinen paine (Pa)

F_W = työkalun paino (kg)

F_a = hiontamedian voima (N)

A_p = pinta - ala (m^2)

θ_g = vaunun kulma painovoimaan nähden ($^\circ$)

Sylinterin männän varren puoleinen paine lasketaan kaavalla 2 (Erlbacher 2000, 20 - 29).

$$P_s = \frac{F_W(1 - \cos(\theta_g)) + 2F_a}{2A_s}$$

KAAVA 2

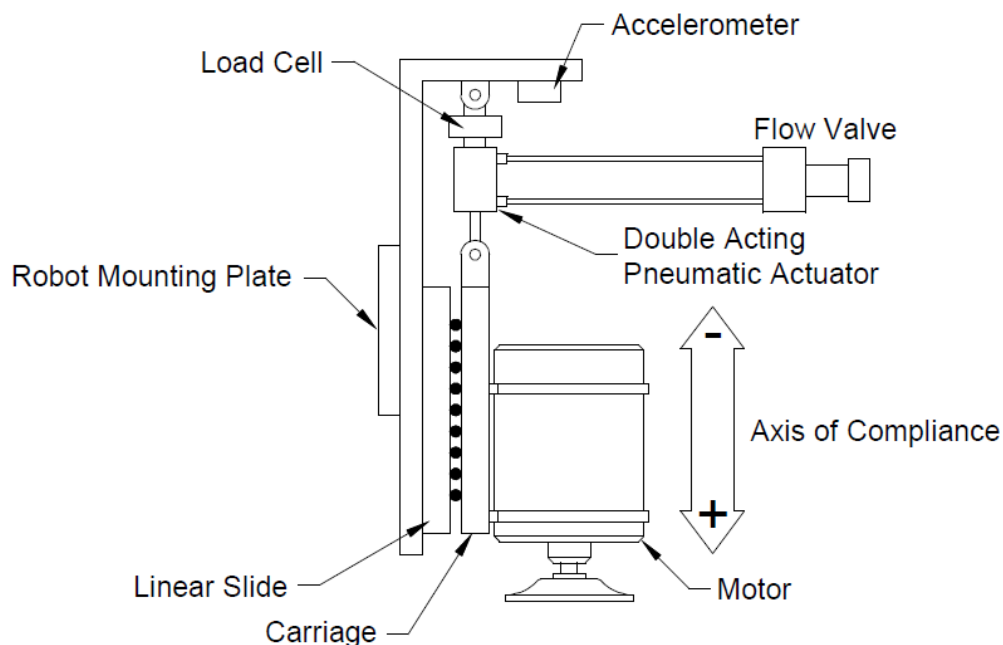
P_s = Männänvarren puoleinen paine (Pa)

A_s = Pinta - ala (m^2)

Työkalun paino muodostuu moottorista, vaunusta, hiovasta mediasta ja kiinnittimistä. Vaunun kulma voi olla vaikea määrittää. Sen voi tehdä manuaalisesti mittaamalla, mutta menetelmä on aikaa vievää ja voi aiheuttaa epätarkkuutta. Toinen tapa on käyttää hyödyksi robottiohjaimen laskemaa nivelten paikkatietoa. (Erlbacher 2000, 20 - 29.)

Passiivisten työkalujen ongelma on, että vakioapaineen pitäminen ei tarkoita, että pintaan kohdistettu voima pysyisi samana. Esimerkiksi hiontamedia kuluu ja työkalussa oleva kitka aiheuttavat epätarkkuutta prosessiin. (Erlbacher 2000, 20 - 29.)

Passiivisen ja aktiivisen laitteen ero on voiman mittauksessa. Aktiiviseen työkaluun on sijoitettu voimaa mittaava komponentti. Vaikka hiontamedia kuluu, laite mittaa voiman, joka kohdistetaan kappaleen pintaan. Järjestelmä laskee, paljonko painetta täytyy lisätä, että haluttu voima saavutetaan. Painovoiman kompensointi toteutetaan kiihtyvyyssanturin avulla, mikä mittaa työkalun asentoa. (Kuva 21.) (Erlbacher 2000, 20 - 29)

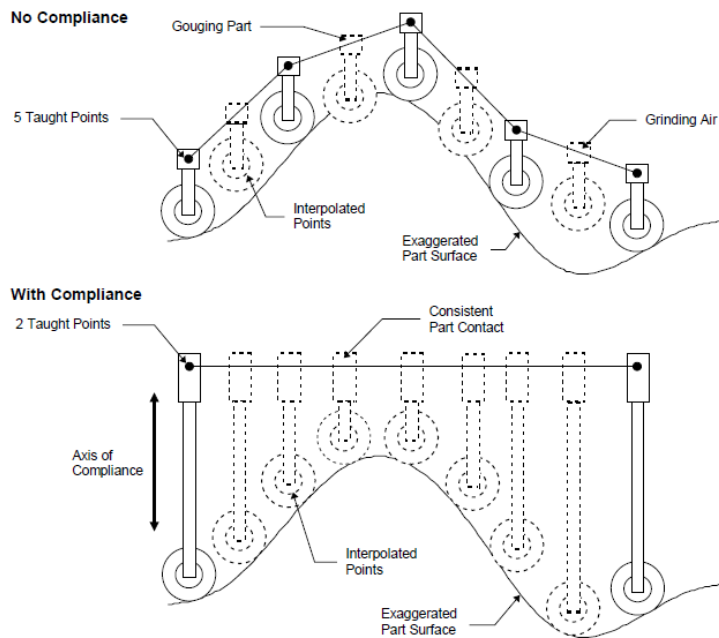


KUVA 21. Aktiivisen työkalun rakenne (Erlbacher 2000, 20 - 29)

2.3.4 Voimaohjauksen ohjelmointi

Hionta sovellusten haasteet liittyvät ohjelmointiin. Ilman joustoa hiontaa ja pinnan viimeistelyä on lähes mahdoton toteuttaa. Viimeistelyn yksi tärkeimmistä seikoista on, että kontakti työstettävän pinnan ja työstävän median välillä pysyy katkeamattomana. Koneellisesti kontaktin pitäminen ei ole niin yksinkertaista. Pinnassa pitää pyrkiä huomioimaan mittavirheet ja ylimääräinen materiaali. (Godwin 1996, 1.)

Ohjelmoitaessa liikeratoja, joustoa hyödyntämällä opetuspisteiden määrä vähenee. Se helpottaa ohjelmointia ja mahdollistaa kontaktin pitämisen työstettävän pinnan ja hiovan median välillä. (Godwin 1996, 4.) (Kuva 22.)



KUVA 22. Opetuspisteiden määrä vähenee joustoa käytettäessä (Godwin 1996, 5)

Viimeistelyprosessin neljä tärkeintä tekijää ovat käytettävä media, voima, jolla media kohdistetaan hiottavaan pintaan, pyörimisnopeus (rpm) ja syöttöliike. Robotin ohjaus vaikuttaa ainoastaan syöttöliikkeeseen. (Godwin 1996, 3.)

Ohjelmoitaessa robotin liikeratoja on kolme asiaa, joihin tulee kiinnittää huomiota:

1. työstönopeus
2. työkalun orientaatio
3. lähestymiskulma (Godwin 1996, 3.)

Yleisesti hiovan median kulma, suhteessa työstettävään pintaan, suositellaan pidettävän 0 - 5 asteen välillä. Teksasin Arlingtonin yliopistossa Davisin (1993) tekemän tutkimuksen mukaan jopa kahden asteen muutos kulmassa voi aiheuttaa merkittävän eron viimeistellyn pinnan laadussa. (Godwin 1996, 3.)

Pintavirheitä esiintyy paljon kohdissa, jossa työkalu koskettaa ensimmäisen kerran työstettävää pintaa. Tämän estämiseksi työstettävää pintaa tulee lähestyä asteittain. Kun tutkitaan ihmisen liikettä, sen lähestyessä hiottavaa kohtaa voidaan liikettä kuvailla pyyhkäiseväksi. Pyyhkäisevä liike perustuu siihen, että työstettävää pintaa lähestytään asteittain. (Godwin 1996, 4.)

2.4 Robottijärjestelmän suunnittelu

Robottijärjestelmän hankinta voidaan jakaa neljään vaiheeseen:

1. esisuunnitteluvaihe
2. hankintavaihe
3. asennus- ja käyttöönottovaihe
4. käyttövaihe.

Esisuunnitelma vaiheessa kartoitetaan tarve ja laitteiston yleiset suuntaviivat. Hankintavaiheessa luodaan tarvittavat valmistuspiirustukset ja suunnitellaan järjestelmän yksityiskohdat sekä järjestelmän toiminnot. Kolmannessa vaiheessa järjestelmä asennetaan ja otetaan käyttöön. Käyttövaiheessa pyritään hyödyntämään hankittua järjestelmää. (Kuivanen 1999, 93.)

2.5 Robottiturvallisuus

Robottisolu luokitellaan koneeksi seuraavan määritelmän mukaan: "Kone on toisiinsa liitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmää, jossa on tai joka on tarkoitettu varustettavaksi muulla kuin välittömällä ihmis- tai eläinvoimalla toimivalla voimansiirtojärjestelmällä ja jossa ainakin yksi osa tai komponentti on liikkuva ja joka on kokoonpantu erityistä toimintoa varten" (L 12.6.2008/400, 4 §.)

Koneen valmistajan velvollisuuksina koneen markkinoille saattamisessa ja käyttöönotossa on

- varmistaa, että kone täyttää olennaiset terveyst- ja turvallisuusvaatimukset
- huolehtia, että tekninen tiedosto on käytettävissä
- varustaa kone tarvittavilla tiedoilla, kuten käyttöohjeella
- huolehtia asianmukaisesta vaatimusten arviointimenettelystä
- laatia EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus ja varmistaa, että se on koneen mukana
- kiinnittää koneeseen CE-merkintä. (L 12.6.2008/400, 5 §.)

Robottien turvallisuutteen liittyvät seuraavat standardit:

- SFS-EN ISO 11161 + A1 2010 Koneturvallisuus. Valmistusjärjestelmien koneyhdistelmät. Perusvaatimukset
- SFS-EN ISO 14121-1 2007 Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 1: periaatteet
- SFS ISO/TR 14121-2 2010 Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä
- SFS-EN 953 + A1 2009 Koneturvallisuus. Suojaukset. Kiinteiden ja avattavien suojusten suunnittelun ja rakenteen yleiset periaatteet
- SFS-EN 349 + A1 2008 Koneturvallisuus. Vähimmäisetäisyydet kehonosien puristumisvaaran välttämiseksi
- SFS-EN ISO 13857 2008 Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille

- SFS-EN ISO 10218-1 Teollisuusrobotit. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Robotti
- ISO-EN 10218-2 Robots for industrial environments, Safety requirements, Part 2 Robot system and integration.
- ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices. Collaborative robots. (Billing 2012, 58.)

3 HIONTATYÖVAIHEEN AUTOMATISOINNIN KOMPONENTIT

3.1 Automatisoinnin tavoitteet

Hionnan automatisoinnilla pyritään inhimillistämään työoloja ja parantamaan tuotteiden laatua. Hiontatyövaihe on usein raskas, likainen ja itseään toistava. Robotiikan ja automaation vahvuus on siinä, ettei kone välitä työympäristöstään. Työliikkeet ovat toistettavia ja tarkkoja, joten laatu on tasaista päivästä riippumatta.

3.2 Lähtötilanne

Celermec Oy:ltä saadun datan mukaan vuonna 2016 kyseisestä tuoteperheestä syntynyt liikevaihto oli noin 150 000 €. Tuotteiden liikevaihto on yksi tekijä, kun arvioidaan automatisoinnin kannattavuutta.

Työstettävä kappale on materiaaliltaan alumiinia. Kappale on geometrialtaan neliskulmainen kehä. Kehistä on useita koko variaatioita.

Kehät sahataan oikean mittaisiksi ja tämän jälkeen ne hitsataan yhteen. Hitsauksesta syntyvä kupu poistetaan ja viimeistellään hiomalla. Hionta suoritetaan käsin hiomalla käyttäen kulma- ja epäkeskohiomakonetta. Kulmahiomakoneessa käytetään lamellilaikkaa, jonka karkeus on 80. Epäkeskohiomakoneessa käytetään hiomapaperia karkeudeltaan 80 - 120.

Lamellilaikalla tehdään karkea hionta, millä poistetaan suurin osa materiaalista. Viimeistely tehdään epäkeskohiomakoneella. Hionnan jälkeen kehät maalataan pulverimaalilla. Kehien maalauksessa käytetään eri värejä ja kiiltoasteita.

3.3 Työn rajaukset

Automatisoitavassa prosessissa on monta vaihetta ja hionnan automatisointiin on lukuisia ratkaisuvaihtoehtoja. Laajan kokonaisuuden takia työssä oli tehtävä rajauksia, jotta käytettävät resurssit suunnattiin oikeisiin asioihin.

3.3.1 Ratkaisuvaihtoehdon rajaus

Toteutusratkaisua kartoitettaessa käytettiin apuna tuotekehityksestä tuttua menetelmää, osatoimintoihin jakoa. Jaon idea oli pilkkoa laaja kokonaisuus pienempiin osiin ja etsiä niihin ratkaisuja. (Taulukko 5).

TAULUKKO 5. Automatisointiin tarvittavat osatoiminnot ja ratkaisuvaihtoehdot

Ratkaisuvaihtoehdot		1	2	3	4
Osatoiminnot					
1	Työmenetelmä	Hiova robotti	Jyrsivä robotti	Työstökeskus	Jotain muuta
3	Työkalu	Kulmahiomakone	Tappi jyrsin	Joustava hiontatyökalu	Nauhahiomakone
4	Kappaleen asetus	Jigi	kääntyvä pöytä	Robotti	
5	Kappaleen asettelija	Ihminen	Robotti		
6	Työliikheet	Adaptiivinen, integroitu ratkaisu	Ulkoinen voimaohjattu yksikkö		
7	Ohjelmointi	Etäohjelmointi	Opettamalla ohjelmointi		

Ensimmäinen vaihe oli rajata työmenetelmä. Yritysvierailu JMC Enginellä Ruukissa selkeytti, että hiovalla robotilla ja jyrsivällä robotilla hitsisauman poistaminen olisi mahdollista toteuttaa. Myös sähköpostikeskustelut järjestelmätoimittajien kanssa vahvistivat asian.

Lähtötiedot huomioon ottaen menetelmän täytyi olla toteutettava, mutta ei liian kallis. Teoriaan perehdyttyä kävi ilmi, että hiovan robotin toteutus on edullisempi ratkaisu. Tähän johtopäätökseen päästiin, kun ymmärrettiin, että hiovat työkalut painavat vähemmän ja aiheuttavat vähemmän tärinää. Tämä vaikuttaa merkittävästi teollisuusrobotin valintaan.

Teoria ja tiedonhankinta kohdistettiin käsittelemään hiovaa teollisuusrobotin ratkaisua. Tämä mahdollisti sen, että hiontaa ja robotisointia pystyttiin käsittelemään tarpeeksi laajasti, eikä sisältö kasvanut liian suureksi.

3.3.2 Prosessin raja

Kuvassa 23 kuvataan hiontaprosessin eri vaiheet. Vaiheiden esittämisen ideana on tunnistaa tutkittavat vaiheet ja korostaa muiden vaiheiden olemassaoloa.

Työ päätettiin rajata käsittelemään materiaalinpoistoa ja viimeistelyä.



KUVA 23. Prosessikaavio hitsikuvun poistamiseksi

Poistettavan materiaalin määrä tulee pystyä vakiomaan, jotta prosessi voidaan automatisoida. Poistettava hitsisauma on haastava vakioida, koska se tehdään käsin. Työkaluun liitetyllä joustolla voidaan vähentää epätarkkuuksista syntyviä ongelmia. (Laitinen 2017.)

Toinen vaihtoehto olisi luoda adaptiivinen järjestelmä, joka kompensoisi liikera-toja ympäristöstä saadulla tiedolla. Laitisen (2017) mukaan adaptiivinen järjes-telmä on kallis toteuttaa, joten työssä keskityttiin halvempien menetelmien tutki-miseen.

3.4 Teollisuusrobotin valinta

3.4.1 Perustelut vaihtoehdoille

Robottien ominaisuuksia on vaikea vertailla, koska järjestelmätoimittajien esit-teissä mittausten määritelmät ja ominaisuudet vaihtelevat. Tavallisimmat tiedot ovat työalueen profiilit sivulta ja päältä, nivelten suurimmat nopeudet, kantokyky ja paino. (Kuivanen 1999, 14.)

Hakaluoto (2017) ohjeistaa, että kyseiseen sovellukseen robotti kannattaa valita 20 - 40 kg:n käsittelykyvyn väliltä. Alle 20 kg:n käsittelykyvyn omaavilla robo-teilla ongelmaksi tulee työalueen koko ja työkalujen valinta rajoittuu merkittä-västi.

Hakaluodon (2017) mielestä on todennäköistä, että kaikilla yleisesti käytetyillä robottimerkeillä hionta voidaan toteuttaa. Robottia valittaessa kannattaa huomioida robotin käytettävyys. On mietittävä esimerkiksi, onko mahdollista tehdä piirrepohjaista ohjelmointia, jossa hiontaparametrejä ei tarvitse ohjelmoida jokaiselle tuotteelle erikseen. Tällä tavalla säästettäisi ohjelmointiin kuluva aika.

Robotin valinnassa kannattaa huomioida koko koneen elinkaari. Robotin elinkaareen vaikuttaa esimerkiksi, löytyykö valitulle merkille tukipalvelut läheltä ja jos ei löydy, mitä tämä tarkoittaa tuotannon kannalta. (Hakaluoto 2017.)

3.4.2 Robottivaihtoehdot

ABB on maailman suurimmista robottien ja automaatiojärjestelmien valmistaja. Se toimii yli sadassa maassa. Sen valikoimasta löytyy tällä hetkellä 25 erilaista robottia (ABB, linkki About). Kuvassa 24 olevan robotin käsittelykyky on 20 kg ja maksimi ulottuma 1,5 m. Robotti soveltuu muun muassa hiontaan ja koneistukseen.



KUVA 24. ABB:n IRB 2400-16 robotti (ABB, linkit tuotteet ja palvelut -> Robotit -> IRB 2400)

KUKA on saksalainen teollisuusrobotiikka ja automaatiojärjestelmien valmistava yritys, jonka myynti on noin 3 biljoonaa euroa (KUKA, linkki About KUKA). Sen

valikoimasta löytyy 30 teollisuusrobotia. Kuvassa 25 on kuusi akselinen KR30 sarjan robotti. Käsittelykyky robotilla on 30 kg ja maksimi ulottuma 2 m.



KUVA 25. KUKA teollisuusrobotti KR30-3 (KUKA, linkit Menu -> Product & Services -> Robot systems -> Industrial robots)

Motoman on Yaskawa Electric Corporationin robottiyksikkö, joka toimittaa robotteja ja robottijärjestelmiä. Motoman robotteja on asennettu ympäri maailman yli 300 000 (Motoman, linkki Yritys). Kuvassa 26 vasemmalla MH24 robotti 24 kg:n käsittelykyvyllä ja oikealla MH50-35 35 kg:n käsittelykyvyllä. Robotit ovat kuusi akselisia ja soveltuvat työstöön sekä useisiin muihin toimiin.



KUVA 26. Yaskawa Motoman MH24- ja MH50-35-mallit (Motoman, linkit Tuotteet -> Robotit 20 - 35 Kg)

3.5 Työkaluvaihtoehdot

Työkalujen valinta vaikuttaa robottijärjestelmän kokonaisuuteen. Hiontatyökalun paino on yksi robotin valinnan määrittävä tekijä.

3.5.1 Joustava lisäakseli

Paineilmalla toimiva Felxorbital 100 -sarjan työkaluissa on kaksi koko vaihtoehtoa, halkaisijat 120 ja 150. Työkalussa on kaksi sisäänrakennettua joustaa, jotka kompensoivat työkalun ja työkappaleen välistä kosketusta. Työkalu painaa 3,5 - 4,0 kg ja on mahdollista kiinnittää robottikäsiin. 150 halkaisijan työkalulla hintaa on 7 360 € (liite 1) (Ammann 2017). (Kuva 27.)



Technische Daten / Technical Data:

Typenbezeichnung	Type	FLEXORBITAL 120	FLEXORBITAL 150
Artikel-Nr.	Article-No.	3039.200	3039.250
Motorleistung	Power	186 W (0.25 hp)	336 W (0.46 hp)
Leerlaufdrehzahl	Idling speed	12'000 min ⁻¹ / rpm	12'000 min ⁻¹ / rpm
Auslenkmechanismus	Compliance mechanism	mit Eigengewicht-Ausgleichsfedern with dead weight compensation springs	
Orbitaldurchmesser	Orbital diameter	5 mm (3/16")	
Auslenkweg	Compliance movement	14 mm axial	
Auslenkkraft	Compliance force	ca. 60 N (13.5 lbf) bei / at 6 bar (87 psi)	
Vorschub	Feed forward rate	5 - 100 mm/sec.	
Luftverbrauch	Air consumption	6.6 l/s (14 cfm)	11 l/s (23 cfm)
Luftanschlüsse	Air connections	G¼", 12 mm / 4 mm	
Scheiben-ø	Wheel-ø	73 - 116 mm	73 - 152 mm
Gewicht:	Weight:	3.5 kg (7.7 lb)	4 kg (8.8 lb)

KUVA 27. Flexorbital 100 -sarjan hiova työkalu (AMTRU, linkit Robot application -> Tools -> Flexorbital100)

Robottiin kiinnitettävässä Angle-Grinder 200 -sarjan hiomakoneella voi työstää lähes kaikkia materiaaleja. Työkalulla on painoa 6,7 kg ja se toimii ilmanpaineella. Työkalun 251-malli maksaa 11 000 € (liite 1) (Ammann 2017). (Kuva 28.)



Technische Daten / Technical Data:

Typenbezeichnung	Type	ANGLE-GRINDER 251	ANGLE-GRINDER 261
Artikel-Nr.	Article-No.	3072.251	3072.261
Antrieb	Drive	pneumatisch / pneumatically	
Motorleistung	Power	2.5 kW (3.4 hp)	
Leerlaufdrehzahl	Idling speed	12'000 min ⁻¹ / rpm	8'500 min ⁻¹ / rpm
Auslenkweg	Compliance movement	28 mm axial	
Auslenkkraft	Compliance force	140 N (31.5 lbf) bei / at 6 bar (87.0 psi)	
Vorschub	Feed forward rate	50 - 200 mm/sec.	
Luftverbrauch	Air consumption	32 l/s (67.8 cfm)	
Luftanschlüsse	Air connections	G¾" / 4 mm	
Scheibenzentrierung	Wheel centring	ø ½"	
Scheiben-ø	Wheel-ø	110 - 125 mm	bis / up to 180 mm
Gewicht:	Weight:	6.7 kg (14.8 lb)	

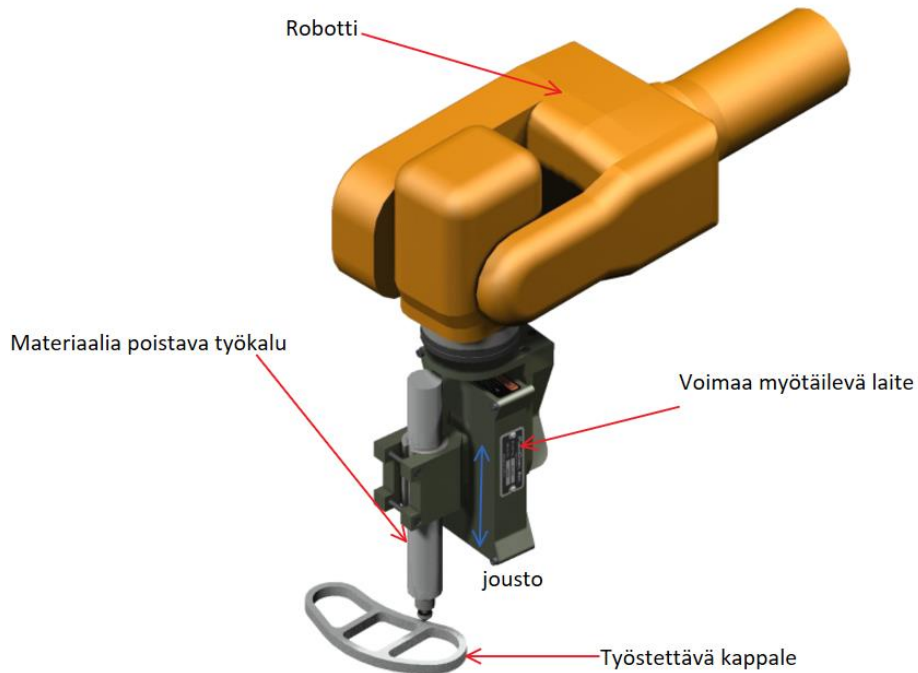
KUVA 28. Angle-Grinder 200 -sarjan hiova työkalu (AMTRU, linkit Robot application -> Tools -> Angle-Grinder series 200.)

FerRobotics tarjoaa robottiin kiinnitettäviä lisäakseleita. Näiden tehtävä on pitää hiottaessa hiomalaikan ja työstettävän kappaleen välillä tietty pintapaine. Työkalussa on integroitu painovoiman kompensointi, joka takaa voiman pysymisen samana orientaation muuttuessa. Active Contact Flangeen (ACF) voidaan kiinnittää erilaisia työkaluja tilanteesta riippuen. Liitteestä 2 löytyy tarkemmat tuotespesifikaatiot. (FerRobotics, linkit TECHNOLOGY & PRODUCTS -> PRODUCT DETAILS ACF.) (Kuva 29.)



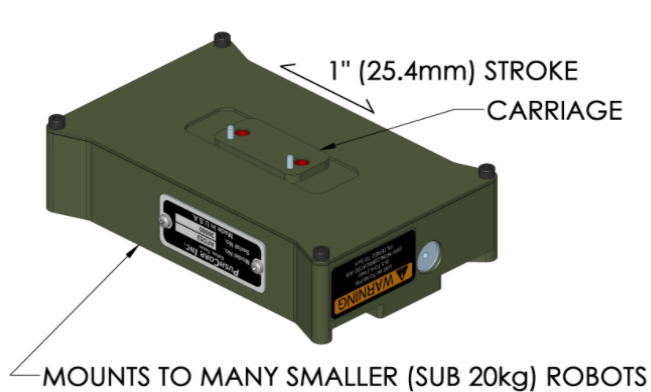
KUVA 29. Active contact flange (FerRobotics, linkki Technology & Products)

Amerikkalainen yritys PushCorp valmistaa robotisoituun hiontaan tarkoitettuja työkaluja. Yrityksen valikoimassa on sekä aktiivisen ohjauksen että passiivisen ohjauksen työkaluja monesta eri painoluokasta (PushCorp, linkki Compliant Tools). Lisäksi yrityksellä on oma karatekniikkansa, joka mahdollistaa automaattisen työkaluvaihdon (PushCorp, linkki Electric Spindles). Sen työkalut soveltuvat sekä kevyeen viimeistelyyn että raskaaseen aineenpoistoon. Kuvassa 30 on esimerkki, miten joustavaa elementtiä voidaan hyödyntää robotin kärkeä.



KUVA 30. Robottiin kiinnitetty PushCorpin joustoyksikkö (PushCorp, linkit Products -> Compliant Tools -> AFD52)

Kuvassa 30 käytetään AFD52 passiivisesti ohjattua laitetta, jonka paino on noin 1 kg ja pystyy toimimaan 4 kg:n työkalun kanssa. Jousto on toteutettu ilmanpaineella. Työkalu soveltuu pieniin sovelluksiin. (Kuva 31.)



SPECIFICATIONS

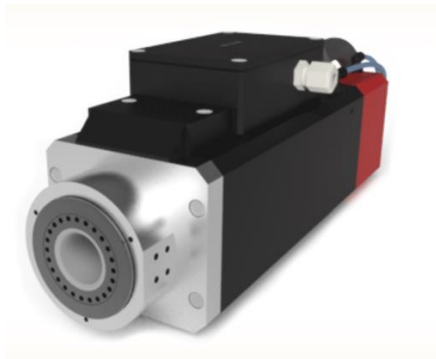
Max Applied Force:	8.0 lbs [37 N]
Max Payload	8.0 lbs [4 kg]
Weight:	
Weight:	2.5 lbs [1.1 Kg]
(excluding payload)	
Compliant Stroke:	1.0 in [25 mm]
Supply Air:	Dry, 5µm Filtered, Non-lubricated, 80 psi [5.5 Bar] max

*Specifications subject to change without notice.
U.S. Patent No. 5,448,146*

KUVA 31. PushCorpin AFD52 passiivinen joustoelementti (PushCorp, linkit Compliant tool -> Passive Compliance -> AFD52)

3.5.2 Moottori ja lisälaitteet

Suomalainen Robokara toimittaa työstökaroja robotteihin. Karojen etuna on joustava työkalunvaihto ja monipuolinen työkalu valikoima. Robottikaraan voidaan kiinnittää erilaisia teriä tai laikkoja. Robottikaroja on monesta eri kokoluokasta. Kuvassa on keskikokoluokan kara eli 3,6 - 7,3 kilowattia. Pienimmät karat alkavat 350 watista ja suurimmat ovat yli 20 kilowattia. Sähköiset karat ovat painavia, joten niiden käyttöä kannattaa harkita tarkemmin järjestelmää hankittaessa. (Kuva 32.)



KUVA 32. Robottiin kiinnitettävä työstökara (Robokara, linkki Tuotteet)

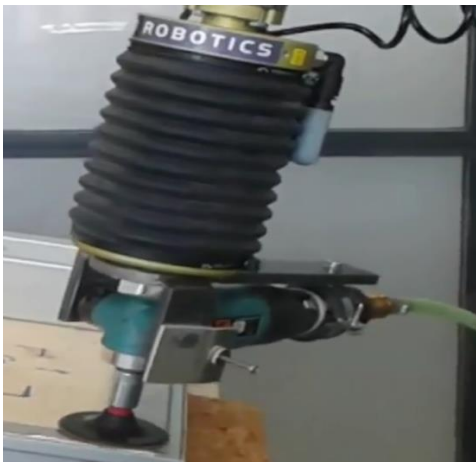
Markkinoilla on myös pneumatiikalla toimivia karoja, joiden kiinnitys onnistuu robottiin. Niiden etuna on keveys ja korkea pyörimisnopeus. Edullisin ratkaisu olisi robottitarttuja, joka pitäisi kiinni pienestä pneumatiikkakarasta. (Tossavainen 2017.)

Kuvassa 33 on PushCorpin pikakiinnitin tekniikka. Tämän tyylliset kiinnittimet ovat mahdollista kiinnittää esimerkiksi PushCorpin omaan karatekniikkaansa. Pikakiinnitin kiinnitettynä robottikaraan mahdollistaa nopean ja yksinkertaisen työkalun vaihdon (Hakaluoto 2017).



KUVA 33. Työkalunpidin ja hiomalaikka (PushCorp, linkit Products -> Accessories -> Tool Holder)

On myös mahdollista kiinnittää joustavaan elementtiin toimiva hiomakone. Esimerkiksi kuvassa 34 on kiinnitetty kulmahiomakone FerRoboticsin joustoelementtiin. Tällä tavalla Työkalujen yhteispaino saadaan pieneksi. Ratkaisussa hiomalaikan ja työkalun vaihtaminen on haastava toteuttaa.



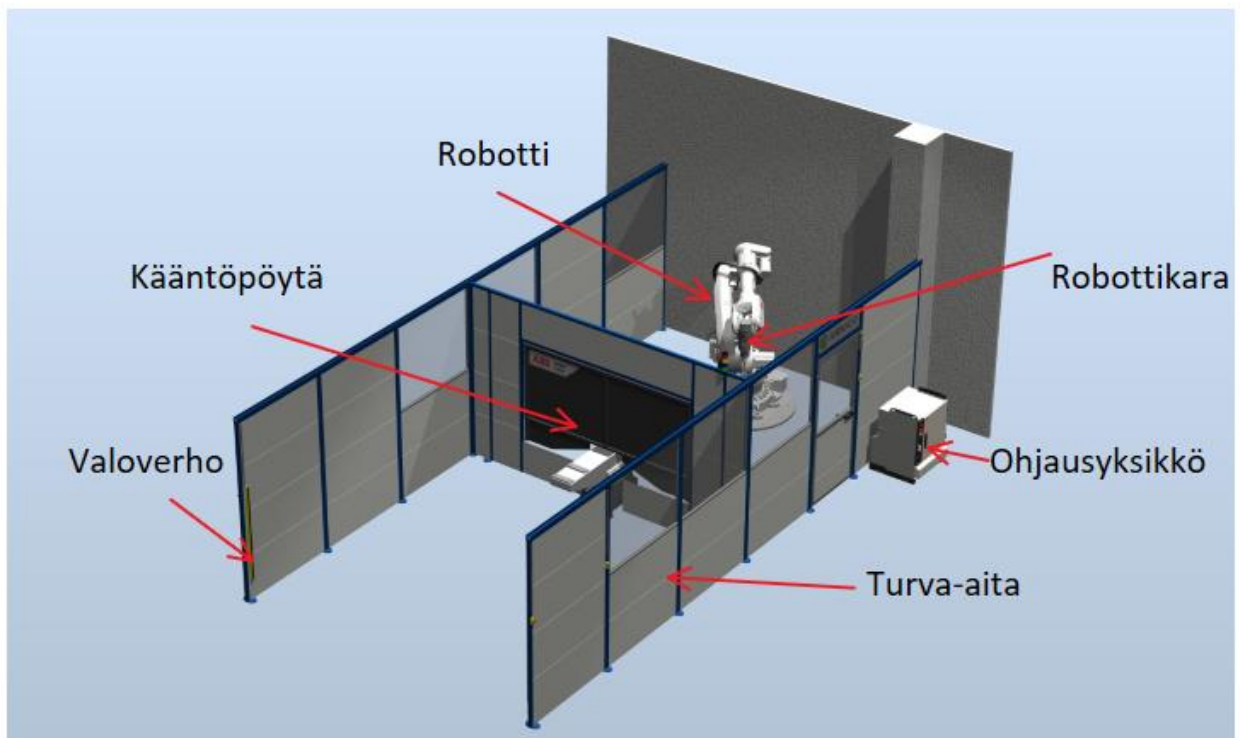
KUVA 34. ACF ja kulmahiomakone (FerRobotics Channel, linkki Slurring of welded door seam)

3.6 Soluesimerkki

Kuvassa 35 on Roboco yritykseltä saatu soluesimerkki. Solussa oleva robotti poistaa materiaalia koneistamalla. Sen jälkeen robotti vaihtaa työkalun epäkesko hiomalaikkaan ja viimeistelee kappaleen. Työkalun vaihdossa käytetään vastaavaa tekniikkaa kuin kuvassa 33.

Kiinnitys ja kappaleen vaihto on hoidettu ABB:n kääntyvällä pöydällä. Kääntöpöydän takana voi olla saman aikaisesti, kun robotti työskentelee. Tällainen ratkaisu mahdollistaa robotin työskentelyn lähes pysähdyksettä. Kääntöpöydän takana toimiva työntekijä voi tarkastaa kappaleen ja tarvittaessa viimeistellä tuotteen. (Kuva 35.)

Solu on suojattu läpäisemättömällä aidalla, joten sinkoutumisesta syntyvää vaaraa ei tule tai sinkoutumisesta syntyvä vaara pienenee huomattavasti. Turvallisen toiminnan kannalta aitaus on tärkeää. (Kuva 35.)



KUVA 35. Esimerkkiratkaisu lastuavaa työtä tekevästä robotisolusta (Hakaluoto 2017)

3.6.1 Kappaleen kiinnitys ja käsittely

Kappaleiden käsittely ja kiinnitys ovat yksi toimivan robottijärjestelmän kulmakivistä. Kuvassa 35 kappaleen kiinnittäminen ja käsittely on hoidettu ihmisen toimesta. Ihminen kiinnittää työstettävän kappaleen kääntöpöytään ja robotti työstää kappaletta pöydän toisella puolella. Tällä tavalla ihminen voi turvallisesti työskennellä syöttöpuolella samaan aikaan, kun robotti työskentelee työstöpuolella.

Tällaisella kiinnityksellä ratkaistaan työstettävään kappaleeseen tarttuminen ja sen tarkistaminen. Tarvittaessa ihminen voi viimeistellä robotin jäljen. Ratkaisu sitoo työpisteelle yhden työntekijän, mutta ratkaisee monta ongelmaa.

3.6.2 Suojaus

Turvallisuuden näkökulmasta tällaisessa sovelluksessa on useita huomioitavia asioita. Hiottaessa hiomalaikka voi hajota ja siitä syntyy vaaratilanne. Sinkoaminen voidaan suojata kuten kuvassa 35 umpinaisella aitauksella. (Hakaluoto 2017.)

Toinen huomioitava asia on pölynpoiston toteutus. Lastuavassa työssä syntyy metallipölyä. Pöly on muun muassa terveydelle vaarallista. Pölynpoiston voi toteuttaa erilaisilla imureilla tai hiontalaitteeseen integroidulla pölynpoistolla. Pölynpoiston voi suorittaa myös robottisolun käyttäjä työvuoron päätteeksi. (Hakaluoto 2017.)

4 YHTEENVETO

Työn tavoite oli kartoittaa, millä tavalla hionnan automatisointi kannattaa toteuttaa ja mitä asioita automatisoinnissa on otettava huomioon. Toteutus keskittyi tietyn tuoteperheeseen, mutta tulosten soveltaminen onnistuu muillekin tuotteille.

Hiova robottijärjestelmä osoittautui parhaaksi toteutusvaihtoehdoksi. Robottijärjestelmän edut ovat sen joustavuudessa ja monipuolisuudessa. Kun työkalujen vaihto on mahdollista, työstömahdollisuudet eivät rajoitu ainoastaan hiontaan. Robotin työstöalue on suuri, ja sillä on mahdollista tehdä monimutkaisia ja automatisoituja liikeratoja.

Hionnan prosessiparametrit voidaan tallentaa. Siitä on merkittävä etu tasalaatuisuuden saavuttamiseksi. Kun prosessiparametrit on tallennettu, saatua tietoa voidaan hyödyntää jatkossa.

Työ keskittyi voimanhjauksen ja hionnan toteutukseen. Voimaohjauksen toteutuksessa tulee huomioida useita seikkoja, esimerkiksi toteutetaanko voimanhjaus adaptiivisesti vai kiinnitettyllä lisäakselilla. Voimaohjattu työkalu voi olla joko robotin kädessä kiinni tai kiinnitettynä maahan. Voimaohjattu työkalu voi käyttää passiivista tai aktiivista ohjausta.

Robotin valinnalla voidaan vaikuttaa järjestelmäkustannuksiin ja toteutukseen. Robotin valintaan vaikuttavat työkalun paino ja haluttu ulottuvuus. Robotin valinnassa täytyy huomioida sen ohjelmoitavuus ja huollettavuus.

Yhteistyörobotin soveltamista ei kannata sulkea pois. Tällä hetkellä niiden käsittelykyky ei ole niin hyvä, että niiden käyttö olisi järkevää. Tekniikan kehitys voi avata uusia mahdollisuuksia niiden hyödyntämiseen. Yhteistyörobottien helppo käytettävyys ja pieni tilan tarve tekevät niistä seuraamisen arvoisia.

Automaattisessa robottijärjestelmässä tulee suunnitella työstettävän kappaleen kiinnitys, liikuttelu ja tarkistaminen. Näiden tarkempi suunnittelu rajattiin työn ulkopuolelle. Lopullisen järjestelmän kannalta on oleellista tietää, millä tavalla kappaletta liikutellaan ja millä tavalla se kiinnitetään.

Ohjelmointi voidaan toteuttaa esimerkiksi etäohjelmoimalla tai opettamalla ohjelmoimalla. Ohjelmointitavaksi riittää perinteinen opettamalla ohjelmointi, jos robottisolun tehostamisella ei saavuteta suurta hyötyä. Myös ohjelmointimenetelmiin tulee kiinnittää huomiota. Piirrepohjaisella ohjelmoinnilla on mahdollista säästää ohjelmointiin käytettyä aikaa, jos siihen löytyy osaamista.

Toimivan robottisolun täytyy olla turvallinen. Hiontasovelluksissa sinkoutumisvaara ja pölynpoisto pitää huomioida. Näiden lisäksi perinteisiltä teollisuusroboiteilta vaaditaan normaalit suojaustoimenpiteet, kuten valoverhot ja aidat.

Automatisoinnin kannattavuutta oli vaikea arvioida, koska muuttuvia tekijöitä on paljon. Opinnäytetyön myötä kannattavuuden arviointi helpottuu, sillä toteutettavalle menetelmälle voidaan luoda hinta-arvio.

Lopullisien ratkaisun muodostuminen oli monen tekijän summa. Nykyään painotetaan automaation tärkeyttä talouden ja viennin edistämiseksi. Robotiikka on osa tätä automaation kehitystä. Tämä on muokannut omaa ajattelua alusta alkaen robottijärjestelmän suuntaan. Voi olla, että täysin erilainen automaatioratkaistu olisi mahdollinen.

Työ pohjautui teoriaan ja empiiriseen tietoon. Teorian vastaaminen käytäntöä on vaikea arvioida. Menetelmäkokeilla olisi saavutettu parempi ymmärrys teorian ja käytännön välisistä eroista. Menetelmäkokeiden uupuminen voidaan ajatella työn puutteeksi.

Hyödyllisissä menetelmäkokeissa olisi pitänyt olla käytössä robotti, joustoelementti, hiomatyökalu ja erilaisia hiomalaikkoja. Menetelmäkokeet olisi voitu suo-

rittää myös hiontamenetelmän tutkimiseksi. Kuitenkin puhtaasi hionnan tutkiminen ei ollut mielestäni työn tavoitteiden mukaista ja olisi ohjannut työhön käytettäviä resursseja väärään suuntaan.

Huomion arvoista hionnan automatisoinnissa on huomioida koko valmistusprosessi. Käsins hitsatessa laatu voi olla riittävä. Ihminen on kuitenkin taipuvainen virheisiin ja henkilöiden välisissä hitsauslaaduissa on eroa. Nämä erot aiheuttavat mittavirheitä, jotka ovat ongelmallisia automatoitaessa hiontaprosessia.

Jatkokehityskohteita ovat työstettävien kappaleiden liikuttelu ja kiinnittäminen sekä hiontamenetelmän varmistaminen. On tärkeää tarkentaa automatisoinnin tavoitteita, jotta projektia kannattaa jatkaa. Tavoitteen muuttaminen vastaamaan numeroarvoja mahdollistaa automatisoinnin kriittisen arvioinnin ja asettaa hankinnalle raamit.

Työn tekeminen oli haastavaa. Menetelmän rajaaminen teollisuusrobotti ratkaisuun ja sen tarkentaminen hiovaan robottiratkaisuun mahdollistivat vasta asiaan syventymisen. Ymmärsin työn edetessä, että vaihtoehtojen kartoittaminen oli aikaa vievää eikä täydellistä ratkaisua ehkä ole. Työn etenemisen kannalta tarkempien rajausten tekeminen oli pakollista. Rajausten tekeminen oli vaikeaa, sillä kun rajataan jotain ulkopuolelle, toteutettavat vaihtoehdot vähenevät. Kun vaihtoehdot vähenevät, alkaa mielessä pyöriä ajatukset, olivatko rajaukset oikeita ja olivatko rajaukset toimeksiantajan toivomusten mukaiset.

Rajausten tekeminen voi vaikuttaa itsestään selvältä, mutta työtä tehtäessä se ei tuntunut siltä. Työ oli opettavainen ja haastava niin sisältönsä kuin laajuutensa puolesta.

LÄHTEET

Ammann, Bruno 2017. AW: Robotic grinding and finishing. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Antti Heikkilä. 20.4.2017.

ATI Industrial Automation. Saatavissa: <http://www.ati-ia.com/>. Hakupäivä 4.5.2017.

Bélanger-Barrette, Mathieu 2015. Collaborative robot ebook. 6., painos. Canada: Robotiq.

Billing Mikael 2012. Oppimisympäristö robotiikan ja etäohjelmoinnin opetukseen. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Celermec Oy. Saatavissa: <http://www.celermec.fi/>. Hakupäivä 25.5.2017.

Erlbacher, Edwin 2000. Force Control Basics. Industrial robot; Bedford. vol. 27, nro 1. S. 22 - 29. Saatavissa: <http://www.pushcorp.com/technical-papers.html>. Hakupäivä 11.5.2017

FerRobotics Channel 2017. Slurring of welded door seam. Video. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=wTD7jtP3H2I>. Hakupäivä 22.5.2017.

FerRobotics. Saatavissa: http://www.ferrobotics.com/fileadmin/user_upload/ACF_Datasheet_EN_04-2017.pdf. Hakupäivä 22.5.2017

Godwin, Lester 1996. Programming with force control. PushCorp Inc. Saatavissa: <http://www.pushcorp.com/pages/technical-papers/Programming-with-Force-Control.pdf>. Hakupäivä 12.5.2017.

Hakaluoto, Oskari 2017. Toimitusjohtaja, Roboco. Puhelinhaastattelu 24.4.2017.

Hakaluoto, Oskari 2017. RE: Hionnan automatisoinnin haastattelun ajankohta ja alustus. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Antti Heikkilä. 24.4.2017.

Hiltunen, Elina – Hiltunen, Kari 2014. Teknoelämää 2035. Miten teknologia muuttaa tulevaisuuttamme. Helsinki: Talentum.

Ihalainen, Erkki – Aaltonen, Kalevi – Aromäki, Mauri – Sihvonen, Pentti 1998. Valmistustekniikka. 7., muuttumaton painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Integrated Force Control. Robotic real-time tactile feedback. Fully integrated force control technology. 2014. ABB Robotics. ABB group. Saatavissa: https://library.e.abb.com/public/0bd0c7f682b2c035c1257cd90028b4e4/Integrated%20Force%20Control_External.pdf. Hakupäivä 19.5.2017.

Jenkins, Hodge 2005. Design of Robotic End Effectors. Teoksessa Kurfess, Thomas (toim.). Robotics and Automation Handbook 2005. Boca Raton: CRC Press.

Korhonen, Eero 2016. T313003 Tuotantoautomaatio 3 op. Ohjauslaitteenva-
linta. Kurssimateriaali. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, konetekniikan
koulutusohjelma.

Kuivanen, Risto 1999. Robotiikka. Suomen Robotiikkayhdistys Ry. Vantaa: Ta-
lentum.

L 12.6.2008/400. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. Finlex.
Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400#L2P5>. Haku-
päivä 9.5.2017.

Laitinen, Mika 2017. Solution Sales Director, Fastems. Puhelinhaastattelu
10.4.2017.

Makita. Saatavissa: <https://www.makita.fi/>. Hakupäivä 1.5.2017.

Malm, Timo 2008. Robottijärjestelmien uudet tekniikat. Suomen robotiikkayhdis-
tys. VTT.

Maaranen, Keijo 2012. Koneistus. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Macron Dynamics INC. Saatavissa: <http://www.macrondynamics.com/>. Hakupäivä 7.4.2017.

Omron Adept Technologies. Saatavissa: <http://www.adept.com/>. Hakupäivä 1.5.2017

Pilz. Saatavissa: <https://www.pilz.com/en-INT>. Hakupäivä 5.5.2017.

SFS-EN ISO 10218 - 1. 2011. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Helsinki: Suomen standarditoimisiitto SFS.

Stone, Wesley 2005. History of Robotics. Teoksessa Kurfess, Thomas (toim.). Robotics and automation handbook 2005. Boca Raton: CRC Press.

Tossavainen, Eki 2017. VS: Demo robottihionnasta. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Antti Heikkilä. 4.5.2017.

Universal Robots. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/>. Hakupäivä 1.5.2017

Ventä, Olli 2017. Robotisaatio säilyttää työpaikkoja Suomessa. VTT. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/medialle/robotisaatio-s%C3%A4ilytt%C3%A4%C3%A4-ty%C3%B6paikkoja-suomessa>. Hakupäivä 28.2.2017.



Amtru Business AG
 Schulstrasse 11
 CH-8542 Wiesendangen
 Telefon +41 52 320 91 10
 Telefax +41 52 320 91 12
 e-mail: info@amtru.com
 www.amtru.com

Oulu University

Antti Heikkilä, Student at Oamk

Finland

Quotation No. 5809QT17

Wiesendangen, 19. Apr 2017

1. Material

Pos.	Article-No.	Type	Quant.	List price
1	3039.250	FLEXORBITAL 150 336W; Idling speed: 12'000 rpm; 5mm excentric stoke; with axial compliance	1	EUR 7'363.00
2	3072.251	ANGLE-GRINDER 251 2.5 kW; idling speed 12'000 rpm; Angle grinding tool pneumatically with compliance	1	EUR 11'000.00
3	3077.211	ANGLE-GRINDER 410 4.5 kW; idling speed 8'500 rpm; Angle grinding tool pneumatically with compliance	1	EUR 13'000.00

2. Conditions

General Conditions:	For the delivery the "General Conditions of Supply" of Amtru Business AG are valid (see www.amtru.com/downloads/conditions.pdf).
Terms of delivery:	EXW Wiesendangen, Switzerland (INCOTERMS 2010) excl. packing, excl. VAT
Terms of payment:	100% payment in advance
Delivery:	in stock (subject to goods being unsold)
Validity of quotation:	1 month after date of issue

If you require any further information, please do not hesitate to contact us.

Best Regards
Amtru Business AG



ACF ACTIVE CONTACT FLANGE

Our patented technology instantly automates jobs with a high demand for sensitivity and flexibility. It guarantees extremely short cycle times and radical economic ROI, even with delicate applications. The ACF automates problematic manual work and guarantees high standards of quality. It works with every robot. This even makes retrofitting unbelievably easy and persuasive.

Surface treatment: Sand, polish, clean, laminate, strip, brush, remove burrs, iron
All materials: Steel, aluminum, titanium, magnesium, carbon, plastic, wood, ceramic, coconut fibres, ...
Contact-sensitive handling: Pick & place, insert, tape, join, pack, assembly, glue, component-testing, quality inspection

**PATENTED
TECHNOLOGY**

FR
FERROBOTICS
perfect feeling

ACF

ACTIVE CONTACT FLANGE

Defined contact force

Interactive compensation for surface tolerances up to 100 mm with guaranteed consistent contact force. No adaptation of the robot tracks.

Integrated gravitation compensation

The process force remains constant even with changing orientations. No additional application programming required.

ACF HD

- Shorter payback time
- 6 times higher load capacity
- Larger removal rate
- Low weight
- Size unchanged



Passive security and high-speed control

Mechatronic actuator and sensor element with a high degree of process security using a robust mechanical construction with integrated passive security and high-speed control.

Simple system integration – highest quality standards

Cleverly simple integration using standard interfaces. The constant feedback on the contact situation, position and actual force smoothly performs the quality inspection.

ACF XS

- Designed for small robots
- 60 % less weight
- For work spaces within 1000 mm
- Ideal for bonding, joining, pressing, insertion, marking, ironing, lamination, ...



SPECIFICATIONS

Produkt	ACF/ 110/01 XS	ACF/ 111/ 01XSHD	ACF/ 110/04	ACF/ 110/10	ACF/ 111/04HD	ACF/ 111/05HD	ACF/ 111/10HD	ACF/ 121/05HD	ACF/ 121/10HD	ACF/ 131/05HD	ACF/ 131/10HD
Max. Force (push/pull) [N]	100	100	100	100	200	250	250	500	500	800	800
Stroke [mm]	11.5	11.5	35.5	98	35.5	48	98	48	98	48	98
Dead weight [kg]	1.2	1.4	3.2	3.5	3.5	4.9	6.1	5.1	6.3	5.3	6.5
Max. overturning moment [Nm]	25	25	40	40	250	350	350	350	350	350	350
Max. torsional moment [Nm]	35	35	30	30	250	350	350	350	350	350	350
Height at stroke = 0 mm [mm]	143.7	160.7	190.5	253	200.5	236.7	286.7	236.7	286.7	236.7	286.7
Cross-section area	90 x 75	90 x 75	ø128	ø128	ø128	ø160	ø160	ø160	ø160	ø160	ø160
Bolt circle ISO 9409-1 standard flange [mm]	ø50	ø50	ø50	ø50	ø80	ø80	ø80	ø80	ø80	ø80	ø80
Protection class	IP 40	IP 65									
Operating medium	Max. 7 bar, 30 µm, ISO 8573-1 Kl.3 (oil & waterfree)										
Air consumption	5-10 l/min										
Communication interface	Standard: Ethernet TCP/IP Optional: Ethernet IP, DeviceNet, Profibus, ProfiNet, CANopen, Analog I/O ...										
Ambient temperature	+5 ... +45 °C										
Power supply	Standard: DC 24 V / 2 A Optional Service: 24 V / 4 A										