

Opinnäytetyö (AMK)
Kone- ja tuotantotekniikka
Koneautomaatio
2014

Roni Oksanen

ROBOTTIHIONTASOLUN KEHITTÄMINEN



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Koneautomaatio

Joulukuu 2014 | 48

Timo Vaskikari

Roni Oksanen

ROBOTTIHIONTASOLUN KEHITTÄMINEN

Tämän opinnäytetyön aiheena on robottihiontasolun kehittäminen, ja työn toimeksiantajana oli salolainen Piironen Oy. Tarkoituksena oli tutkia hiontarobottisolun käytön laajentamista uusiin tuotteisiin ja kehittää solussa tehtävää hiontaa uusien tuotteiden mukaisesti.

Ensin tutkittiin solun lähtötilaa toimilaitteiden ominaisuuksiin ja hiontaan jo soveltuviin kappaleisiin tutustumalla. Soluun tutustumalla huomattiin, että olemassa olevilla toimilaitteilla solun kehittäminen on mahdollista ja kannattavaa.

Seuraavaksi suunniteltiin robottihiontasolun kehittämistä, jota varten solun toiminta jaettiin osa-alueisiin: kappaleiden siirto soluun ja solusta pois, kappaleiden työstö, kappaleiden käsittely robotilla ja oheisvälineet. Jokaisesta osa-alueesta etsittiin erilaisia vaihtoehtoja ja tutkittiin löydettyjen vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia.

Seuraavaksi tehtiin herkkyysanalyysi edellisen kohdan jaottelua käyttämällä ja arvioitiin jokainen vaihtoehto käyttäen vahvemmin painotettuja kertoimia muuttujille, joita pidettiin tärkeinä. Arvioinnin lopuksi saatuja tuloksia analysoitiin ja perusteltiin.

Lopuksi arvioitiin investointien vaikutuksia ja euromääräisiä hintoja, sekä suunniteltiin investointien toteuttamista. Suunnitelmista parhaaksi valikoitui erilaisten vaihtoehtojen yhdistelmä, jossa investoinnit tehdään vaiheittain.

ASIASANAT:

hionta, kiillotus, lastuava työstö, robotti, automatisointi, tarttuja, herkkyysanalyysi,

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Machine Automation

December 2014 | 48

Marjo Aaltonen

Roni Oksanen

IMPROVEMENT OF A ROBOTIC GRINDING CELL

The subject of this Bachelor's thesis was the improvement of a robotic grinding cell and the commissioner for it was Piironen Ltd. located in Salo, Finland. The aim was to study and expand the usage of the cell to the new products and improve the grinding committed in the cell according to the new product specifications.

At the beginning the starting situation of the cell, the equipment inside it and the products already being machined were studied. After the study it was noticed that with the existing equipment the improvement of the cell was possible and lucrative.

The next step was to study the improvement of the robotic grinding cell for which the operation of the cell was divided into four sectors: transferring products into and out from the cell, product machining, handling of the products with the robot and peripherals. Different options for improvement were then searched within the partitions and they were then studied to find pros and cons.

In the next part a sensitivity analysis was conducted using the partitions from the previous part and each of the options was evaluated using more heavily weighted multipliers for variables that were deemed more important. After the evaluation the results were then analyzed and justified.

Finally, the effects and monetary costs of the investments were estimated and the implementation of the investments was planned. The most lucrative choice was found out to be the combination of several different techniques with the investments implemented in phases.

KEYWORDS:

grinding, polishing, machining, robot, automatization, gripper, sensitivity analysis

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 ROBOTTISOLUN NYKYTILANNE	8
2.1 Robottisolun layout	8
2.2 Toimilaitteet	9
2.3 Soveltuvuus uusille tuotteille	12
3 ROBOTTIHIONNAN KEHITTÄMINEN	13
3.1 Lähtökohdat	13
3.2 Kappaleiden siirto soluun ja solusta pois	15
3.2.1 Hihnakuuljetin	15
3.2.2 Konenäkö	17
3.2.3 Paletti	18
3.2.4 Paletti ja hihnakuuljetin	19
3.3 Kappaleiden työstö	20
3.3.1 Läpöhionta	21
3.3.2 Nauvahionta ja kiillotus	21
3.3.3 Laikkahionta	23
3.3.4 Jäysteenpoisto jigissä	24
3.3.5 Jäysteenpoisto	25
3.4 Kappaleen käsittely robotilla	26
3.4.1 Tarttuvavaihtoehdot	27
3.4.2 Tarttujen sormet	29
3.4.3 Kiinnitysosa	31
3.5 Oheisvälineet	33
4 HERKKYYSANALYYSI	35
4.1 Kappaleiden siirto soluun ja solusta pois	35
4.2 Kappaleiden työstö	37
4.3 Tarttumat	39
4.4 Herkkyyksianalyysin lopputulos	40
5 INVESTOINTISUUNNITELMA	42

6 YHTEENVETO	45
---------------------	-----------

LÄHTEET	47
----------------	-----------

KUVAT

Kuva 1. Robottisolun layout.	8
Kuva 2. Teollisuusrobotti Motoman-ES165N (Motoman 2014, 1).	9
Kuva 3. Sarjan 72730 nauhahionta- ja kiillotuskone (IBS 2014, 17).	10
Kuva 4. Hihnakuuljetin (Motoman 2010).	11
Kuva 5. Esimerkkikappale 1.	14
Kuva 6. Esimerkkikappale 2.	14
Kuva 7. Operaattori asettaa hiontaan menevät kappaleet liukuhihnalle solun ulkopuolella.	16
Kuva 8. Esimerkkikappale paletissa 1.	18
Kuva 9. Esimerkkikappale paletissa 2.	18
Kuva 10. Nauhahioma- ja kiillotuskoneet	22
Kuva 11. Jäysteenpoistopää robottiin - Amtru Flexicut 1000 (Amtru 2014, 2).	24
Kuva 12. PGN-plus 200-2 -tarttuja sormineen kiinni robotissa.	27
Kuva 13. Esimerkkisormi suorakulmaiselle putkelle.	30
Kuva 14. Esimerkkisormi läpihiontaan.	30
Kuva 15. Esimerkkisormi ympyräputkelle.	31
Kuva 16. Osan vaihtaja (IPR 2006, 5).	32
Kuva 17. Kiinnitysosa kahdelle tarttujalle.	32
Kuva 18. Tarttuja- ja suoristustelineet.	34

TAULUKOT

Taulukko 1. PGN-plus 200-2 (Schunk 2010, 248).	28
Taulukko 2. PGN-plus 240-2 (Schunk 2010, 258).	29
Taulukko 3. Arviointi: Kappaleiden siirto soluun ja solusta pois.	36
Taulukko 4. Arviointi: Kappaleiden työstö.	38
Taulukko 5. Arviointi: Tarttujat.	40
Taulukko 6. Herkkyysanalyysin lopputulos.	41
Taulukko 7. Investoinnit ja kehittämiskohteet ja niiden kustannukset.	42

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

Jigi	Apuvälineet, jotka mahdollistavat kappaleen kiinnityksen esimerkiksi työstöpenkkiin aina samalla tavalla.
IPR	Intelligente Peripherien fuer Roboter GmbH.
Paletti	Alusta, jolle kappaleet asetetaan tietyllä tavalla ja jolla ne siirretään esimerkiksi koneistettavaksi.
Läpihionta	Orbitaalinauhahionta.
Kiillotus	Viimeistelyhionta, suoritetaan työstön loppuvaiheessa.
Liukuhihna	Hihnakuuljetin.
Hiomakivi	Hiomalaikka, joka on valmistettu kivenkaltaisesta materiaalista
Tarttuja	Kappaleen käsittelyrobotin osa, joka liikkuu saaden aikaan otteen kappaleesta.
Sormi	Robotin tarttujaan kiinnitettävä osa, joka on yhteydessä käsiteltävään kappaleeseen.

1 JOHDANTO

Robottihionta on Suomessa verrattain harvinainen robottiautomaation alalaji, minkä vuoksi sen käytöllä voi erityisesti olla kilpailun kannalta positiivisia vaikutuksia. Hiontaa ei kuitenkaan ole helppo toteuttaa robotilla automaattisesti, vaan sen onnistunut toteuttaminen vaatii epätavallisten asioiden huomioimista suunnitteluvaiheessa.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii salolainen Piironen Oy, joka on vuonna 1949 perustettu perheyritys. Yritys toimii neljällä eri liiketoiminta-alueella, jotka ovat metallin pintakäsittely, metallikomponenttien tuotekehitys ja valmistus, muotopuristaminen ja verhoilupalvelut sekä julkitilakalusteiden suunnittelu, myynti ja markkinointi. Yrityksen tuotantotilat ja pääkonttori sijaitsevat Salossa, ja se työllistää noin 100 henkilöä. (Piironen, 2014)

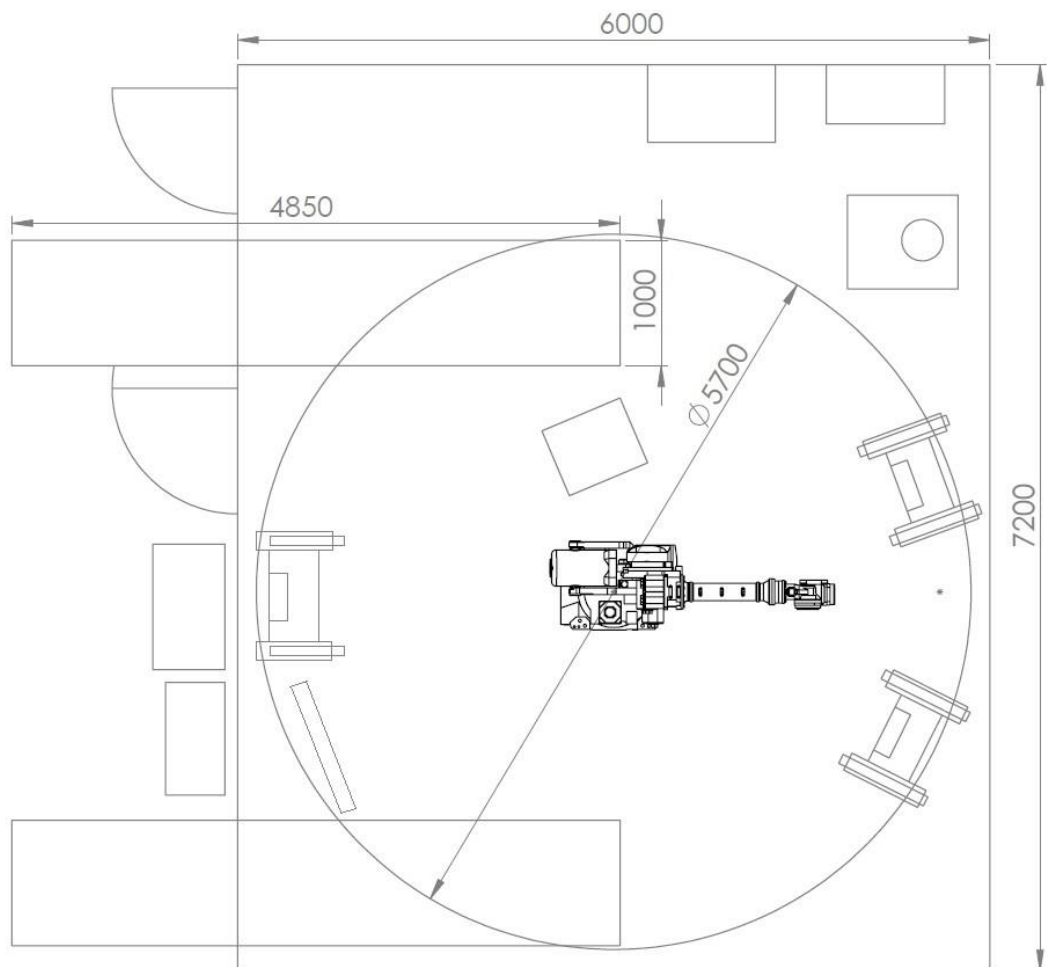
Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia olemassa olevan robottihiontasolun toiminnan laajentamista uusiin tuotteisiin ja suunnitella solun kehittämistä esimerkiksi erilaisiin hiontatekniikoihin ja muihin työstömenetelmiin tutustumalla, ominaisuuksia arvioimalla ja käyttöönottoa ja hankintaa suunnittelemalla. Robottihiontasolussa on alkutilanteessa runsaasti kehittämismahdollisuutta, jonka saaminen hyötykäyttöön olisi tuotannon tehostamisen kannalta tärkeää.

Työn tekemisen suunniteltiin kestävän noin puolen vuoden ajan, ja sitä suunniteltiin tehtäväksi yrityksen toimitiloissa ja muualla tarpeen mukaan.

2 ROBOTTISOLUN NYKYTILANNE

2.1 Robottisolun layout

Robottisolu sijaitsee yrityksen tuotantotiloissa, ja sille on varattu noin 6 x 8 metrin kokoinen alue. Solu on rajattu ympäristöstään turva-aidoin, ja ovissa on sensorit, joilla varmistetaan, ettei alueella ole ketään sinne kuulumatonta ennen robotityöstön aloittamista. Hihnakuuljetinten toinen pää on solun ulkopuolella, joten niiden kanssa soluun voidaan siirtää kappaleita ilman, että turvaovia tarvitsee avata. (Kuva 1.)



Kuva 1. Robottisolun layout.

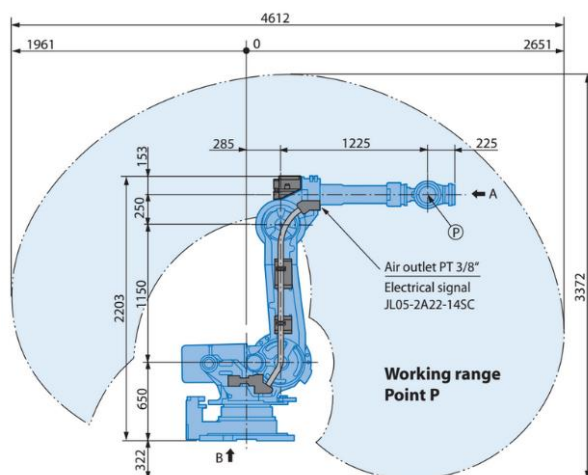
Solun sisälle robotin ulottuville on hiontaa varten sijoitettu kaksi nauhahiomakonetta ja kiillotuskone, joiden lisäksi solussa on hionnassa syntyvän pölyn vuoksi tarpeellinen imuri, robotin vaihtopäiden teline, liukuhihnat ja paineilman ja toimilaitteiden päävirtakytkimet. Robotin ohjaus ja virrankytkentä, sekä toimilaitteiden yhteyttä robottiin kontrolloiva yksikkö ovat puolestaan sijoitettuina solun ulkopuolelle.

2.2 Toimilaitteet

Tässä osassa käsitellään robottisolussa alkutilanteessa olevat tärkeimmät toimilaitteet ja niiden robottihionnan kannalta tärkeimmät ominaisuudet. Toimilaitteisiin kuuluvat robotin lisäksi, nauhahioma- ja kiillotuskoneet ja hihnakujujettimet.

Motoman-ES165N teollisuusrobotti

Solussa oleva Yaskawa-Motoman ES165N -robotti (kuva 2.) on ominaisuuksiltaan hyvin robottihiontakäyttöön soveltuva. Robotin suuri toimintasäde ja korkea 165 kg:n kappaleiden käsittelykapasiteetti mahdollistavat laajan tuotekirjon hionnan. Myös robotin tarkkuus ($\pm 0,2$ mm) on hionnan kannalta riittävä. Robotti on lähtökohtaisesti tarkoitettu hitsauskäyttöön ja kappaleiden käsittely käyttöön, joten ulottuvuuksiltaan ja liikeradoiltaan se soveltuu myös hyvin hiontarobotiksi.



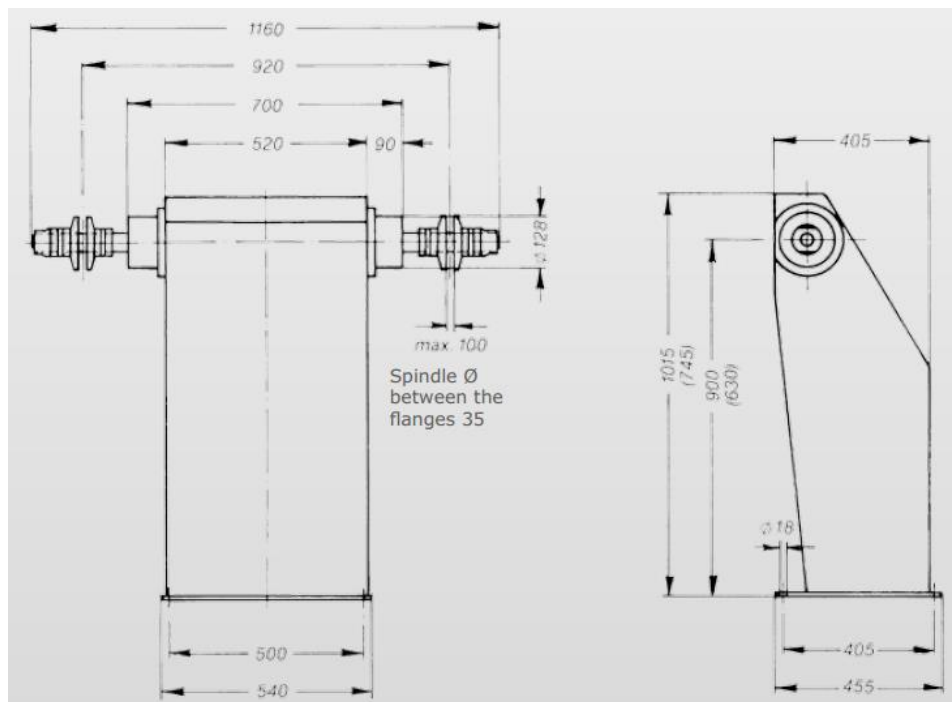
Kuva 2. Teollisuusrobotti Motoman-ES165N (Motoman 2014, 1).

Hiontakäytössä erityisen tärkeää on, että robotilla on vielä tarttujan ja työstettävän kappaleen nostamisen jälkeen reilusti nostovaraa kappaleiden painossa, sillä hionnassa aiheutuvien hetkellisten voimien takia rasitukset voivat olla ajoittain moninkertaisia pelkkään kappaleen painoon verrattuna. Tähän tavoitteeseen käytävissä olevalla robotilla päästään helposti, ja 6-akselisen robotin ominaisuudet (nopeus, akselikohtaiset ulottuvuudet) myös kappaleen käsittelyssä ovat hyvät.

Robotti on hyväkuntoinen ja suhteellisen uusi (2008), ja hiontasolu käytössä jo saatujen kokemusten perusteella toimii hyvin solun vaativassa ympäristössä.

Sarjan 72730 nauhahionta- ja kiillotuskone

Alkutilanteessa solussa on kolme samanlaista sarjan 72730 nauhahionta- ja kiillotuskonetta (kuva 3.), joista kaksi on nauhahiontakäytössä ja yksi toimii kiillotuskoneena. Kiillotuskoneena toimivaa laitetta ei ole käytetty hionnassa toistaiseksi, mutta ominaisuuksiltaan muiden kaltainen laite voidaan tarvittaessa muuntaa myös muihin käyttötarkoituksiin sopivaksi.



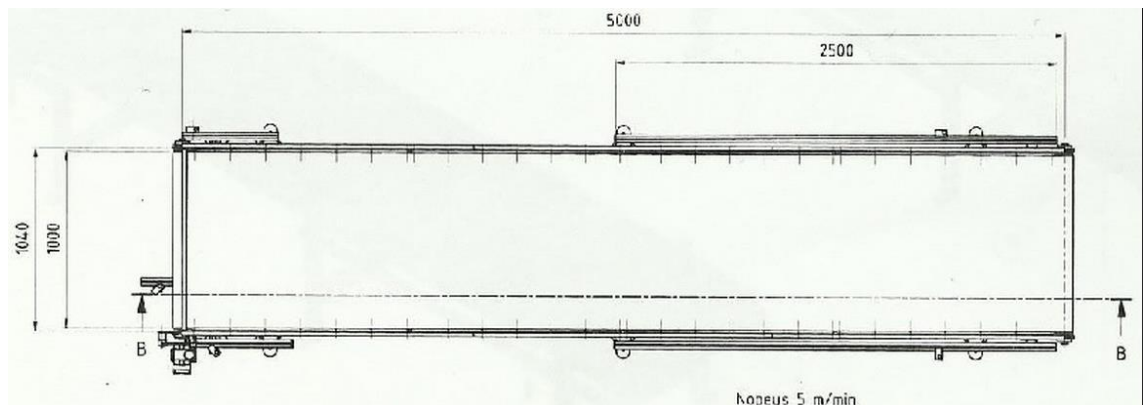
Kuva 3. Sarjan 72730 nauhahionta- ja kiillotuskone (IBS 2014, 17).

Nauhahionnassa käytettäviä laitteita on kaksi, mikä on hiontakäytössä nauhojen erilaisten karkeuksien vuoksi välttämätöntä. Kahteen koneeseen saadaan yhteensä neljä eri karkeuksellista nauhaa, tai tarvittaessa, esimerkiksi nopeammin kuluvia karkeita nauhoja voidaan asettaa kahteen työstöpaikkaan.

Nauhahionta- ja kiillotuskoneet ovat uuden veroisessa kunnossa ja niiden käyttämiselle myös jatkossa ei ole esteitä.

Hihnakuljetin

Nykyisin hihnakuljettimet (kuva 4.) toimivat siten, että operaattori asettaa kappaleet solun ulkopuolella hihnalle, joka sitten ohjelman mukaisesti siirtää kappaleen soluun. Solussa robotti noutaa kappaleen liukuhihnalta ja aloittaa kappaleen käsittelyn suoristamalla sen telineessä. Kun kappaleen käsittely on valmis, siirtää robotti kappaleen toiselle hihnakuljettimelle, jolla tuote siirretään ulos solusta.



Kuva 4. Hihnakuljetin (Motoman 2010).

Hihnakuljettimen molemmissa päissä on optinen sensori, joka pysäyttää liikkeen kappaleen tullessa kohdalle. Näin operaattori voi asettaa hihnalle useita kappaleita, eikä jatkuvaa läsnäoloa vaadita. Hihnakuljetinta käytettäessä operaattorin on kuitenkin oltava paikalla, erityisesti mikäli käsiteltävien kappaleiden työstöaika hiontasolussa on lyhyt. Lisäksi toimiakseen oikein on operaattorin asetettava kappaleet liukuhihnalle riittävän tarkasti, jotta robotti osaa hakea ja tarttua niihin. Koska tarttuvien sormien liikemäärät eivät ole suuria, on robottityöstön kannalta

tarkkaa, että kappale saapuu soluun liukuhihnalla oikeaan kohtaan ja oikeassa asennossa.

2.3 Soveltuvuus uusille tuotteille

Robottitoiminnan kannalta solu on tilava, mikä helpottaa ohjelmoinnin tekemistä. Robotilla on suhteellisen suuri toimintasäde, ja se yltää hyvin kaikkiin tarpeellisiin toimilaitteisiin. Solussa on myös reilusti tilaa mahdollisille uusille toimilaitteille.

Toimilaitteet ja robotti ovat ominaisuuksiltaan monipuolisia ja kunnoltaan hyviä, ja niiden käyttöä kannattaa jatkaa robottihionnassa myös uusien tuotteiden kanssa. Hionta- ja kiillotustoimilaitteiden samankaltaisuus ja modulaarisuus helpottavat huoltoa ja tarjoavat mahdollisuuden erilaisten työstövälineiden, kuten esimerkiksi erilaisten nauhojen ja hiontalaikkojen käytölle. Soluun voidaan myös hankkia tai siirtää muista tuotantotiloista toimilaitteita, joilla saataisiin laajennettua hionta myös tuotteisiin, joiden työstössä nauhahiomakoneita ei käytetä. Esimerkiksi läpihiottavat tuotteet ovat helposti siirrettävissä robotilla hiottaviksi.

Kaikki alkutilanteessa solussa sijaitsevat toimilaitteet on yhdistetty robottiin, joten niiden toimintaa voidaan kontrolloida robotin ohjaimella ja ne voidaan asettaa toimimaan tietyillä parametreilla hiontaohjelmaa tehtäessä. Uusien toimilaitteiden lisääminen robotin ohjauksen kautta kontrolloitaviksi on mahdollista ja kannattavaa, sillä tällöin pidetään työvoiman tarve solun käytössä alhaisena.

Hionnan laajennettavuuden ja kehittämisen kannalta kappaleiden siirto soluun ja toisaalta valmiiden kappaleiden poisto solusta ovat tärkeitä vaiheita. Alkutilanteessa ainoana siirtokeinona ovat hihnakuljettimet, joiden käytölle on kehitettävä vaihtoehtoja, sillä hihnakuljettimet ovat siirtotavoista eniten operaattorin läsnäoloa ja tarkkuutta vaativia.

Robotin kanssa on kehittäminen aloitettava uuden tarttujan valinnalla ja hankkimisella. Nykyisillä tarttujilla voidaan hioa vain erittäin pientä määrää tuotteita, sillä ne on suunniteltu vain omille, täysin muista tuotteista poikkeaville, kappaleilleen.

3 ROBOTTIHIONNAN KEHITTÄMINEN

Robottihionnan kehittämisessä lähtökohtana oli robottihionnan laajentamisen mahdollisuuden selvittäminen ja siihen liittyvien tekijöiden tutkiminen. Solun kehittäminen jaettiin neljään osa-alueeseen: kappaleiden siirto soluun ja solusta pois, kappaleiden työstö, kappaleiden siirto ja käsittely robotilla, sekä oheisvälineet.

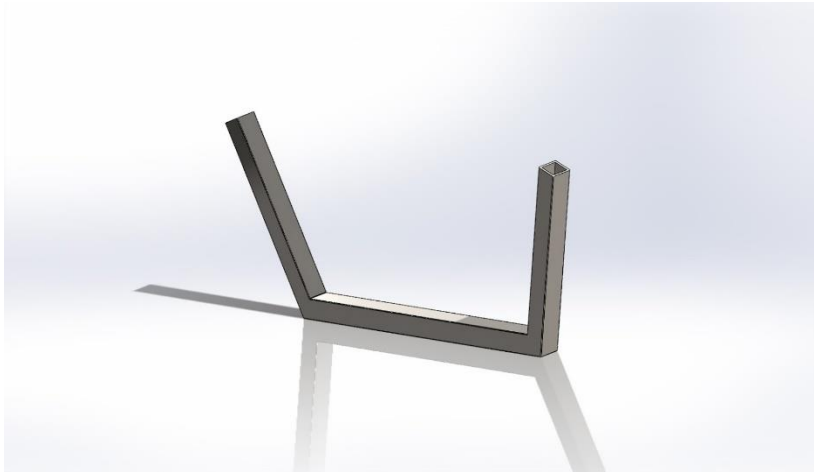
Työn tavoite:

- Vaihtoehtoisten toimintamallien tutkiminen ja esitleminen robottihionnan kehittämiseksi.
- Eri vaihtoehtoihin liittyvien hyvien ja huonojen puolien selvittäminen.
- Eri vaihtoehtojen aiheuttamien kustannuksien selvittäminen.
- Kullekin osa-alueelle tärkeiden ominaisuuksien selvittäminen ja painottaminen.
- Eri vaihtoehtojen arvioiminen ja saatujen tulosten analysointi.

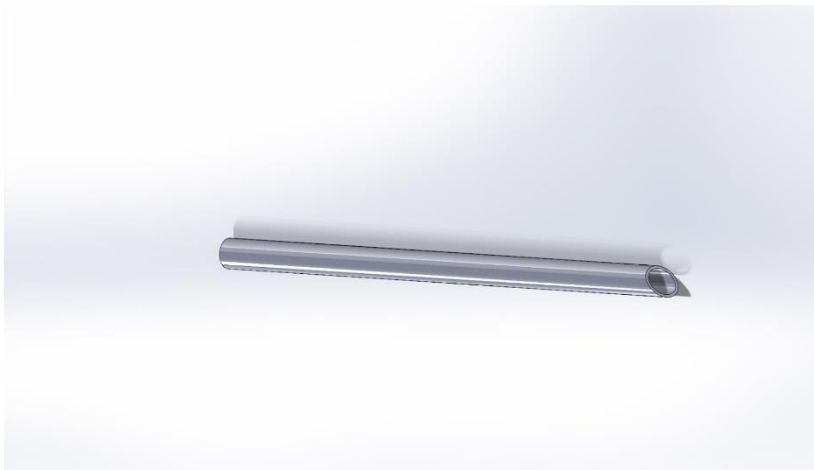
Robottihionnan laajentamisen kannalta ainoa välttämätön hankinta on tarttuja ja siihen liittyvät sormet. Muiden osa-alueiden vaihtoehdot ovat robottihiontaa kehittäviä, eli niiden avulla voidaan esimerkiksi parantaa hionnan laatua tai nopeutta tai vaikkapa laskea käyttökustannuksia tai työvoiman tarvetta.

3.1 Lähtökohdat

Robottihionnan kehittämisessä on otettava ensimmäiseksi tavoitteeksi toiminnan laajentaminen robottihionnalle uusiin tuotteisiin. Tähän liittyen on hiontaa mietitty erityisesti kahden erityyppisen esimerkkikappaleen (kuva 5 ja 6) kannalta. Kappaleita on käytetty pohjana muun muassa tarttujan ja muiden toimilaitteiden suunnittelulle ja niiden pohjalta on laskettu työstössä tarvittavia voimia. Esimerkkikappaleet vastaavat yrityksessä käytännössä valmistettavia kappaleita ja ovat molemmat suhteellisen suurina määrinä tilattavien tuotteiden komponentteja.



Kuva 5. Esimerkkikappale 1.



Kuva 6. Esimerkkikappale 2.

Hionnan kehittämiselle on tässä työssä tahdottu tarjota useita vaihtoehtoja, joita sitten arvioidaan ominaisuuksien mukaan. Lisäksi tavoitteena on eri osien, kuten sormien, suunnitteleminen mahdollisimman laajalle kirjolle erilaisia kappaleita. Tällä varmistetaan se, että mihin suuntaan robottihiontasolua lähdetäänkin kehittämään, tarjotaan työssä hyvät lähtökohdat suunnitelmien toteuttamiselle.

Eri vaihtoehdoille on mahdollisuuksien mukaan pyritty selvittämään myös hintoja ja käytönaikaisia kustannuksia, mitkä esitellään vaihtoehdoista kertovien lukujen yhteydessä. Etenemis- ja investointivaihtoehtoja analysoidaan tarkemmin vaihtoehtojen ja suunnitelmien esittelemisen jälkeen herkkyyksianalyysillä.

3.2 Kappaleiden siirto soluun ja solusta pois

Hiontaan tulevien kappaleiden siirto soluun ja jo hiottujen siirtäminen pois solusta tulee hoitaa siten, että robotti kykenisi toimimaan mahdollisimman tehokkaasti, eli esimerkiksi siten, että robottia ei tarvitsisi pysäyttää kappaleiden vaihdoin yhteydessä. Tähän tavoitteeseen voidaan päästä monin tavoin, muun muassa jo olemassa olevaa hihnakuljetinta käyttämällä, tehostamalla hihnakuljettimen toimintaa konenäöllä tai siirtymällä kokonaan uuteen menetelmään, jossa hiottavat kappaleet toimitettaisiin soluun paleteilla.

Kappaleiden siirron suunnittelussa on huomioitava erityisesti menetelmän hinta, nopeus, operaattorin tarve ja vaikutus robotin ohjelmointiin. Vertailtaviksi valittiin siirtomenetelmiä, joiden toteuttaminen robottihiontasoluun olisi mahdollista ilman suuria muutoksia solun rakenteessa.

3.2.1 Hihnakuljetin

Tällä hetkellä kappaleiden siirto soluun ja solusta pois on toteutettu nimenomaan kahdella hihnakuljettimella, joista toista käytetään hiontaan menevien kappaleiden siirtoon solun sisään ja toista jo hiottujen siirtoon solusta ulos. Hihnakuljettimien toimintaa säätelevät niitä käyttävän operaattorin (kuva 7.) lisäksi optiset anturit, jotka on sijoitettu molempien kuljettimien päihin. Optiset sensorit pysäyttävät hihnakuljettimen, kun kappale saapuu lähelle reunaa, ja estävät näin kappaleen putoamisen. Myös robotti saa sensoriviestien mukaan luvan hakea kappaleen työstettäväksi. Hihnakuljettimien yhteydessä optiset sensorit vaativat pölyisessä hiontasolussa ajoittain huoltoa ja puhdistusta, mutta toimivat binäärisessä tehtävässään hyvin.

Uusien investointien kannalta tämä menetelmä olisi selvästi halvin, sillä liukuhinnat ovat jo olemassa, ja niiden tiedetään toimivan edellä mainitulla tavalla. Hintaa arvioidessa on kuitenkin otettava huomioon myös se, että jos kyseessä on suh-

teellisen nopeasti hiottavia kappaleita, vaatii liukuhihnojen tehokas käyttö operaattorin jatkuvaa läsnäoloa. Hiottavien kappaleiden asettaminen hihnalle ja jo hiottujen purku vaativat henkilötyötunteja.



Kuva 7. Operaattori asettaa hiontaan menevät kappaleet liukuhihnalle solun ulkopuolella.

Liukuhihnat ovat myös robottikäytön kannalta alttiita virheille, sillä lukuun ottamatta aivan yksinkertaisimpia kappaleita ne vaativat operaattorilta suurta tarkkuutta kappaleiden asettelussa linjalle. Robotin tarttujan sormien ulottuvuus ei parhaassakaan tapauksessa ole kuin 50 millimetrin luokkaa, minkä takia esimerkiksi tartunnan epäonnistuminen on mahdollista. Myös ympyräputkesta valmistettujen, esimerkiksi läpihiottavien kappaleiden, asettaminen liukuhihnalle olisi mahdotonta, ellei itse hihnaa muokattaisi näille kappaleille soveltuvaksi.

Nopeudeltaan liukuhihnat ovat hyviä, mutta nopeuden säilyttämisen kannalta operaattorin läsnäolo on välttämätöntä. Lyhyen työstöajan omaavilla kappaleilla esimerkiksi tauot hidastaisivat toimintaa.

Ohjelmallisesti robotin ja liukuhihna yhteistyö on helppo toteuttaa, ja mikäli operaattori noudattaa riittävää tarkkuutta kappaleiden asettelussa linjalle, noutaa roboti kappaleet työstettäväksi ongelmitta.

3.2.2 Konenäkö

Hihnakuljetinkäytössä konenäöllä voitaisiin estää esimerkiksi tartuntavirheiden syntyminen ja tätä kautta mahdollistaa monimutkaisempien, tai esimerkiksi ympyräputkesta valmistettujen kappaleiden hiominen tätä tekniikkaa käyttämällä. Käytännössä konenäkö sijoitettaisiin hiontaan tulevia kappaleita solun sisään siirtävän hihnakuljettimen päähän, jossa se kuvaisi kappaleen ja välittäisi kappaleen asennosta tiedon oman kontrollerinsa ja logiikkansa kautta robotille, joka sitten noutaisi kappaleen saatujen tietojen perusteella liukuhihnalta. Vaikutus liukuhihnojen toiminnan nopeuteen ei ole merkittävä, mutta virheiden väheneminen tehostaisi ja nopeuttaisi toimintaa.

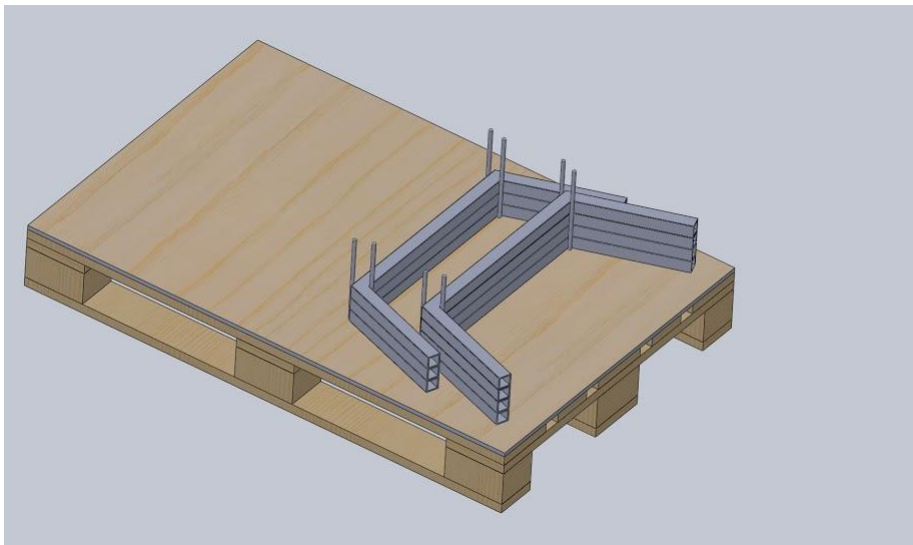
Hinnaltaan konenäkö on vaihtoehtoista selvästi kallein, sillä sen toimivaksi saattamiseen tarvittaisiin suuri määrä komponentteja. Jo mainitun ohjauksen ja logiikan lisäksi tarvittaisiin riittävä valaistus, oma I/O, käyttöliittymä ja kamera, sekä siihen liittyvät komponentit. Lisäksi näiden kaikkien toimiminen yhdessä vaatisi vielä useita liittimiä, sensoreita ja kaapeleita.

Konenäön toiminta pölyisessä ympäristössä, joka on robottihionnalle ominaista, on myös kyseenalaistettava. Konenäkö vaatisi runsaasti kunnossapitoa ja puhdistamista hiontasolussa. Esimerkiksi Omron tarjoaa kuitenkin likaisempiinkin ympäristöihin soveltuvia konenäköratkaisuja. Hinnat kuitenkin nousevat tällöin merkittävästi. (Omron, 2014)

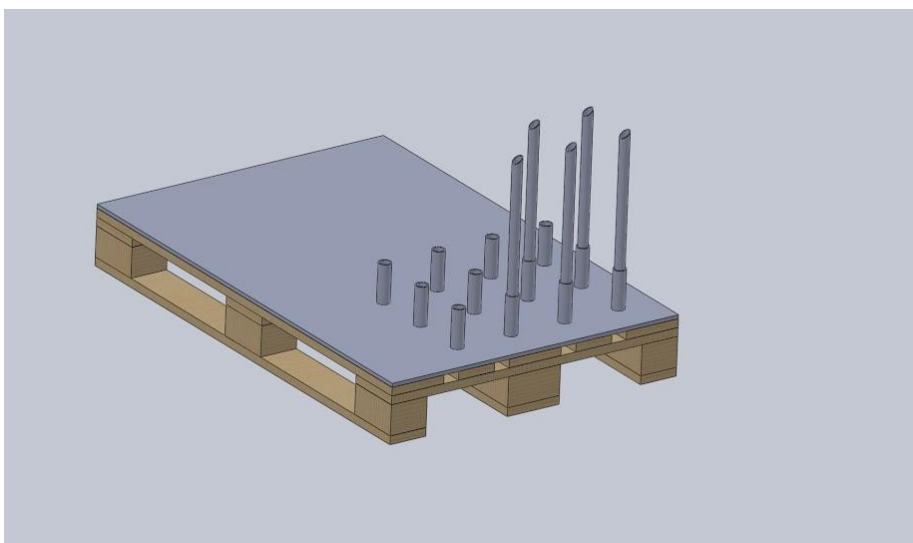
Robotin ohjelmaan ja toimintaan konenäöllä olisi suuri vaikutus. Konenäkö pitäisi yhdistää robotin ohjaukseen ja tiedon käsittelykelpoiseksi saattaminen vaatisi todennäköisesti runsaasti ulkopuolista työvoimaa muun muassa konenäön toimitajalta tai Yaskawa-Motomanilta.

3.2.3 Paletti

Kolmas vaihtoehto kappaleiden siirron tehostamiseen olisi soluun tuotavan paletin käyttäminen. Paletti mahdollistaisi monenlaisten kappaleiden hionnan robotilla, kappaleiden muodosta riippumatta. Erikoiset muotoiset kappaleet vaatisivat erikoisempia paletteja, mutta palettien tekeminen voitaisiin hoitaa yrityksessä sisäisesti. Esimerkiksi liukuhinakäytössä vaikeita putkesta valmistettuja kappaleita voitaisiin paletin avulla hioa ongelmitta.



Kuva 8. Esimerkkikappale paletissa 1.



Kuva 9. Esimerkkikappale paletissa 2.

Jos paletin koko vastaisi noin eurolavan kokoa, olisi sen tekeminen toimeksiantajayrityksessä sisäisesti helppoa, ja koko mahdollistaisi myös paletin siirtämisen esimerkiksi pumppukärryillä solun sisään. 1200 x 800 millimetriä on myös riittävä koko suhteellisen suurelle määrälle työstöön meneviä kappaleita, jotka voitaisiin asetella paletille vielä tarvittaessa päällekkäin. Esimerkkikappaleille paletit voisivat olla kuvien 8 ja 9 kaltaisia.

Vaikka paletin käyttö vaatisikin solun toiminnan pysäyttämisen vaihtojen ajaksi, on se kuitenkin itse hionnan aikana liukuhihnoja nopeampi. Operaattorin läsnäolo ei rajoita paletin käyttöä samalla tavalla kuin se rajoittaa liukuhihnojen käyttöä. Paletin ollessa solussa robotti on helposti ohjelmoitavissa itsenäisesti hakemaan siltä hiontaan tulevia kappaleita ja palauttamaan jo hiotut kappaleet.

Operaattorin tarve on palettia käytettäessä solun toiminnan aikana selvästi pienempi, ja tämä menetelmä mahdollistaisi saman työntekijän vapautumisen käyttämään hiontarobottisolun ohessa esimerkiksi hitsausrobotia.

3.2.4 Paletti ja hihnakuuljetin

Kappaleiden siirtoon soluun ja solusta pois voidaan käyttää myös molempia edellä mainittuja menetelmiä yhtä aikaa käyttävää ratkaisua. Soluun menossa olevat kappaleet aseteltaisiin ensin paletille, joka sitten siirrettäisiin solun sisään käyttäen hihnakuuljetinta. Menetelmän etuna pelkän paletin käytölle olisi, että solun toimintaa ei tarvitsisi pysäyttää kappaleiden lisäämisen ajaksi.

Menetelmän käyttöä varten solua tulisi kuitenkin muokata, sillä nykyisellään esimerkiksi liukuhihnat ovat liian korkealla ja niiden aukko turva-aidassa on liian pieni kappaleiden saamiseksi soluun esimerkiksi tilanteessa, jossa kappaleet on aseteltu esimerkiksi eurolavan päälle rakennetulle paletille. Lisäksi mikäli turva-aidassa olevaa aukkoa suurennetaan, on turvallisuusstandardien säilyttämisen vuoksi harkittava esimerkiksi valoverhon hankkimista hihnakuuljettimen ylle turva-aidassa olevan aukon kohdalle.

Muita itse soluun tehtäviä muutoksia tämän kappaleiden siirtomenetelmän toiminnan optimoinniksi olisi liukuhinnan laskemisen lisäksi sen siirtäminen pidemmälle soluun siten, että ulkopuolelle jäisi juuri paletin kokoinen osa hihnakuljettimesta. Siirrolla varmistettaisiin, että robotti yltää kaikkiin paletilla oleviin kappaleisiin. Hihnakuljettimien pituudesta johtuen kahden paletin tuominen solun sisään samalla kuljettimella ei onnistuisi.

Ongelmia menetelmän käytön kanssa aiheuttaa myös palettilavojen saaminen hihnakuljettimelle, sillä kuljetin on joka tapauksessa maan tasoa korkeammalla, joten lavojen siirtoon tarvittaisiin niiden painosta riippuen nostolaitetta. Nostolaite todennäköisesti mahtuisi toimimaan solun ulkopuolelle jäävässä tilassa, mutta verrattuna pelkillä pumppukärryillä soluun vietävään palettiin olisi käsittely operaattorin kannalta hankalampaa.

Mikäli paletteja siirrettäisiin soluun käyttäen hihnakuljettimia, voitaisiin kahdella kuljettimella saada yhtäaikaaisesti solun sisään kaksi palettia, jolloin toista purettaessa ja uudelleen täytettäessä voisi robotti kuitenkin jatkuvasti olla toiminnassa ja työstää toisella paletilla olevia tuotteita. Tällä menetelmällä päästäisiin siis todennäköisesti operaattorin tarpeeltaan pelkkää palettia käyttävän menetelmän tasolle, mutta robotin käyttöaste saataisiin sitä paremmaksi.

3.3 Kappaleiden työstö

Kappaleiden työstä hiontarobottisolussa on seuraava tärkeä osa-alue. Tähän liittyvät erilaiset hiontamenetelmät, joista nauhahionta on tällä hetkellä ainoa käytössä oleva. Solussa on kuitenkin valmiina mahdollisuus kiillotukselle, ja jo olemassa olevan konekannan siirrolla soluun voitaisiin robotilla saada tehtäväksi myös läpi- ja laikkahionnat. Jigityöstö ja jäysteenpoisto olisivat ainoat kokonaan uudet menetelmät, mutta myös niiden tuomat mahdollisuudet on syytä tutkia.

Kappaleiden työstömenetelmissä kiinnitetään erityisesti huomiota laatuun, kunnossapitoon, käyttötarkoitukseen, tehokkuuteen ja robottiohjelmointiin. Huomioitavaa on myös se, että kappaleiden työstössä ei välttämättä voida käyttää vain

yhtä menetelmää, vaan yhdistelmää, jossa erilaisia kappaleita ja tarkoituksia varten on olemassa erilaiset työstövälineet.

3.3.1 Läpöhionta

Läpöhionta on robotilla suoritettavista hiontamenetelmistä yksinkertaisin ja helpoin toteuttaa. Etuna erityisesti robotilla tehtäessä on liikkeen tasaisuus, jossa päästään parempaan tulokseen kuin käsin läpöhioittaessa. Läpöhionta on myös yksinkertaista robottiohjelmoinnin kannalta, sillä liikkeen tarkkuudelle ei ole samoja vaatimuksia kuin muissa menetelmissä.

Läpöhionta soveltuu kuitenkin vain suhteellisesti pieniin tuotemääriin, sillä läheskään kaikki tuotteet eivät läpöhiontaa vaadi. Vain putkimaiset tuotteet soveltuvat läpöhioitaviksi. Robotilla tehtävän läpöhionnan laatu on kuitenkin korkea, minkä takia sen siirtäminen robotin tekemäksi olisikin johdonmukaista.

Kunnossapidon kannalta olemassa olevat läpöhiontakoneet ovat toimivia mutta elinkaarensa loppupäässä. Koneilla voisi kuitenkin helposti testata läpöhionnan robotisointia. Läpöhionta vaatii tehokkaasti toimiakseen hiontanauhojen säännöllistä vaihtoa, mutta on kuitenkin käyttökustannuksiltaan halpa hiontamenetelmä. Käytetyllä nauhalla hiottaessa hiontanopeutta voidaan vähentää, mikä on robotin ohjelmoinnin kannalta helppo toimenpide.

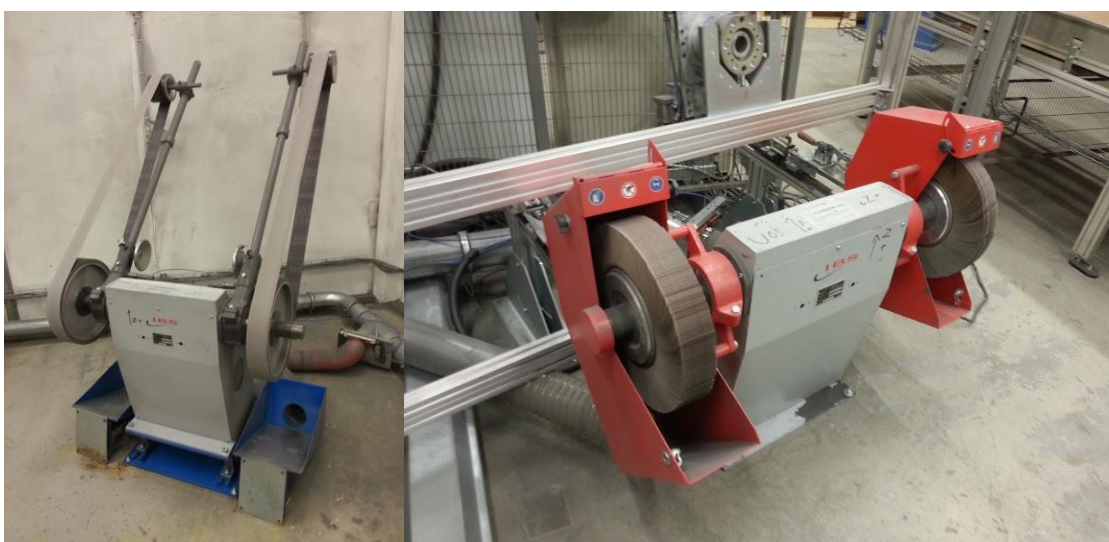
Mikäli läpöhionta osoittautuu toimivaksi ja sille on riittävästi käyttöä, voidaan laitteiston uusimista harkita. Käytettyjen orbitaalihionta- ja kiillotuskoneiden hinnat alkavat 2000 eurosta, kun taas uusien koneiden hinnat ovat moninkertaisia (Nettikone 2014, myynti-ilmoitus).

3.3.2 Nauhahionta ja kiillotus

Nauhahionta on ainoa alkutilanteessa aktiivisesti käytössä robotilla oleva hiontamenetelmä. Sen käytön laajentaminen uusiin tuotteisiin olisikin tämän takia vaihtoehtoista edullisin eikä vaadi soluun muutoksia. Nauhahionta soveltuu suurelle

tuotemäärälle, mutta sen käyttö ei ole aina tarkoituksenmukaista, ainakaan kun hiotaan suuria hitsausseamoja sisältäviä tuotteita. Suuret hitsausseamat ja muut isot eroavaisuudet hiottavien kappaleiden lähtötilanteissa kuluttavat hiomanauhhat nopeasti, joka lisää niiden vaihtotarvetta.

Käyttökuluiltaan nauhahiomakoneet (kuva 10.) ovat normaalitilanteessa halpoja ja varmatoimisia. Nauhojen vaihto tulee ajoittain tarpeeseen ja kuten kaikissa pyöriviä osia sisältävissä laitteissa laakerien ja moottorien korvaaminen uusilla on ajoittain ajankohtaista.



Kuva 10. Nauhahioma- ja kiillotuskoneet

Robottikäytön kannalta sekä nauhahionta että kiillotus ovat käytännöllisiä työstötapoja, sillä ohjelmat on suhteellisen helppo tehdä ja muokata. Haasteena ohjelmoinnissa on lähinnä työstettävän kappaleen painaminen vasten hiomanauhaa riittävällä voimalla. Mikäli voimaa käyttää liian vähän jää hiontajälki vajaaksi, mutta toisaalta jos voimaa on liikaa saattaa robotti tulkita hiontatapahtuman törmäykseksi, jolloin toiminta lakkaa.

Nauhojen kuluminen ei aiheuta paikkamuutosten tarvetta ohjelmaan, vaan työstökertoja lisäämällä tai hiontanopeutta vähentämällä voidaan varmistaa hyvä laatu myös kuluneemmilla nauhoilla. Nauhahionnassa on myös se hyvä puoli, että hiottaessa se joustaa jonkin verran, jolloin robottiohjelman tarkkuudelle on hieman toleranssia ja esimerkiksi pienet erot työstettävissä kappaleissa eivät

haittaa hiontaa. Mikäli kappaleiden kesken on suuria eroja esimerkiksi hitsaus-
saumoissa, saattavat ne jäädä näkyviin kohoumina vielä hionnan jälkeenkin,
mikä muodostuu ongelmaksi käytettäessä pelkästään nauhahiontaa.

Olemassa olevalla laitteistolla on myös mahdollista hoitaa nauhahionta monipuoli-
sesti ja kyseiseen tarkoitukseen voidaan tarvittaessa ottaa kaikki solun kolme
konetta, jolloin erilaisten nauhojen määrä voidaan nostaa jopa kuuteen.

3.3.3 Laikkahionta

Laikalla tehtävä työstö soveltuu parhaiten kappaleiden esikäsitteilyyn, ja se voi-
daan tehdä esimerkiksi ennen nauhahiontaa, jolloin sillä voidaan ehkäistä nau-
hahionnan hiontanauhojen nopeaa kulumista ja näin alentaa sen käyttökustan-
nuksia. Laikkahionnalla ei yksin saada riittävän hyvää jälkeä, jotta sitä voitaisiin
käyttää ainoana hiontamenetelmänä.

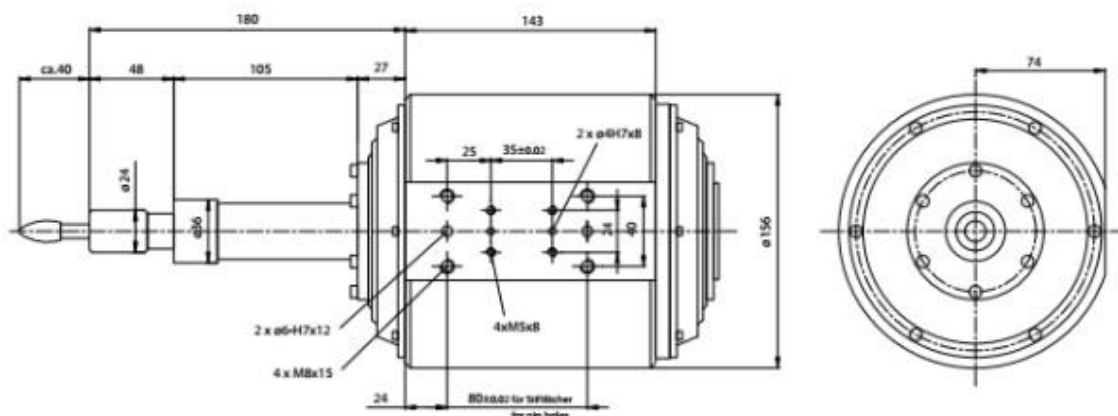
Hiomalaikkaa käytettäisiin kiinnitettynä kiinteään penkkihiomakoneeseen, joten
robotti hoitaisi kappaleen liikuttamisen myös laikalla hiottaessa. Laikkahionta on
otettava huomioon robotin ohjelmassa siten, että laikan kuluessa ohjelmaa muo-
kataan tarpeen mukaan. Jos laikka kiinnitetään penkkiin jousitetusti, voidaan oh-
jelman muokkaustarvetta kuitenkin vähentää. Riskinä hiomalaikan käytössä on
kuitenkin se, että mikäli työstöön tulevien kappaleiden välillä on suuria eroja voi
myös laikalta tulevissa kappaleissa jälki olla epätasaista. Kiinteällä laikalla ja kap-
paleen huolellisella asemoinnilla robotin tarttujassa voidaan tämä riski kuitenkin
minimoida.

Laikan käyttökustannukset ovat erittäin pienet, ja se tarvitsee vaihtaa suhteellisen
harvoin verrattuna esimerkiksi nauhahionnan nauhojen vaihtoon. Lisäksi positiiv-
inen vaikutus seuraaviin työstövaiheisiin, eli esimerkiksi nauhahiontaan, sääs-
tää kustannuksissa. Laikkahionta soveltuu laajalle kirjolle erimuotoisia kappala-
leita, mutta sen käytölle löytyy myös rajoituksia. Robotti ei välttämättä pysty kääntä-
mään monikulmaisia kappaleita halutulla tavalla laikkahionnan mahdollista-
miseksi.

3.3.4 Jäysteenpoisto jigissä

Jigissä tapahtuva jäysteenpoisto on menetelmistä hankintahinnaltaan selvästi kallein, sillä siihen tarvittavia komponentteja ei lähtötilanteessa ole valmiiksi yrityksessä. Hionnan kannalta jäysteenpoisto, siihen tarkoitettulla erillisellä työkalulla, on kuitenkin joissain tapauksissa aiheellista, sillä hiontaan tulevissa kappaleissa saattaa ajoittain olla suuriakin eroja.

Jigi kappaleille voidaan tehdä yrityksessä sisäisesti, ja sen tehtävä on pitää kappaletta paikallaan työstön aikana. Itse työstö tehtäisiin robotin laippaan kiinnitettävällä työkalulla, joita myyvät Suomessa ainakin Amtru (kuva 11.), ATI Industrial Automation ja RAD Robotic & Automation Tooling. Jäysteenpoisto päiden hinnat tarvittavan kaltaiseen tapaukseen ovat 4000 euron luokassa. (Amtru 2014; ATI Industrial Automation 2014; RAD Robotic & Automation tooling 2014)



Kuva 11. Jäysteenpoistopää robottiin - Amtru Flexicut 1000 (Amtru 2014, 2).

Paineilmatoiminen jäysteenpoistoyksikkö voidaan kiinnittää robottiin, jolloin käytetään edellä mainittua jigä kappaleen pitelemiseen, tämä kuitenkin vaatii robotin pään vaihtamista tarttujan ja työstöpään välillä. Parempi ratkaisu olisi siis jäysteenpoistopään kiinteä asennus soluun, jolloin robotti liikuttaisi työstettävää kappaletta suhteessa työstölaitteeseen. Paineilmaliitännöiltään ja käytöltään esimerkiksi Amtrun laitteet soveltuvat yrityksen paineilmaverkkoon.

Käyttökustannukset ovat jäysteenpoistoa käytettäessä suurimmat, sillä laitteessa käytettävien jyrsinpäiden hinnat ovat suhteessa korkeampia kuin hiontanauhojen. Työstöjäljeltään kyseisenlainen yksikkö on kuitenkin paljon hiomalaikkaa parempi. Jigiä käytettäessä hiontalaatu olisi myös paras kaikista käsitellyistä vaihtoehtoista, sillä siinä kappaleen paikka tiedetään varmasti jigissä. Robotin käsitellessä ja painaessa kappaletta työstön aikana on aina olemassa pientä joustoa, esimerkiksi kuluneesta nauhasta ja muista työkaluista johtuen. Jouston voidaan kuitenkin olettaa olevan huonekalujen metallikomponenttien hionnan kannalta merkityksetöntä.

3.3.5 Jäysteenpoisto

Jäysteenpoistoyksikkö voitaisiin robottiin kiinnittämisen sijaan sijoittaa myös soluun kiinteästi, jolloin robotti hoitaisi kappaleen liikuttamisen suhteessa jäysteenpoistoon käytettävään yksikköön. Tällöin vältyttäisiin mahdollisen jigin hankkimiselta ja robotin työskentelypään vaihtamiselta tarttujan ja mahdollisen jäysteenpoistopään välillä.

Yksinkertaisimmillaan jäysteenpoistoyksikkö on paineilmatoiminen moottori, johon kiinnitetty kara pyörittää halutun kaltaista työstöterää. Mikäli yksikkö on sijoitettuna kiinteästi soluun, on sen hankinta halvempaa kuin jos robottiin kiinnittämisen tuomat tarpeet jouduttaisiin ottamaan huomioon. Jousitetun, riittävään tarkkuuteen kykenevän ja robottityöstöön soveltuvan jäysteenpoistoyksikön investointikustannukset nousevat noin kaksinkertaisiksi verrattuna soluun kiinteästi asennettavaan jäysteenpoistoyksikköön.

Etuna jäysteenpoistolla on se, että siihen voidaan tarvittaessa kiinnittää myös muita kuin jyrsinteriä, esimerkiksi pienet hiomakivet ja laikat soveltuvat käytettäväksi laitteen kanssa. Yksikössä olevaa työkalua voi vaihtaa tarpeen mukaan. Jäysteenpoistoon on kuitenkin saatavalla erittäin laajalla kirjolla erilaisia toimilaitteita, joten niiden ominaisuuksiin on ennen hankkimista syytä syventyä erittäin tarkasti.

3.4 Kappaleen käsittely robotilla

Kappaleiden siirto ja käsittely on hionnan toiminnan kannalta erittäin tärkeä osa koko solun toimintaa, sillä robotin ja tarttujan tehtävänä on paitsi siirtää työstettävää kappaletta, myös pitää kiinni kappaleesta työstön aikana. Tarttujan valinta tarkoittaa aiheeseen liittyvien lujuuslaskelmien tekoa, hiontaan haluttavien kappaleiden tutkimista ja käytettävissä oleviin vaihtoehtoihin tutustumista. Tämän lisäksi hiottavien kappaleiden kannalta on järkevintä valita tarttuja, joka soveltuisi mahdollisimman monien erilaisten kappaleiden työstämiseen.

Erilaisten tuotteiden hionnan kannalta vielä tarttujaa tärkeämpää on kappaletta puristavien sormien suunnittelu. Tarttujaan kiinni tulevien sormien on oltava ominaisuuksiltaan monipuolisia, jotta kaikki halutut hiontatoimenpiteet voidaan suorittaa. Työstön ei kuitenkaan käytännössä ole pakko tapahtua yksillä sormilla, sillä sormien vaihto on robotille suoritettavista operaatioista ehkä yksinkertaisin, ja eri sormien suunnittelu esimerkiksi ympyrä- ja neliöputkesta valmistetuille kappaleille on johdonmukaista. Sormien vaihdosta aiheutuvat pienet muutokset tarttujan rakenteessa eivät ole niin merkittäviä, että ne aiheuttaisivat muutostarvetta robottiohjelmiin halutun kaltaisessa hiontatyöstössä.

Alkutilanteessa robotti on hiontatoiminnan kannalta todella toimiva, mutta robotin tarttujat eivät suoraan sovi käytettäväksi uusien tuotteiden kanssa. Tarttujan valinnassa tärkeää on myös lujuuslaskemien teko riittävän pidon varmistamiseksi. Hionnassa lujuuslaskelmista tekee erityisen haastavia se, että voima, jolla kappaletta painetaan hiomakonetta tai -paperia vasten ei ole vakio.

Tarttujan valitsemisen lisäksi on myös varmistettava, että valittu tarttuja saadaan kiinnitettyä asianmukaisesti robottiin. Tätä varten on robotin laipan ja tarttujan väliin suunniteltava kiinnitysosa.

3.4.1 Tarttujavaihtoehdot

Tarttujavaihtoehtoja löytyi eri valmistajilta, joista lopulta tutkittiin Schunkin ja Robotiq:n valikoimia. Robotiq tippui myöhemmin pois, sillä sen tarjoamassa adaptiivisessa tarttujassa olisi ollut liikaa liikkuvia osia toiminnan varmistamiseksi pölyisessä solussa, eikä sen tarjoamien tarttujen puristusvoima riittänyt robottihionnan tarpeisiin.

Vaihtoehtoiksi muodostuivat lopulta Schunkin kaksi eri mallia, joiden ominaisuudet vastasivat hyvin alustavissa lujuuslaskelmissa selvitettyjä vaatimuksia. Turvallisella alueella liikuttaessa tarttujan puristusvoiman on oltava 4-5 kN:n luokassa, jolloin on otettu huomioon normaalin toleranssin lisäksi hionnan aiheuttamat lyhytaikaiset suuremmat voimat ja tärähtely. Näiden lisäksi tutkittiin vaihtoehtoa, jossa yhden tarttujan sijaan, kappaleesta pidettäisiin kiinni kahden tarttujan avulla, jolloin ote kappaleesta olisi pitävämpi. Kahden tarttujan versiossa käytössä olisi kaksi PGN-plus 200-2 -tarttujaa (kuva 12).



Kuva 12. PGN-plus 200-2 -tarttuja sormineen kiinni robotissa.

Lähtötilanteessa robotin yhdessä tarttujassa oli käytössä Schunkin PGN-plus 200-2 -tarttuvia ja kyseinen tarttuja oli myös toinen tutkittaviksi vaihtoehtoiksi päätyneistä. Vaihtoehtona tälle, on sarjan järeämpi edustaja PGN-plus 240-2.

PGN-plus 200-2

Halvempi ratkaisu on käyttää PGN-plus 200-2 -tarttujaa (taulukko 1), jonka puristusvoima on jo osoittautunut riittäväksi aikaisempien kappaleiden hionnassa. Tässä on kuitenkin otettava huomioon, että näiden kappaleiden kanssa käytössä on ollut kaksi identtistä tarttujaa, joten käytössä ollut voima on käytännössä ollut suurempi kuin mitä yksi tarttuja voi tarjota.

Taulukko 1. PGN-plus 200-2 (Schunk 2010, 248).

Puristusvoima	4650 N
Liikemäärä / sormi	14 mm
Työstettävien kappaleiden halkaisijat esim.	10 mm - 37 mm
Paino	5400 g

Tarttuja tarjoaa kuitenkin riittävän puristusvoiman hionnan mahdollistamiseksi ensimmäisille hiontaan haluttaville kappaleille. Lisäksi sen sormikohtainen liikemäärä mahdollistaa eri paksuisten komponenttien työstämisen. Halvempi hinta ja kevyempi paino ovat myös eduiksi laskettavia tekijöitä, joskin robotin ollessa melko järeä tarkoitukseen nähden ei painolla ole suurta merkitystä.

PGN-plus 240-2

PGN-plus 240 (taulukko 2) olisi astetta järeämpi vaihtoehto, joka mahdollistaisi vapaamman kappaleiden kiinnityksen. Järeämmällä tarttujalla varmistettaisiin hionnan laajentamisen mahdollisuus myös tulevaisuudessa, mikäli hiottavaksi joskus haluttaisiin isompia tuotteita.

Puristusvoima on kuitenkin jo niin suuri, että sormien suunnittelussa on otettava asia huomioon muun muassa riittävän suuren kosketuspinta-alan jääminen tarttujan sormen ja kappaleen väliin. Suurella kosketuspinta-alalla varmistetaan,

ettei sormi aiheuta jälkiä tai painaumuksia työstettävään kappaleeseen. Voimaa voidaan kuitenkin säätää käyttöpaineella, joka kummassakin vaihtoehdossa on 2,5 - 8 baaria (Schunk 2010, 258).

PGN-plus 240-2 -tarttujan puristusvoima 6500 N on jo reilusti lujuuslaskelmissa saatua 4 kN:n suuruusluokkaa suurempi. Voiman suuruuden vuoksi myös erikoisemmän mallisten kappaleiden, joista ei välttämättä saada koko tarttujalla tasaisesti otetta onnistuu todennäköisemmin. (Schunk 2010, 258)

Taulukko 2. PGN-plus 240-2 (Schunk 2010, 258).

Puristusvoima	6500 N
Liikemäärä / sormi	17 mm
Työstettävien kappaleiden halkaisijat	10 - 43 mm
Paino	8500 g

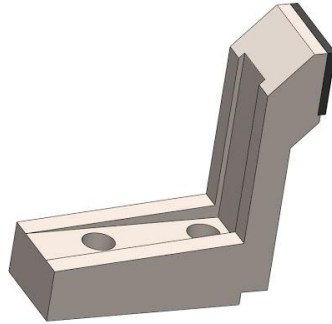
Fyysisesti tarttujien kokoero ei ole suuri, esimerkiksi pituusero on vain 35 millimetriä. Sormien liikemäärä on järeämmässä mallissa 6 mm pidempi kuin kevyemmässä. (Schunk 2010, 258)

Kallein mutta varmatoimisin ratkaisu olisi käyttää kahta tarttujaa, kuten alkutilanteessa käytössä olevassa hiontasovelluksessa on käytetty. Kahdella tarttujalla varmistetaan kappaleen riittävä kiinnitys työstön aikana ja vähennetään esimerkiksi momentista aiheutuvia voimia. Kahden tarttujan vaihtoehdossa on kuitenkin otettava huomioon työstettävien kappaleiden koko, sillä kovin pienistä kappaleista ei kahdella tarttujalla samanaikaisesti voida ottaa kiinni.

3.4.2 Tarttujien sormet

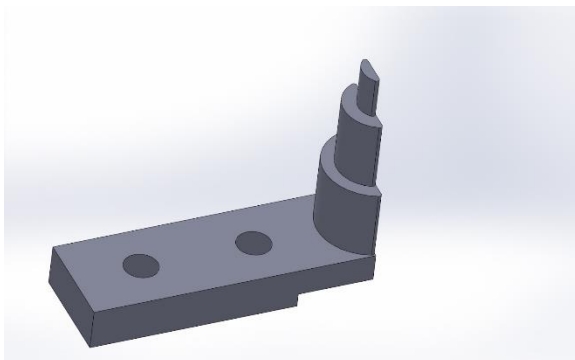
Sormien suunnittelussa tärkeintä on saada tarttujan kanssa kosketuksissa olevat osat valmistettua tarkasti, tällä varmistetaan yhteensopivuus ja kiinnitettävyyys tarttujaan. Puristusvoimat tarttujissa ovat suuria, joten työstettäviin kappaleisiin

syntyvien naarmujen välttämiseksi on käytettävä kumisuoja sormien ja kappaleen välissä. Kumisuojiilla lisätään myös tartunnan kitkaa, mikä on työstämisen kannalta edullista.



Kuva 13. Esimerkkisormi suorakulmaiselle putkelle.

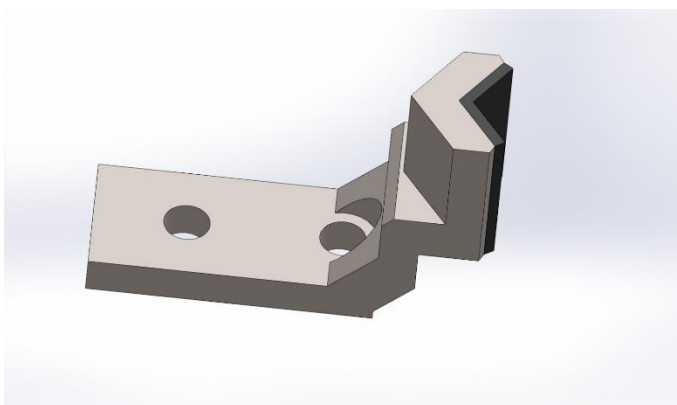
Suorakulmaisesta putkesta valmistettujen kappaleiden käsittelyssä sormien suunnittelussa (kuva 13) tärkeää on, että niiden väliin jäävä alue on oikean kokoinen. Väliin jäävä matka määrittelee minkä kokoisia kappaleita sormilla ja voidaan käsitellä, sillä tarttujan tarjoama liikemäärä pysyy samana riippumatta siihen kiinnitetyistä sormista.



Kuva 14. Esimerkkisormi läpihiontaan.

Läpihionnassa sormien suunnittelussa (kuva 14) on otettava huomioon eri läpimittaisten kappaleiden vaatimukset, näin ollen suunniteltiin sormet, jotka mahdol-

listavat laajan tuotekirjon hiomisen. Esimerkissä on suunniteltu sormi, jolla voidaan läpihioa kappaleita, joiden sisähalkaisija on 15–40 millimetriä. Kunkin askeleen pituudella varmistetaan tartunnan lujuus (esimerkissä askel on 25 mm). Läpihiontaa varten kannattaa kuitenkin suunnitella tarttuja vasta, kun läpihiontaa haluttavat kappaleet ovat tarkemmin tiedossa.



Kuva 15. Esimerkkisormi ympyräputkelle.

Ympyräputkesta saadaan parhaiten tartunta sormella (kuva 15) jossa on kulma, jolloin itse tartunta tapahtuu yhteensä neljästä ympyräputken osasta. Kulmassa sormen eri suunnista tapahtuvalla tartunnalla varmistetaan riittävä pito. Mikäli ympyräputkelle tahdottaisiin suunnitella kahdella tarttujalla toimiva vaihtoehto, olisi kulman oltava horisontaalisesti esimerkissä olevan vertikaalisen kulman sijaan.

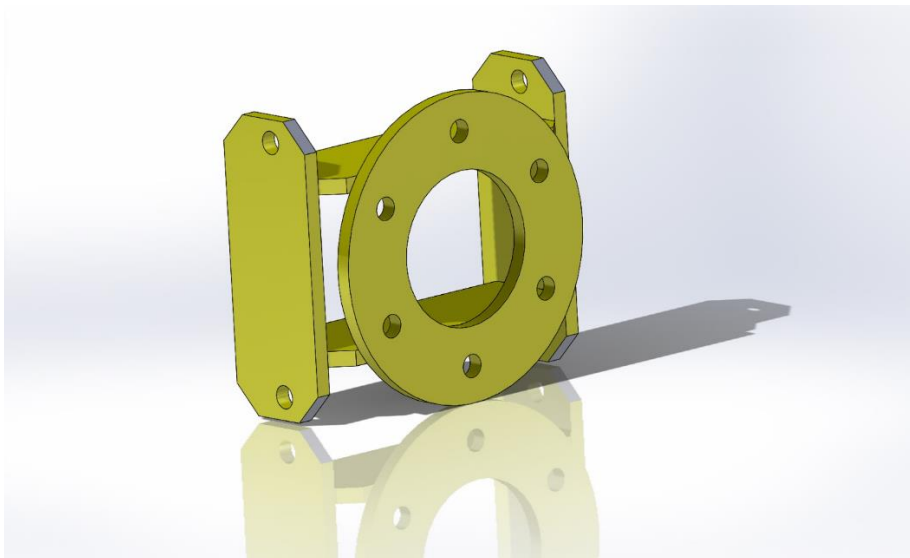
3.4.3 Kiinnitysosa

Tarttujan ja robotin välinen kiinnitysosa (kuva 16) suunniteltiin käyttäen apuna tarttujen ja robotin laipan piirustuksia, ja se voidaan rakentaa näin haluttaessa yrityksen sisällä. Kiinnitysosan valmistuksessa tarkkuudella ei varsinaisia kiinnityskohtia lukuun ottamatta ole suurta merkitystä, sillä sen tarkoitus on tarttujan kiinnittäminen robottiin. Jämäkkyys ja rakenteen lujuus ovat mittatarkkaa rakennetta tärkeämpiä ominaisuuksia. Hionnan laatu ja tarkkuus riippuvat robotista, tarttujista, sormista ja työstömenetelmästä.



Kuva 16. Osan vaihtaja (IPR 2006, 5).

Kiinnitysosa ei välttämättä tarvita yhdelle tarttujalle, vaan se voidaan kiinnittää suoraan osanvaihtajaan. Jossain tapauksissa robotin ja tarttujan väliin kannattaa kuitenkin lisätä kiinnitysosa, esimerkiksi osien yhteensopimattomuuden vuoksi. Kiinnitysosien suunnittelu on helppoa käyttäen apuna olemassa olevan tarttujan ja osanvaihtajan mittoja.



Kuva 17. Kiinnitysosa kahdelle tarttujalle.

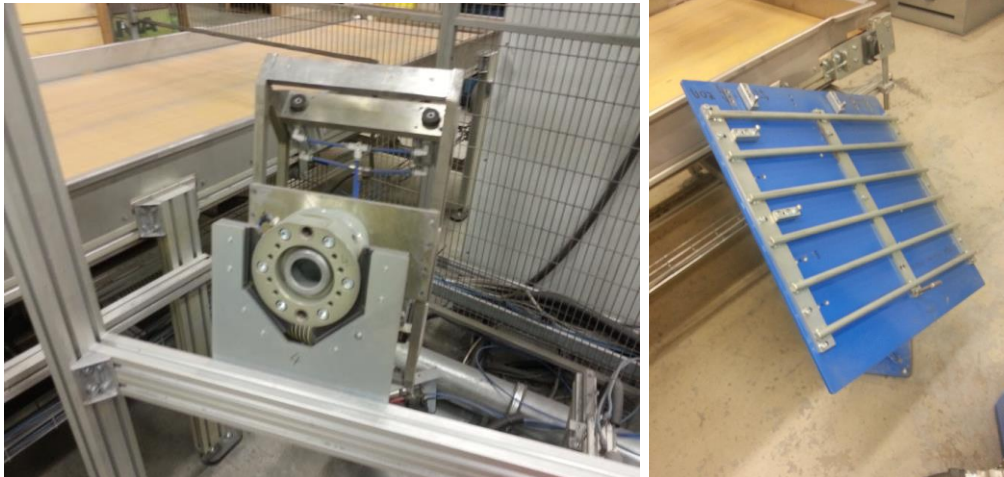
Kahta erillistä tarttujaa käytettäessä, kiinnitysosan on oltava monimutkaisempi (kuva 17), sillä sen on mahdollistettava molempien tarttujen kiinnitys saman robotin osanvaihtajaan. Kiinnitysosan suunnittelulla vaikutetaan tarttujen väliseen etäisyyteen, ja kiinnitysreikien kohdat on mitoitettava tarkkaan robotin kiinnitysosan ja tarttujiin olevien kiinnitysreikien mukaisiksi.

3.5 Oheisvälineet

Muita robottisolun toiminnan, tai niitä tarvitsevien vaihtoehtojen, kannalta tärkeitä osia on robottisolussa monia, näistä paletit ja jigit on käsitelty työn aiemmissa osissa. Näiden lisäksi robottisolussa tarvitaan myös tarttuja- ja suoristustelineet (kuva 18).

Tarttujatelineessä säilytetään ne tarttumat, jotka eivät ole robotin käytössä kyseisellä ajanhetkellä. Tarttujatelineen on oltava kiinteä osa robottisolussa, jolloin robotti voidaan itse ohjelmoida vaihtamaan tarttumat, eikä operaattorin tarvitse suorittaa toimenpidettä käsin. Alkutilanteessa robottisolussa on teline tarttumia varten, mutta uusille tarttumuille voidaan suunnitella uusi, tai muokata jo tehtyä telineä. Tehokkaan toiminnan kannalta telineessä tulee olla paikka jokaiselle käytössä olevalle tarttumalle, jotta robotti voidaan ohjelmoida jättämään edellinen tarttumat ja jatkaa ohjelmaa suoraan seuraavan tarttuman hakemisella.

Suoristusteline on toinen osa robottisolua, jonka käyttö on välttämätöntä robottihionnassa. Haki robotti kappaleet sitten liukuhihnalta tai paletista, on ne joka tapauksessa vielä suoristettava telineessä. Suoristuksella varmistetaan robotin tarttuman oikeanlainen ote työstettävästä kappaleesta ja mahdollistetaan hiottavien tuotteiden tasainen laatu.



Kuva 18. Tarttuja- ja suoristustelineet.

Alkutilanteessa solussa sijaitseva suoristusteline soveltuu esimerkkikappaleiden suoristamiseen huonosti ja tehokkaan toiminnan ja tartunnan varmistamiseksi uusille tuotteilla kannattaa suunnitella uusi suoristusteline. Suoristusteline on rakenteeltaan erittäin yksinkertainen, sen on tarkoitus toimia alustana, jolle kappale lasketaan siten, että painovoiman vaikutuksesta kappale asettuu aina samalla tavalla. Asettelyn jälkeen robotti tarttuu uudestaan kappaleeseen ja aloittaa työtön.

4 HERKKYYSANALYYSI

Herkkyysanalyysillä tutkitaan eri vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia, niihin mahdollisesti liittyviä riskejä ja pohditaan erilaisten mallien vaikutuksia laatuun, tuotantoon ja robottisolun toimintaan. Koska numeerista tietoa eri vaihtoehtojen vaikutuksista ei ole opinnäytetyöhön saatavilla, perustuvat herkkyysanalyysin tulokset suurilta osin eri vaihtoehtoja tarjoavien yritysten asiantuntijoiden kanssa käytyihin keskusteluihin ja yritysten kuvastoihin, alan asiantuntijoiden kommentteihin ja omaan tutkimustyön pohjalta tehtyyn analyysiin.

Herkkyysanalyysi suoritetaan arvioimalla kutakin merkittävää osa-aluetta asteikolla 1-5, jolloin mahdollisten erojen suuruus ominaisuuksien välillä voidaan tuoda ilmi asteikon muutoksen suuruudella. Asteikolla 5 on paras ja 1 huonoin, eli suurimmat pisteet saanut vaihtoehto on arvioitu parhaaksi kullakin osa-alueella. Pisteytyksen jälkeen eri muuttujille annetaan erilaisia painotuskertoimia, jolloin tärkeänä pidettyjen ominaisuuksien merkitsevyys kasvaa. Pisteitystä, valittuja muuttujia ja painotuksia perustellaan ja arvioinnin tuloksia analysoidaan kussakin luvussa osiossa erikseen.

Yleisesti arvosanojen hajonta on suurempaa kun erot eri menetelmien välillä ovat suurempia ja pienempää kun menetelmien väliset erot ovat pienempiä ja tai merkityksettömämpiä.

4.1 Kappaleiden siirto soluun ja solusta pois

Kappaleiden siirrossa robotille työstettäväksi valitaan merkittäviksi tekijöiksi siirtomenetelmän investointihinta, siirron nopeus, työvoiman tarve, robotin käyttöaste ja vaikutus ohjelmointiin.

Kappaleiden siirrossa painotetaan erityisesti investoinnin hintaa ja työvoiman tarvetta, joista työvoiman tarpeen merkitys on suurin. Siirron nopeuden merkitys ei ole suuri, sillä robotin työstöajat ovat joka tapauksessa pidempiä kuin siirtonopeudet. Investoinnin hinnassa halvin vaihtoehto arvioidaan parhaaksi, ja erojen

eri vaihtoehtojen hinnoissa ollessa suhteellisen suuria, myös arvosanahajonta kasvaa suureksi. Investointihinnassa otetaan huomioon myös vaihtoehdon vaatima työmäärä.

Vaikutukset robotin ohjelmointiin ovat myös hyvin erilaisia vaihtoehtojen välillä, ja vähiten ohjelmoinnin alkutilanteeseen vaikuttavan vaihtoehdon saadessa parhaan arvosanan. Menetelmien siirtonopeuksissa tai robotin käyttöasteissa ei ole suuria eroja, joten osa-alueen arvosanat ovat lähempänä toisiaan.

Taulukko 3. Arviointi: Kappaleiden siirto soluun ja solusta pois.

	Muuttuja					
Menetelmä	Investoinnin hinta (x1,5)	Siirron nopeus (x0,5)	Työvoiman tarve (x2)	Vaikutus ohjelmointiin (x1)	Robotin käyttöaste (x1)	Yhteensä
Hihnakuuljetin	5	3	2	5	3	18
Konenäkö	1	3	3	1	3	11
Paletti	4	4	4	3	4	19
Hihnakuuljetin ja paletti	2	5	4	2	5	18
Painotettu						
Hihnakuuljetin	7,5	1,5	4	5	3	21
Konenäkö	1,5	1,5	6	1	3	13
Paletti	6	2	8	3	4	23
Hihnakuuljetin ja paletti	3	2,5	8	2	5	20,5

Analyysin perusteella voidaan todeta paletin olevan vaihtoehtoista paras valittujen muuttujien ollessa merkityksellisiä. Paletin etuina on sen halpa investointihinta ja helppo yhdistäminen nykyiseen ohjelmointiin. Lähtötilannetta paremmaksi sen tekee työvoiman tarpeen väheneminen, jota painotettiin muuttujista kaikkein eniten. Palettimenetelmää käytettäessä operaattori jättää paletille asetellut kappaleet soluun, josta robotti hakee ne työstettäväksi. Työstön jälkeen robotti sitten palauttaa valmiit kappaleet takaisin paletille.

Huonoimmaksi vaihtoehtoista muodostui selkeästi konenäköön perustuva vaihtoehto, jota käytettäisiin yhdessä hihnakuljettimien kanssa. Vaihtoehdon suurimmat ongelmat liittyvät robotin ohjelmoinnin vaikeutumiseen ja investoinnin suureen hintaan. Lisäksi saatava hyöty, esimerkiksi työvoiman tarpeessa, jää vähäiseksi.

4.2 Kappaleiden työstö

Kappaleiden työstössä merkittävänä tekijänä toimii ennen muita työstölaatu, jonka lisäksi tutkittiin käyttökustannuksia, investointikustannuksia, vaikutusta robotin ohjelmointiin ja työstönopeutta. Itse työstö toimii automatisoidusti robotilla ja mahdollinen työvoiman tarve on sisällytetty robottiohjelmoinnin ja käyttökustannusten osuuteen. Kappaleiden työstössä painotetaan erityisesti laatua ja käyttökustannuksia. Vaikutukset robotin ohjelmointiin ovat kaikilla työstötavoilla vähäisiä, joten niiden merkitys on pienempi.

Aiemmin esitellyistä vaihtoehtoista läpihionta jätetään pois arvioinnista, sillä se soveltuu vain tietynlaisten kappaleiden hiontaa, eikä sillä ole vaihtoehtoja. Analysoitavat vaihtoehdot ovat nauhahionta, laikkahionta ja nauhahionta, jäysteenpoisto jigissä ja nauhahionta ja jäysteenpoisto ja nauhahionta. Eri menetelmillä oli tällä kertaa suuria keskinäisiä eroja, eritoten työstönopeuden, investointikustannusten ja käyttökustannusten osa-alueilla.

Erot laadussa ovat myös merkittäviä, mutta vaihtoehtoista kaikki (pelkkää nauhahiontaa lukuun ottamatta) tuottavat korkealaatuista jälkeä myös työstettäessä lähtötilanteeltaan erilaisia kappaleita. Pelkän nauhahionnan kanssa on riskinä, että hiontaan tulevissa kappaleissa vielä mahdollisesti olevat virheet korostuvat, joka näkyisi hiotuissa kappaleissa kuoppina tai kohoumina. Työstöä ja laatua ajatellen on myös muistettava, etteivät kaikki työstömenetelmät sovellu aivan kaikille kappaleille. Esimerkiksi laikkahionta ei sovellu kiinteän ja suhteellisen suurikokoisen hiontalaikan takia yhtä suurella määrällä tuotteita, kuin jäysteenpoistoon perustuvat menetelmät.

Taulukko 4. Arviointi: Kappaleiden työstö.

	Muuttuja						
Menetelmä	Hionnan laatu (x2)	Käyttökustannukset (x1,5)	Investointikustannukset (x1)	Vaikutusohjelmointiin (x0,5)	Työnopeus (x1)	Manuaalinen esityöstö (x1,5)	Yhteensä
Nauhahionta	2	3	5	5	4	2	21
Laikkahionta ja nauhahionta	4	4	4	4	4	4	24
Jäysteenpoisto jigissä ja nauhahionta	5	1	1	1	1	5	13
Jäysteenpoisto ja nauhahionta	4,5	1,5	2,5	4	3,5	4,5	20,5
Painotetut							
Nauhahionta	4	4,5	5	2,5	4	3	23
Laikkahionta ja nauhahionta	8	6	4	2	4	6	30
Jäysteenpoisto jigissä ja nauhahionta	10	1,5	1	0,5	1	7,5	21,5
Jäysteenpoisto ja nauhahionta	9	2,25	2,5	2	3,5	6,75	28

Kappaleiden työstössä parhaat arvosanat saa hiontalaikan ja nauhahionnan yhdistelmä, joskin jäysteenpoiston ja nauhahionnan yhdistelmä saa myös korkeat pisteet. Nauhahionnan korkeat pisteet selittyvät investointikustannusten pienyydellä ja sillä, että jo käytössä olevana menetelmänä sen vaikutukset robotin ohjelmointiin ovat minimaaliset. Nauhahionnan ongelma on kuitenkin sen mahdollinen huono laatu hitsausroiskeita tai -saumoja sisältäviä kappaleita hiottaessa. Lisäksi nauhahionta lisää manuaalisen esityöstön tarvetta merkittävästi, mikä on suuri kustannustekijä.

Parhaat vaihtoehdot, eli laikkahionnan ja nauhahionnan tai jäysteenpoiston ja nauhahionnan hionnan laatu on puolestaan korkea ja näistä erityisesti laikkahionta nousee pisteissä halpojen käyttö- ja investointikustannuksiensa vuoksi.

Jäysteenpoisto jigissä ja nauhahionta on laadultaan paras, mutta sen muut ominaisuudet laahaavat selvästi perässä. Hionnan nopeus romahtaisi, kun robotti ei käsittelisi kappaletta, tai joutuisi käsittelyn ja työstön välissä vaihtamaan työstöpäätä. Lisäksi ohjelmoinnin kannalta esimerkiksi juuri työstöpään vaihtojen suuri määrä tekee siitä vaikeampaa, ja tarttujan vaihtotelineen käytössä on aina riski siitä, ettei vaihto onnistukaan, joten sitä on hyvä välttää robottityöstössä.

Myös korkeimmat investointikustannukset vaikuttavat negatiivisesti jigityöstön pisteisiin ja se jääkin pisteissä selvästi jälkeen muita vaihtoehtoja.

4.3 Tarttujat

Tarttujen kohdalla vaihtoehtoja on kaksi: Schunkin PGN-sarjan tarttujat PGN-plus 200-2 ja PGN-plus 240-2. Edellä mainittujen lisäksi arvioidaan vaihtoehtoa, joka koostuu kahdesta PGN-plus 200-2 -tarttujasta. Arvioitaessa tarttujia työstä tekee helppoa se, että niistä on saatavilla runsaasti teknistä tietoa.

Tarttujan valinnan kannalta merkittävin muuttuja on tarttujan soveltuvuus laajalle kirjolle tuotteita, millä onkin muuttujista suurin kerroin. Myös puristusvoima, eli kuinka hyvin tarttuja voi pidellä kappaletta, sekä tarttujan tarjoama liikemäärä ovat tärkeitä tekijöitä. Tarttujan paino ei Motomanin YR-ES165N robottia käytettäessä ole merkitsevä tekijä, sillä painavammankin vaihtoehdon massa on vain 15 kilogramman luokkaa.

Hinta on merkitsevä tekijä tarttujaa valittaessa, mutta puristusvoima, joka suuremmalla investoinnilla on saatavissa, on kuitenkin helppo tapa varmistaa hionnan onnistuminen myös mahdollisilla suuremmilla kappaleilla. Tarttujia yhdistää suhteellisen alhainen hinta ja käytännössä lähes olemattomat käyttökustannukset.

Erot tarttujen liikemäärissä ovat pieniä, jonka takia myöskään arvosanojen vaihtelu ei kyseisellä osa-alueella ole suurta. Muutoin arvostelussa edetään pitkälti koko skaalaa käyttäen ja erityisesti kahden tarttujan vaihtoehdossa tulokset ovat monilla osa-alueilla kaksinkertaisia tai puolitetuja.

Taulukko 5. Arviointi: Tarttujat.

	Muuttuja					
Menetelmä	Puristusvoima (x1,5)	Liikemäärä (x1,5)	Paino (x0,5)	Hinta (x1)	Soveltuvuus (x2,0)	Yhteensä
PGN-plus 200-2	2,5	3	4	5	3	17,5
PGN-plus 240-2	3	4	3	4	4	20
2 x PGN-plus 200-2	5	3	1	2	2	13
Painotetut						
PGN-plus 200-2	4,25	4,5	2	5	6	21,75
PGN-plus 240-2	4,5	6	1,5	4	8	24
2 x PGN-plus 200-2	7,5	4,5	0,5	2	4	18,5

Huomataan, että sekä painotettu ja painottamaton arviointi antavat saman tuloksen: parhaiten haluttuun hiontakäyttöön soveltuu PGN-plus 240-2 -tarttuja, jonka uskotaan soveltuvan selvästi suurimmalle tuotemäärälle. Lisäksi hieman PGN-plus 200-2 mallia suurempi puristuslujuus ja liikemäärä edesauttavat menestystä. Hinnaltaan PGN-Plus 240-2 on kalliimpi kuin sarjan kevyempi malli, mutta hinnan lisäyksellä saatavat ominaisuudet näyttäisivät olevan sen arvoisia (Schunk Intec Oy 2014).

4.4 Herkkyysanalyysin lopputulos

Eri vaihtoehtojen arvioimiseen jälkeen voidaan kunkin osa-alueen sisältä valita ne vaihtoehdot, joiden käyttöönotto robottihiontasolussa olisi solua kehittävä ja tuotannon kannalta kannattavaa. Kyseiset tekniikat ja työstömenetelmät nousevat merkittäviksi edellisissä luvuissa eriteltyjä ominaisuuksia painottamalla ja erilaisilla painotuksilla eri tuotantomenetelmät saattaisivat nousta korkeammalla arvioinnissa.

Taulukko 6. Herkkyysanalyysin lopputulos.

	Suosittelava vaihtoehto	Painotetut ominaisuudet
Kappaleiden siirto soluun ja solusta pois	Paletti	Investoinnin hinta, työvoiman tarve
Kappaleiden työstö	Laikkahionta ja nauhahionta	Hionnan laatu, käyttökustannukset
	Läpöhionta	
Tarttujat	PGN-plus 200-2	Puristusvoima, liikemäärä, soveltuvuus

Paletin käytölle kappaleiden siirtämiseksi hiontasoluun ja sieltä pois ei ole tuotannollisesti esteitä. Solun nykyinen rakenne sallii suoraan paletin käyttämisen ja itse siirtomenetelmän testaaminen ei ainakaan kustannusten suuruuden takia kannata jättää tekemättä. Paletin käytöllä saataisiin myös poistettua jatkuva työvoiman tarve solua operoidessa.

Kappaleiden työstössä Laikka- ja nauhahiontojen yhdistelmä nousi parhaaksi. Vaihtoehdon vahvuuksina on erityisesti käyttökustannusten lasku ja hionnan laadun mahdollinen parantuminen. Käyttökustannusten lasku näkyisi erityisesti nauhahionnan nauhojen vähäisempänä kulumisena. Valittavan laikan tyypistä riippuen myös itse laikkahionnan käyttökustannukset ovat vähäiset. Läpöhionta on toinen robottihiontakäyttöön hyvin soveltuva hiontatekniikka ja sen lisääminen ja testaaminen solussa on kannattavaa.

Tarttujan valinnassa Schunkin PGN-plus 240-2 tarttuja nousi parhaille pisteille suuremman puristusvoimansa ja liikemääränsä ansiosta. Pääasiassa näiden ominaisuuksien takia myös uusien tuotteiden lisääminen hiontarobotilla työstettäviksi onnistuisi tätä tarttujaa käyttämällä parhaiten.

5 INVESTOINTISUUNNITELMA

Robottisolun kehittämiseksi on tehtävä investointeja ja käytettävä työtunteja, sekä hyödynnettävä valmiiksi saatavissa olevaa konekantaa ja materiaaleja. Tässä osiossa arvioidaan kehittämisvaihtoehtojen kustannuksia ja ehdotetaan niiden toteuttamista portaittaisten hankintojen muodossa.

Taulukko 7. Investoinnit ja kehittämiskohteet ja niiden kustannukset.

Kehittämiskohde	Menetelmä	Selitys	Kustannukset	Kustannusten euro-määräinen arvio
Kappaleiden siirto	Hihnakuljetin	Käytetään solussa olemassa olevia hihnakuljettimia uusilla tuotteilla.	Robottiohjelmien teko	500
	Konenäkö	Hihnakuljettimen virheiden määrän vähentäminen.	Laiteinvestoinnit, asennus, perehdytys	10 000
	Paletti	Työvoiman tarpeen vähentäminen ja robotin käyttöasteen kasvattaminen.	Paletin suunnittelu ja rakentaminen, robottiohjelmien teko	800
	Paletti ja hihnakuljetin	Siirtonopeuden ja robotin käyttöasteen kasvattaminen.	Solun muokkaus, paletin suunnittelu ja rakentaminen, robottiohjelmien teko	1 800
Kappaleiden työstö	Läpihionta	Hionnan laadun parantaminen.	Solun muokkaus, robottiohjelmien teko, (laitteiston hankinta)	800 (2 800)
	Nauhahionta ja kiillotus	Käytetään solussa olemassa olevia toimilaitteita työstöön.	Robottiohjelmien teko	500
	Laikkahionta ja nauhahionta	Hionnan laadun parantaminen ja käyttökustannusten laskeminen	Solun muokkaus, robottiohjelmien teko	800
	Jäysteenpoisto jigissä ja nauhahionta	Hionnan laadun parantaminen.	Jigien suunnittelu ja valmistus, jäysteenpoistoyksikön hankinta, robottiohjelmien teko	4 800
	Jäysteenpoisto kiinteällä karalla ja nauhahionta	Hionnan laadun parantaminen.	Jäysteenpoistoyksikön hankinta, robottiohjelmien teko	2 800
Tarttujat	PGN-plus 200-2	Uusien kappaleiden hionnan mahdollistaminen	Tarttujan hankinta ja asennus	1 500

(jatkuu)

Taulukko 7. (jatkuu)

	PGN-plus 240-2	Puristusvoiman ja liikemäärän kasvattaminen.	Tarttujan hankinta ja asennus	2 000
	2 x PGN-plus 200-2	Puristusvoiman ja robotin tartunnan parantaminen.	Tarttujan hankinta ja kiinnitysosan valmistus	3 000
	Kiinnitysosa	Tarttujan käytön muokkaaminen, kahden tarttujan käytön mahdollistaminen	Asennus	300
	Sormet	Erityyppisten kappaleiden työstön mahdollistaminen.	Sormien työstäminen tarttujaan	500
Oheislaitteet	Suoristusteline	Työstettävien kappaleiden oikean asemoinnin varmistaminen hiontaa varten.	Telineen suunnittelu ja valmistus	100

Robottihiontasolun kehittämiseksi tehtävät investoinnit kannattaa tehdä vaiheittain sen mukaan, kuinka jo tehdyillä hankinnoilla saadaan jo toteutettua hionta. Investointi voidaan toteuttaa esimerkiksi kolmessa vaiheessa.

Vaihe 1. Robottihiontasolun toiminnan laajentaminen.

Tavoitteena ensimmäisessä vaiheessa on laajentaa robottihionta uusiin tuotteisiin. Esimerkkikappaleita pidetään lähtökohtana ja operaattorin tarvetta ei vielä vähennetä investoinneilla.

Investoinnin kohteena ovat robotin tarttuja, sormet, mahdollinen kiinnitysosa ja suoristusteline. Näillä komponenteilla uusien tuotteiden lisäämistä päästään käytännössä toteuttamaan. Tässä vaiheessa operaattorin tarve on suuri uusien robottiohjelmien teossa kappaleille.

Vaihe 2. Robottihiontasolun kehittäminen

Toisessa vaiheessa robottihiontaa edelleen laajennetaan ja kehitetään esimerkiksi ottamalla käyttöön paletti kappaleiden siirtotapana, jolloin operaattorin tarvetta voidaan vähentää. Lisäksi läpihionnan ja esimerkiksi laikkahionnan integroiminen soluun ja testaaminen robottikäytössä kannattaa tehdä tässä vaiheessa. Toimilaitteiden liittäminen robotilla ohjattavaksi ja robottiohjelmien muokaus uusille menetelmille sopivaksi jäävät operaattorin tehtäviksi.

Nauhahionnan ominaisuuksiin ja käyttökustannuksiin perehdytään ja hiottujen kappaleiden laatua tarkkaillaan lisäinvestointien tarpeen määrittelemiseksi. Yhä uusien tuotteiden robottihionnan mahdollisuutta tutkitaan ja niiden asettamia vaatimuksia selvitetään.

Vaihe 3. Robottihiontasolun kappalesoveltuvuuden parantaminen

Viimeisessä vaiheessa hankitaan kappalesoveltuvuutta parantavia toimilaitteita, kuten jäysteenpoistoyksikkö ja toinen tarttuja, sekä sen käytön vaatimat sormet. Tässä vaiheessa robottisolun toiminta ja ominaisuudet on tarkoitus laajentaa sille tasolle, että sitä voidaan käyttää mahdollisimman laajalla tuotekirjolla. Vaikka tuotetta ei vielä oltaisi siirtämässä robottihiontasolussa työstettäväksi, voitaisiin monipuolisilla toimilaitteilla varmistaa, että mahdollisuus siihen kuitenkin on olemassa.

Robotin toiminnasta pyritään tässä vaiheessa saamaan mahdollisimman itsenäistä, mikä tarkoittaa esimerkiksi tarttujan vaihtojen sisällyttämistä ohjelmiin.

6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli kehittää robottihiontasolua ja tutkia robotilla suoritettavan hionnan laajentamisen mahdollisuutta uusiin tuotteisiin. Alkutilanteessa lähdettiin kartoittamaan solun sen hetkistä tilannetta, jonka selvittämiseen kuului muun muassa solun toimilaitteisiin ja jo hionnassa oleviin kappaleisiin tutustuminen ja ominaisuuksien selvittäminen.

Hionta on robotilla tehtävistä työstöistä ehkä ohjelmoinniltaan ja ominaisuuksiltaan monimutkaisin, sillä esimerkiksi syntyvät voimat ja robotin reagoiminen työstövälineiden kulumiseen on otettava huomioon. Tämä asetti myös runsaasti haasteita robottihionnan kehittämisen tutkimiselle muun muassa siten, että alan asiantuntijoita ja osajia ei ollut helposti saatavilla, mikäli kysyttävää ilmeni.

Ohjelmallisesti robotin liikeradat ovat usein hionnassa yksinkertaisia, mutta muutoin ohjelmoinnin kanssa saa kyllä hionnan onnistumisen varmistamiseksi ajaa useita kappaleita ja päästä lopulta yritysten ja erehdysten kautta toimivaan lopputulokseen. Ohjelmointia pyrittiin helpottamaan myös hionnan kehittämistä mietittäessä ja kaikkien vaihtoehtojen yhteydessä oli mietittävä myös niiden vaikutusta ohjelmointiin.

Lähtötilanteessa työ jaettiin heti selkeästi osa-alueisiin, joita olivat kappaleiden siirto soluun ja solusta, kappaleiden käsittely robotilla ja itse työstö. Näistä lähtökohdista eri vaihtoehtoja voitiin hyvin lähteä miettimään ja kokonaisuus saatiin selkeästi jaoteltua erillisiksi osa-alueiksi.

Vaihtoehtojen määrä osittain yllätti työtä tehtäessä ja monia oli heti karsittava pois, jotta vain tärkeimmät ja oikeasti toteuttamiskelpoisimmat jäisivät jäljelle. Tämän jälkeen työn tavoitteiden mukaisesti lähdettiin näitä vaihtoehtoja tutkimaan, arvioimaan ja analysoimaan.

Lopputulokseksi saatiin perusteltu analyysi eri vaihtoehtojen soveltuvuudesta haluttuja tekijöitä painottamalla, joten työlle asetettu tavoite saavutettiin. Tarkempaa

analyysi, tutkimus ja perehtyminen ovat kuitenkin tarpeen, mikäli vaihtoehdoista jotakin päädytään käyttämään.

Investointikustannusten suhteen esitetyt luvut ovat pitkälti arvioita, tarttujista saatuja tarjouksia lukuun ottamatta. Arviot puolestaan perustuvat alan asiantuntijoiden kanssa käytyihin keskusteluihin tai esimerkiksi käytetyille vastaaville toimilaitteille löytyneisiin hintoihin.

Joka tapauksessa robottihiontasolun kehittäminen kannattaa, sillä vaikka päädyttäisiin hankkimaan kaikki edellä mainitut vaihtoehdot, on investointi esimerkiksi koko robottisolun hintaan verrattaessa alhainen. Lähtötilanteessa solussa jo valmiiksi olevat osat mahdollistavat jo itsessään hionnan laajentamisen moniin tuotteisiin. Pelkällä robotin tarttujan hankkimisella päästäisiin jo liikkeelle ja soluun saataisiin työstettäväksi uusia tuotteita.

LÄHTEET

Amtru 2014. Flexicut 1000, Viitattu 30.11.2014
<http://www.amtru.com/files/34/Flexicut1000.pdf>

ATI Industrial automation 2014. Robotic and CNC Deburring Tools, Saatavilla 30.11.2014
<http://www.ati-ia.com/Library/documents/deburring%20Catalog.pdf>

Schunk Intec AB 2014. Tarjous, Södertälje: Schunk Intec AB

IBS 2014. Belt grinding and polishing machines for manual finishing, Frickenhausen: Manfred Fedler hun. Viitattu 30.11.2014
http://www.mf-dienstleistungen.de/IBS_Katalog_E.pdf

IPR 2006. Tool Changer TK-125, Viitattu 30.11.2014
http://www.iprworldwide.com/uploads/tx_ttproducts/datasheet/en_Tool%20Chancer%20Robot%20Side_TK-125-R_15030157.pdf

Motoman a Yaskawa company 2014. Industrial robot Motoman-ES165N, Allerhausen: Motoman, Viitattu 30.11.2014
http://www.motoman.co.uk/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=uploads/tx_catalogrobot/es165n_en_22.pdf&t=1417428166&hash=4e95ab83f40f19c5bbfda1edae6039adc1603239

Motoman a Yaskawa Company. 2010. Järjestelmän käyttöohjeet, Turku: Motoman

Nettikone 2014. Läpihiomakone, Viitattu 1.11.2014 (ei enää saatavilla)
<http://www.nettikone.com/>

Omron 2014. Industrial Automation Guide, Saatavilla 30.11.2014
<http://downloads.industrial.omron.eu/IAB/Products/ZZ%20-%20Catalogue%20Guide-book/00%20-%20Y205%20Complete%20Guide/Y205-EN2-07A+IndAutomGuide2014.pdf>

Piironen Oy 2014. Yritysesittely, Viitattu 30.11.2014
<http://www.piironen.com/yritys>

RAD Robotic & Automation Tooling 2014. Model DT-A390, Saatavilla 30.11.2014
<http://www.rad-ra.com/files/RAD%20-Deburring%20Tool%20-%20Spec%20Sheet022609%20-%20Air.pdf>

Robotiq 2013. Robotiq Adaptive Gripper 2-Finger Model-200, Viitattu 30.11.2014
<http://robotiq.com/wp-content/uploads/2014/08/Robotiq-2-Finger-Adaptive-Gripper-200-Specifications.pdf>

SIBO 2010. Catalogo SIBO 2010, Viitattu 30.11.2014
<http://pdf.directindustry.com/pdf/sibo/polishing-grinding-satin-machines/39908-154916.html>

Schunk 2010. PGN-plus, Viitattu 30.11.2014
http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/PGNplus_gesamt_EN.pdf

Schunk 2010. Gripping Modules Automation 2010, Viitattu 30.11.2014
http://www.us.schunk.com/schunk/schunk_websites/service/catalogue_order_check.html

Virkki, S. 2014. Huoltoteknikko, Machino Tool Center Turku, Haastattelu.