



HITSAUSROBOTTIASEMAN KÄYTTÖASTEEN KASVATTAMINEN TERÄSRA- KENNETEOLLISUUDEN YRITYKSESSÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Konetekniikan diplomityö

2024

Johan Rahikainen

Tarkastajat: Apulaisprofessori Tuomas Skriko

TkT Sakari Penttilä

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUTin energijärjestelmien tiedekunta

Konetekniikka

Johan Rahikainen

Hitsausrobotiaseman käyttöasteen kasvattaminen teräsrakenneteollisuuden yrityksessä

Konetekniikan diplomityö

2024

61 sivua, 23 kuvaa, 7 taulukkoa ja 1 liite

Tarkastajat: Apulaisprofessori Tuomas Skriko ja TkT Sakari Penttilä

Avainsanat: Robottihitsaus, hitsausautomaatio, teräsrakenneteollisuus, Visual Components

Tämä diplomityö on tehty teräsrakenneteollisuuden yritykselle tutkimustyönä yrityksen käytössä olevan hitsausrobotiaseman käyttöasteen kasvattamiseksi. Työssä tutkitaan, mitä yrityksen tuotteita olisi mahdollista siirtää hitsausrobotin tuotantoon ja mitä investointeja siirtäminen vaatisi. Investoinneille tehdään myös kannattavuuslaskelmat, joilla pyritään selvittämään, olisiko tuotteiden siirto kannattavuusmielessä järkevää.

Työn alkuosassa tutkitaan kirjallisuuskatsauksen pohjalta millaisia tuotantoratkaisuja kirjallisuudesta, sekä markkinoilta löytyy hitsausrobotiasemille, sekä millaisia vaatimuksia on robottihitsattaville tuotteille. Tämän jälkeen on tutkittu yrityksen tuotteita, joista valittiin case-luontoisesti kolme tuotetta, jotka olisivat potentiaalisia tuotteita siirrettäväksi hitsausrobotin tuotantoon. Näiden tuotteiden soveltuvuutta hitsausrobotin tuotantoon tutkittiin Visual Componentsin simulointiohjelmalla, jolla samalla tutkittiin vaadittavia investointeja tuotteiden siirtämiseksi. Lopuksi laskettiin kannattavuuslaskelmat vaadittaville investoinneille.

Tuloksena löydettiin kolme kappaletta yrityksen tuotteita, jotka olisivat mahdollista siirtää hitsausrobotin tuotantoon, sekä löydettiin sopivat tuotantoratkaisut tuotteiden siirtämiseksi. Investoinneille onnistuttiin laskemaan kannattavuuslaskelmat, joiden tuloksena oli, että investoinnit ei ole kannattavia vähäisten tuotekohtaisten tuotantomäärien ja suhteellisesti korkeiden investointikustannusten takia.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Mechanical Engineering

Johan Rahikainen

Increasing the utilization rate of welding robot station of the steel structure company

Master's thesis

2024

61 pages, 23 figures, 7 tables and 1 appendix

Examiners: Associate Professor Tuomas Skriko and D.Sc. (Tech.) Sakari Penttilä

Keywords: Robot welding, welding automation, steel structure industry, Visual Components

This thesis work is made for steel structure company as research about increasing the utilization rate of welding robot station. In the thesis work there is researched which products could be suitable for production of welding robot and what investments it would need. There is also made profitability calculations for needed investments.

At the first in the thesis work there is made literature review about used production and layout solutions in welding robot cells and what requirements there is for robot welded products. After that there is done research for the products of the company and there is chosen three potential products for further research about suitability for robot welding. Research is done by simulating the robot welding in Visual Components software while finding the needed changes in welding robot to enable the welding of products. At the end there is calculated the profitability calculations for needed investments.

As a result, there was found three suitable products which could be moved for production of welding robot and required investments for the robot cell. As a result of profitability calculations there was found that it is not reasonable to move the products for welding robot production due to small production volume and relatively high investment price.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset

E	Energiankulutus	(kWh/hitsiainekilo, kWh/h)
H	Ostohinta	(€, €/h, €/kg, €/kWh, €/l)
i	Vuosimäärä	(v)
JA	Investoinnin jäännösarvo	(€)
K	Käyttökulut	(€/m, €/v)
l	Hitsin pituus	(m)
M	Hitsiainemäärä	(kg/m)
n	Pitoaika	(v)
n _h	Hitsattavien kappaleiden määrä	(kpl)
p	Pääoman korkoprosentti	(%)
r	Sisäinen korkokanta	(%)
S	Investoinnin nettotuotto	(€/v)
T	Hitsiaineentuotto	(kg/h)
T _K	Koneen vuosittaiset käyttötunnit	(h)
T _p	Koneen poistoaika	(v)
t	Tuotantoaika	(h)
V	Virtausnopeus	(l/min)
v	Kuljetusnopeus	(mm/min)
Y	Vuosittaiset kunnossapitokustannukset	(€)

Dimensiottomat luvut

e Paloaikasuhte

N Hyötyluku

Lyhenteet

AR Lisätty todellisuus (Augmented Reality)

MAG Aktiivinen metallikaasukaarihitsaus (Metal Active Gas)

MIG Inertti metallikaasukaarihitsaus (Metal Inert Gas)

PA Jalkoasento

PB Alapiena-asento

TIG Volframi-inertti kaasuhitsaus (Tungsten Inert Gas)

VR Virtuaalitodellisuus (Virtual Reality)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Symboli- ja lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	8
1.1	Tutkimuksen tausta	8
1.2	Tutkimusongelma	8
1.3	Tutkimuksen tavoitteet ja odotetut tulokset.....	9
1.4	Tutkimuskysymykset.....	9
1.5	Tutkimuksen rajaus.....	10
1.6	Tutkimusmenetelmät.....	10
1.6.1	Kvalitatiivinen tutkimus	10
1.6.2	Kvantitatiivinen tutkimus	11
2	Robotisoitu hitsaustuotanto	12
2.1	Käytetyt hitsausmenetelmät.....	12
2.1.1	MIG/MAG-hitsaus.....	12
2.1.2	TIG-hitsaus	14
2.2	Käytetyt laitteistot.....	15
2.2.1	Hitsausrobotit.....	15
2.2.2	Käsittelyrobotit	17
2.2.3	Tarraimet.....	18
2.2.4	Kääntöpöydät	20
2.2.5	Kiinnitysratkaisut.....	23
2.3	Robottihitsattavat tuotteet	25
2.3.1	Potentiaaliset tuotteet	26
2.4	Ohjelmointi	27
2.5	Joustava hitsaussolu.....	29
2.6	Taloudelliset laskelmat	30
2.6.1	Käyttökulut, käyttöaste ja nettotuotto.....	30
2.6.1	Takaisinmaksuaika ja sisäisen korkokannan menetelmä.....	33

2.6.2	Herkkyysanalyysi.....	34
3	Simulointi	35
3.1	Nykyinen laitteisto	35
3.2	Yrityksen nykyinen tuotanto.....	37
3.3	Simuloitavat tuotteet	37
3.4	Laitemuutokset.....	40
3.5	Layout-muutokset	41
3.6	Hitsausratojen ohjelmointi	42
3.7	Tuotantoajat	45
4	Kustannuslaskelmat	47
5	Tulokset	51
5.1	Siirrettävät tuotteet.....	51
5.2	Vaadittavat investoinnit	52
5.3	Taloudelliset laskelmat	52
6	Tulosten analysointi.....	55
7	Johtopäätökset ja jatkotutkimuskohteet.....	56
	Lähteet	58

Liitteet

Liite 1. Potentialiset hitsausrobotisolulle siirrettävät tuotteet

1 Johdanto

Diplomityö tehdään teräsrakenneteollisuuden yritykselle, joka valmistaa erilaisia räätälöityjä teräsrakenteita teollisuuteen, erityisosaamisenaan teollisuuden hoitotasot ja porrastornit. Yritys työllistää tällä hetkellä noin 100 henkilöä, joista suurin osa työskentelee yrityksen tuotantolaitoksella.

1.1 Tutkimuksen tausta

Yritys on investoinut vuonna 2020 kaidehitsausrobottiin. Kyseessä on Yaskawan suunnittelema, sekä valmistama asema hitsausrobotilla, käsittelyrobotilla, sekä kääntöpöydällä. Asema on räätälöity kaiteiden hitsaamiseen ja näin ollen muita kappaleita ei kyseisellä asemalla pysty tällä hetkellä hitsaamaan. Robotilla hitsattavien kaiteiden määrä ei ole riittävä pitääkseen hitsausrobotin käyttöastetta korkealla, joten asemalle on kartoitettava lisää käyttökohteita.

1.2 Tutkimusongelma

Koska robottihitsausaseman käyttöaste on niin alhainen, on myös sen takaisinmaksuaika tämänhetkisellä tuotannolla liian pitkä. Näin ollen aseman tuotantoa täytyy saada lisättyä, josta syystä tämän tutkimuksen tutkimusongelmana tulee olemaan, kuinka saada lisättyä robottihitsausaseman käyttöastetta. Koska tuotanto tapahtuu tilausten pohjalta, hitsattavien kaiteiden määrän nosto ei ole vaihtoehtona, vaan asemalle täytyy kartoittaa lisää hitsattavia tuotteita. Räätälöidyn aseman takia hitsausasema vaatii muutoksia, jotta sille saadaan muuta tuotantoa siirrettyä. Näitä muutostarpeita tutkitaan tässä työssä kirjallisuuskatsauksen, sekä simuloinnin pohjalta. Koska myös yrityksen tuotteet ovat räätälöityjä, ei tuotannossa ole juurikaan vakio-osia ja näin ollen tässä työssä tutkitaan myös, kuinka asemasta ja ohjelmista on mahdollista saada mahdollisimman joustava eri kokoisille ratkaisuille.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet ja odotetut tulokset

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää mitä tuotteita kannattaa siirtää robotin hitsattavaksi, sekä kartoittaa mitä investointeja se vaatii hitsausrobotille. Näiden pohjalta lasketaan, kuinka muutokset vaikuttaisivat robotin käyttöasteeseen, sekä millaiset olisivat investointien takaisinmaksuajat. Näillä tuloksilla saadaan valmis kartoitus investointipäätöksiä varten, joilla saadaan kehitettyä robotin, sekä koko yrityksen tuottavuutta ja kannattavuutta. Tavoitteena on myös hyödyntää mahdollisimman hyvin nykyistä laitteistoa investointitarpeiden minimoimiseksi.

Uutena tieteellisenä tuloksena tässä tutkimuksessa saadaan, kuinka kaiteiden hitsaamista varten räätälöity robottisolun on mahdollista muokata joustavammaksi myös muuhun tuotantoon, sekä osoitetaan simulointimallien soveltuvuus käytännön robottihitsaustuotannon mitareiden ja tunnuslukujen analysointiin

Konkreettisenä tuloksena tässä tutkimuksessa saadaan ratkaisu yrityksen hitsausrobotille, millaisilla muutoksilla sen käyttöastetta saadaan nostettua. Case-esimerkkien avulla saadaan myös runko tuotannonkehitykseen, jonka avulla jatkossa saadaan mahdollisesti myös lisää tuotteita siirrettyä robotin tuotettavaksi. Lisäksi käytännön tuloksena saadaan, miten kustannuslaskenta kaavat soveltuvat tuotannon arviointiin.

Tutkimalla kuinka kaiteiden hitsaamiseen suunniteltu robotti saadaan muutettua joustavammaksi, voidaan saada yleistetty tulos, kuinka muita räätälöityjä robottisoluja voitaisiin muuttaa joustavammaksi. Näiden tulosten pohjalta olisi siis mahdollista tutkia muita hitsausrobotteja, joiden käyttöastetta olisi mahdollista nostaa joustavuuden ansiosta.

1.4 Tutkimuskysymykset

Kuvaillun tutkimusongelman ja tutkimuksen tavoitteen pohjalta on määritetty seuraavat tutkimuskysymykset:

- Minkä tyyppiset tuotteet sopivat hitsausrobotin hitsattavaksi ja mitkä yrityksen tuotteet sopisivat tähän kategoriaan?

- Minkä tyyppisiä tuotanto- ja layout-ratkaisuja on olemassa ja kuinka näitä voisi hyödyntää yrityksen tuotteiden hitsaamisessa?
- Millä tavalla eri tuotteiden tai rakenteiden siirtäminen robotin hitsattavaksi vaikuttaisi aseman käyttöasteeseen, sekä mikä olisi investointien takaisinmaksuaika ja kannattavuus?

1.5 Tutkimuksen rajaus

Yrityksen hitsattavissa tuotteissa tuotannossa on tällä hetkellä materiaalina seostamaton rakenneteräs, ruostumaton rakenneteräs, sekä alumiini. Koska alumiinin hitsaus on tällä hetkellä vähäistä, tutkimus rajataan koskemaan vain teräksestä valmistettujen tuotannossa olevien tuotteiden ja rakenteiden kartoittamista. Hitsausprosessina rajataan käsittelemään MIG/MAG-, sekä TIG (Tungsten Inert Gas) -hitsausta, jotka molemmat ovat tällä hetkellä tuotannossa käytettävät hitsausprosessit. Tutkimuksessa pyritään olla puuttumatta tuotteiden suunnitteluratkaisuihin ja näin ollen keskitytään enemmän valmistusteknisiin asioihin ja hitsausaseman kehittämiseen.

1.6 Tutkimusmenetelmät

Tässä kappaleessa käydään läpi tutkimusmenetelmät, joita tullaan käyttämään kyseisessä tutkimuksessa. Tutkimusmenetelmät on jaoteltu kvalitatiiviseen eli laadulliseen tutkimukseen, sekä kvantitatiiviseen eli määrälliseen tutkimukseen. Kvalitatiivisen tutkimuksen tavoitteena on ymmärtää tutkittavaa ongelmaa, jonka pohjalta voidaan tehdä kvantitatiivista tutkimusta. Kvantitatiivisen tutkimuksen tavoitteena on saada konkreettisia, numeerisia tuloksia.

1.6.1 Kvalitatiivinen tutkimus

Kvantitatiivisena tutkimuksena työssä tullaan käyttämään kirjallisuuskatsausta aiempien tutkimusten pohjalta. Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on tutkia, millaisilla ratkaisuilla on aiemmin hitsattu samankaltaisia rakenteita, kuin mitä yrityksen tuotannosta löytyy. Kirjallisuuskatsauksen avulla saadaan pohja tulevalle kvantitatiiviselle tutkimukselle, jossa yritetään löytää parhaita ratkaisuja tuotteiden siirtämiseksi robotin tuotantoon. Kvalitatiivisessa

tutkimuksessa myös haastatellaan yrityksen henkilöstöä liittyen nykyiseen tuotantoon ja robotin toimintaan.

1.6.2 Kvantitatiivinen tutkimus

Kvantitatiivinen tutkimus suoritetaan simuloimalla erilaisia ratkaisuja Visual Components ohjelmiston (Visual Components 2024) avulla. Ohjelmiston avulla saadaan tutkittua, millaisia muutoksia tietyt tuotteet vaatisivat, jotta niitä pystyisi kyseisellä asemalla hitsaamaan. Simuloinnin avulla saadaan myös tutkittua mahdollisia layout muutoksia sekä niiden vaikutuksia muuhun tuotantoon. Simulointimallin avulla saadaan myös tarkasteltua tuotteiden hitausaikoja, jonka avulla saadaan laskettua aseman käyttöasteen muutoksia. Työssä myös lasketaan simulaatiomallin pohjalta investointilaskelmia mahdollisille muutoksille.

2 Robotisoitu hitsaustuotanto

Jotta saadaan ratkaistua aiemmin esitetyt tutkimuskysymykset, on tutkittava, millaisia menetelmiä ja laitteistoja on aiemmin käytetty, sekä millaiset tuotteet ovat sopivia robotin hitsattavaksi. Tässä kappaleessa tutkitaan kirjallisuuskatsauksen pohjalta näitä asioita. Käytetyt hitsausmenetelmät alakappaleessa vertaillaan MIG/MAG-hitsausta, sekä TIG-hitsausta, jotka ovat molemmat yrityksen tuotannossa käytettyjä menetelmiä. Kappaleessa tutkitaan myös näiden soveltuvuutta robotin tuotantoon. Seuraavassa alakappaleessa tutkitaan millaisia layout-ratkaisuja ja laitteistoa muissa tutkimuksissa on käytetty ja millaisia ratkaisuja markkinoilta löytyy. Kolmannessa alakappaleessa tutkitaan, millaiset tuotteet sopivat robotin hitsattavaksi ja vertaillaan näiden perusteella, mitkä yrityksen tuotteista olisivat sopivia siirrettäväksi robotille. Neljännessä alakappaleessa vertaillaan käytettyjä ohjelmointimenetelmiä robottihitsauksessa, sekä niiden soveltuvuutta erilaisiin tuotantoihin. Viidennessä alakappaleessa pohditaan joustavan hitsaussolun määritelmää ja viimeisessä kappaleessa tarkastellaan tarvittavia taloudellisia laskelmia tähän tutkimukseen liittyen.

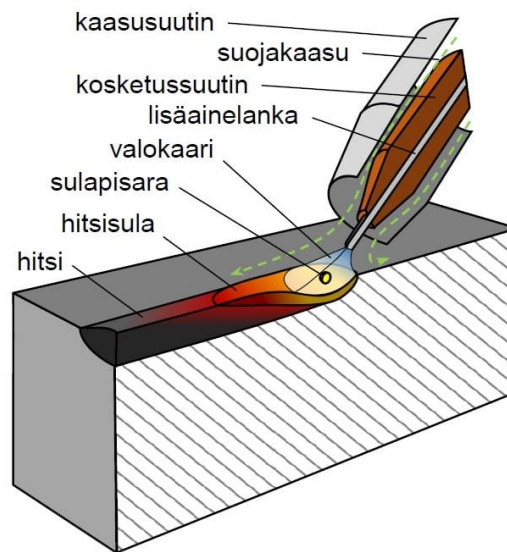
2.1 Käytetyt hitsausmenetelmät

Yrityksen tuotannossa on tällä hetkellä käytössä kaksi menetelmää: MIG/MAG-hitsaus, sekä TIG-hitsaus. Näistä MIG/MAG-hitsaus käytetään suurimmaksi osaksi palkki, sekä levyrakenteiden hitsaamisessa ja TIG-hitsausta kaidepuolella kaiteiden ja tikkaiden hitsaamisessa. Tässä kappaleessa tarkastellaan näiden kahden hitsausmenetelmän ominaisuuksia, eroja ja soveltuvuutta robottihitsaukseen.

2.1.1 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsaus (kuva 1) on hitsausmenetelmä, jossa virtalähteen avulla saadaan valo-kaari hitsauspistoolista syötettävän täytelangan ja työkappaleen välille. Hitsisula saadaan aikaiseksi valokaaren sulattaessa työkappaleen ja täytelangan yhteen. Langansyöttö laite syöttää hitsattaessa jatkuvasti lisää lankaa, mikä tekee MIG/MAG hitsauksesta varsin helpon hitsausmenetelmän. Langan lisäksi pistoolin läpi syötetään myös suojakaasu. Jos kyseessä

on inertti kaasu, eli kaasu ei reagoi kemiallisesti hitsiaineen kanssa, on kyseessä MIG-hitsaus (Metal Inert Gas Welding). Jos kaasu reagoi kemiallisesti hitsiaineen kanssa, eli kyseessä on aktiivinen kaasu, on kyseinen menetelmä MAG-hitsausta (Metal Active Gas Welding). (Kempfi 2024a.)



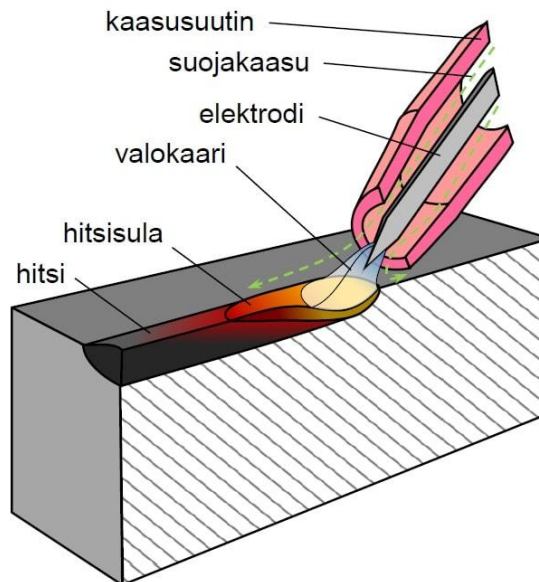
Kuva 1. Havainnekuva MIG/MAG-hitsauksesta (Ionix 2024a).

Menetelmän helppouden ansiosta MIG/MAG-hitsaus on yleisimpiä menetelmiä robottihitsauksessa. IPG Genesis systemsin artikkelissa nostetaan esiin, että MIG/MAG-hitsaus sopii suurille hitsattaville kappaleille ja paksuille hitseille, sekä on TIG-hitsaukseen verrattuna huomattavasti nopeampaa. Etuna nostetaan myös, että MIG-poltinta voidaan käyttää missä vain asennossa, mikä on suotuisaa hitsauksen robotisoinnissa. (IPG Genesis systems 2024.) Myös Welding Engineering kirjassa nostetaan esiin, että menetelmän helppokäyttöisyyden ansiosta se soveltuu hyvin robotisoituun hitsaukseen (Philips 2023, 4).

Yrityksen tuotannosta suurin osa on raskasta teräsrakennetta, jonka takia MIG/MAG sopii hyvin robotin hitsausmenetelmäksi. Etuna on myös, että roboti käyttää jo nyt MIG/MAG-hitsausmenetelmää, ja näin ollen vähentäisi investointitarvetta, jos tulevat tuotteet hitsataan myös samalla menetelmällä.

2.1.2 TIG-hitsaus

TIG-hitsaus (kuva 2) on hitsausmenetelmä, jossa valokaari muodostuu hitsauspistoolin päässä olevan volfrاميةlektrodin ja työkappaleen välille. Nimensä mukaisesti TIG-hitsauksessa käytetään vain inerttiä kaasua, joka syötetään hitsauspistoolin päässä olevan kaasusuuttimen läpi. TIG-hitsauksessa ei ole pakko käyttää lisäainetta, vaan hitsi voidaan muodostaa pelkästään sulattamalla työkappaletta. Lisäainetta käytettäessä lankaa syötetään käsin, robotisoidussa hitsauksessa taas erillisellä langansyöttimellä. (Kemppi 2024b.)



Kuva 2. Havainnekuva TIG-hitsauksesta (Ionix 2024b).

IPG Genesis systemsin vertailussa MIG/MAG:n ja TIG:n välillä käy ilmi, että TIG soveltuu paremmin ohuihin ja pieniin kappaleisiin, joissa tarkkuudella ja hitsin ulkonäöllä on merkitystä. Etuina nostetaan myös TIG-hitsauslaitteiden helpompi puhtaus ja huoltaminen verrattuna MIG/MAG-hitsaukseen. (IPG Genesis systems 2024). Huonona puolena robotisoidussa hitsauksessa TIG-menetelmällä on, että perinteinen TIG-hitsauspää lisäainelankasuuttimella on tilaa vievä ja ei näin ollen mahdu yhtä ahtaisiin paikkoihin. Tähän on markkinoilla olemassa ratkaisuja, esimerkiksi TOP TIG, jossa lisäainesuutin on integroitu osaksi poltinta, ja näin ollen vie vähemmän tilaa kuin perinteinen TIG-poltin (Opderbecker ja Guiheux 2009).

TIG-hitsaus voi olla vartenotettava vaihtoehto yrityksen robottihitsauksessa, jos tuotantoon tulee tuotteita, jotka vaativat suurta tarkkuutta hitsin suhteen ja ovat tuotantomäärältään riittävän suuria TIG-hitsauslaitteiston investointien kattamiseksi.

2.2 Käytetyt laitteistot

Robottihitsauksessa on käytössä huomattava määrä erilaisia laitteita eri ratkaisujen toteuttamiseksi. Parhaiden ratkaisujen löytämiseksi tutkitaan kirjallisuuskatsauksen pohjalta, millaisia laitteita ja ratkaisuja kaupallisesti löytyy, sekä muissa tutkimuksissa on käytetty. Näiden pohjalta tutkitaan eri ratkaisujen soveltuvuutta tähän tutkimukseen.

2.2.1 Hitsausrobotit

Hitsausrobotit ovat pääsääntöisesti kuusiakselisia robottimanipulaattoreita, joiden päässä on hitsaustyökalu. Suurimmat erot hitsausroboteissa on niiden kiinnitys ja liikutteluratkaisu, sekä itse robotin pituus ja käsittelykyky. Hitsausrobottisolua suunniteltaessa hitsausrobotin valintaan vaikuttaakin eniten robotin ulottuvuus.

Robotin kiinnitys- ja liikutteluratkaisua suunniteltaessa kolme yleisintä ratkaisua ovat kiinteä kiinnitys, kiinnitys lineaarirataan, sekä portaalit. Kiinteässä kiinnityksessä robotti niimensä mukaisesti asennetaan kiinteälle alustalle eikä näin ollen ole liikuteltavissa. Lineaarirataan kiinnitettyä robottia voidaan liikutella lineaariradan suuntaisesti parantaen robotin ulottuvuutta. Portaalikiinnityksessä robotti kiinnitetään erilliseen portaaliin, joka sisältää yleensä yhdestä kolmeen erilaista lineaarirataa parantaen robotin ulottuvuutta entisestään. Kuvassa 3 esimerkki Yaskawan ”High Access” Special hitsausportaalista, joka sisältää X-, Y- ja Z-suuntaiset lineaariradat.

Lineaarirataan kiinnitetty AR2010 hitsausrobotti 2010 mm:n työalueella, jollainen tutkimuksen kohteena olevalla yrityksellä tällä hetkellä on, tarjoaa hyvän ulottuvuuden hitsaukseen, mikä mahdollistaa, että muutoksia suunniteltaessa pystytään todennäköisesti hyödyntämään kyseistä robottia. Tämä alentaa huomattavasti investointitarpeita.

2.2.2 Käsittelyrobotit

Yhtä lailla hitsausrobotin kanssa, käsittelyrobotti on usein myös 6-akselinen robottimanipulaattori. Sen tärkein tehtävä on siirtää ja asemoida kappaleita paikasta toiseen, tässä tapauksessa siirtää komponentteja hitsaukseen, sekä valmiit työkappaleet pois. Toteuttaakseen tehtävänsä, käsittelyrobotilla täytyy olla riittävä ulottuvuus, sekä kantokyky, jotka täytyy ottaa asemaa suunniteltaessa ja käsittelyrobotin valinnassa huomioon. Käsittelyrobotti voidaan yhtä lailla kiinnittää lineaarirataan tai portaaliin hitsausrobotin tavoin. Käsittelyrobotin ulottuvuuden kasvaessa eri komponenttien varastointipisteitä saadaan lisättyä, mikä tehostaa etenkin aseman joustavuutta.

Esimerkkinä Yaskawan GP-sarjan robotit ovat suunniteltu materiaalinkäsittelyyn niiden suuren kantokyvyn ansiosta. GP-sarjan roboteilta kantokykyä löytyy 4 kg:sta aina 600 kg:aan. Kantokyvyn kasvaessa, myös robotin fyysinen koko kasvaa ja tätä kautta sen ulottuvuus, joskaan ei automaattisesti samassa suhteessa. Pienimmässä GP4 robotissa, sen maksimi työalue on 550 mm, kun taas suurimman kantokyvyn omaavassa GP600 robotissa maksimi työalue on 2942 mm. Suuriman ulottuvuuden GP-sarjan roboteista omaa GP120RL, jonka maksimi työalue on jopa 4004 mm. Hyllymalliset robotit on kuitenkin suunniteltu asennettavaksi ylös, ja niiden työalue on suunniteltu olemaan pääosin robotista alaspäin. (Yaskawa 2024b.)

Käsittelyrobottia valittaessa on otettava huomioon, mikä on hitsattavien tuotteiden maksimissa, minkä perusteella voidaan rajata riittävän kantokyvyn omaavat robotit. Tämän jälkeen on suunniteltava, kuinka pitkän työalueen robotti vaatii ja sen perusteella valittava oikea käsittelyrobotti. Yrityksen käytössä oleva GP180 robotin kantokyky on 180 kg ja maksimi työalue 2702 mm. Hitsattavia tuotteita kartoittaessa niiden kokonaisuudessa otetaan huomioon ja pyritään hyödyntämään olemassa olevaa robottia myös niiden hitsaamisessa. Simulointivaiheessa myös tarkastellaan robotin riittävä ulottuvuus.

2.2.3 Tarraimet

Tarraimet ovat käsittelyrobotin työkalu ja juuri se, jolla sarjatuotettu robotti saadaan sovitettua tiettyyn prosessiin sopivaksi (Välimäki 2024, 217). Niiden tehtävänä on tarrata kappaleesta kiinni, jotta käsittelyrobotti voi siirtää kyseisiä kappaleita paikasta toiseen. Tarraimia on olemassa useita erityyppisiä, ja ne voidaan jakaa niiden toimintaperiaatteen mukaan. Yleisimmin hitsausrobotisoluisissa on käytössä mekaaniset, vakuumi- ja magneettiset tarraimet. Tarrainta valittaessa tulee ottaa huomioon mm. käsiteltävän kappaleen muoto, paino, sekä materiaali, sekä käytettävissä oleva käyttöenergia.

Mekaaniset tarraimet ovat tarraimia, jotka käyttävät nimensä mukaisesti mekaanisia sormia tai leukoja. Voimatuottona mekaanisissa tarraimissa voidaan käyttää joko sähkömoottoreita, pneumatiikkaa taikka hydrauliiikka. Mekaaniset tarraimet puristavat kappaleen leukojen tai sormien väliin ja kappale pysyy tarraimessa kiinni jo kitkan tai muotosulkemisen avulla. Tarraimen kapasiteettiin kitkasulkeisessa tartunnassa vaikuttaa kaksi tekijää: kitkakerroin leukojen ja kappaleen välillä, sekä tarraimen puristusvoima. Tarraimien leuoissa käytetään usein polyuretaani- tai kumilappuja paremman kitkakertoimen saavuttamiseksi. (Arulkirubakaran, Malkiya Rasalin Prince, Ramesh, Rajesh, Neil Anand, Mathew, Baby, Anila Sharon ja Kishore 2022, 557–558; Välimäki 2024, 219.) Kaupallisesti mekaanisia tarraimia löytyy valmiiksi hyvin moneen lähtöön, mikä mahdollistaa sen käytön hyvin moniin eri sovelluksiin. Käyttövoimasta ja tarrausmekanismista riippuen mekaanisilla tarraimilla voidaan saavuttaa suurikin nostokapasiteetti, mikä mahdollistaa niiden käytön suuremmillekin kappaleille. Birglenin ja Schichtin tutkimuksen mukaan mekaanisia tarraimia löytyi 1 N puristusvoimasta aina 15400 N asti (Birglen ja Schlicht 2017). Saman tutkimuksen mukaan iskupituuksia löytyi mekaanisista tarraimista 1–300 mm väliltä. Nämä puoltavat sitä, että mekaanisista tarraimista löytyy ratkaisuja erittäin moneen sovellukseen. Esimerkkikuva mekaanisesta tarttujasta kuvassa 5.



Kuva 5. Mekaaninen tarrain (Schunk 2024a).

Vakuumitarrain (Kuva 6) koostuu yhdestä tai useammasta imukupista tai vaahtomuovielementistä, joihin muodostetaan alipaine, jolla saadaan kappale pysymään tarraimessa kiinni. Riittävän alipaineen muodostamiseksi tarvitaan riittävän tiivis pinta, ja näin ollen tarrattavan pinnan on oltava riittävän tasainen, sileä ja puhdas. Etuina vakuumitarraimissa on usein halpa hinta, mutta huonona puolena, että kappale ei kestä sivuttaissuuntaisia voimia tarraimiin nähden, sillä tätä vastustava voima riippuu ainoastaan kappaleen ja tarttujan välisestä kitkakertoimesta. Lisäksi vakuumitarrain vaatii edellä mainitun tasaisen pinnan toimiakseen, jolloin se soveltuu parhaiten levymäisten kappaleiden siirtelyyn. (Välimäki 2024, 221.)



Kuva 6. Vakuumitarrain (Onrobot 2024).

Magneettiset tarraimet toimivat joko kesto- tai sähkömagneetin avulla ja toimivat näin ollen vain magneettisille kappaleille, ellei käytössä ole lisäkiinnittimiä, jotka toimivat magneettitarraimen vastakappaleena. Toimiakseen magneettinen tarrain vaatii myös riittävän tartuntapinta-alan. Magneettista tarranta harkittaessa tuleekin ottaa huomioon käsiteltävän kappaleen tartuntapinta-alat ja massa varmistaakseen tarraimen sopivuuden. Sähkömagneettinen tarrain myös lämpenee käytettäessä, joka on otettava huomioon työkiertoa suunniteltaessa liiallisen lämpötilan välttämiseksi. (Välimäki 2024, 223.) Kuvassa 7 Schunkin neljällä sähkömagneetilla varustettu tarrain.



Kuva 7. Schunkin magneettitarrain (Schunk 2024b).

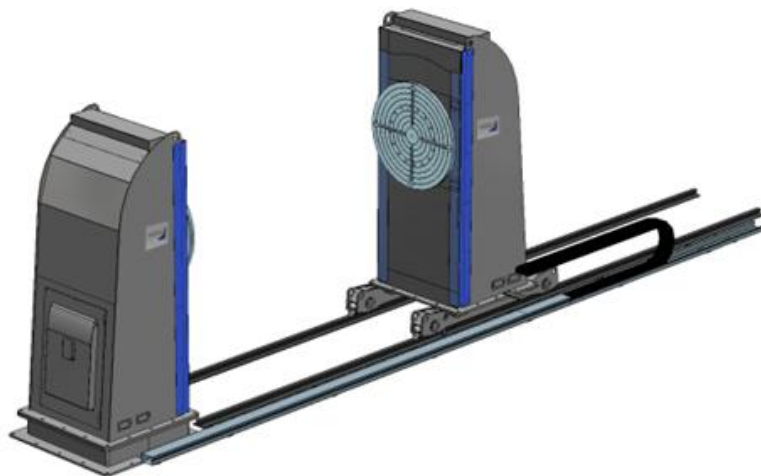
2.2.4 Kääntöpöydät

Kääntöpöydät ovat keskeinen osa robottihitsaussolussa. Sen tehtävänä on asemoida kappale robottiin nähden haluttuun, optimaaliseen asentoon. Kääntöpöytä koostuu pääsääntöisesti yhdestä tai useammasta servokäytöstä, jotka muodostavat robotin ulkoiset akselit. Nämä on usein integroitu osaksi robottiohjainta, jolloin niitä voidaan hallita samoin kuin robotin omia akseleita. Robottivalmistajilla on useita erilaisia ratkaisuita kääntöpöydissä, mutta myös kolmannen osapuolen ratkaisuja on mahdollista liittää robottiohjaimeen. (Välimäki 2024, 212.)

Kääntöpöydät voidaan jakaa eri kategorioihin niiden akselimäärän, sekä ominaisuuksien perusteella. Owen-Hillin artikkelissa kääntöpöydät on jaoteltu yksiakselisiin, grilli – peräkelkka yhdistelmiin, moniakselisiin ja ns. ”Ferris Wheel” asennoittimiin (Owen-Hill 2020). Yksinkertaisin ratkaisu on yksiakselinen kääntöpöytä, jossa kääntyvä akseli on usein horisontaalinen tai vertikaalinen. Vertikaaliakselinen kääntöpöytä on hyvä ja halpa ratkaisu kun hitsaus tapahtuu vain työkappaleen yhdeltä puolelta. Näin ollen työkappaletta ei tarvitse

kääntää optimaalisen hitsausasennon saavuttamiseksi vaan kääntöpöytä auttaa vain paremman ulottuvuuden saavuttamiseksi. Horisontaaliakselinen kääntöpöytä toimii taas sorvin tavoin, jossa pyörivä akseli on horisontaalisuunnassa. Tämä toimii hyvin hitsattaville kappaleille, jossa hitsejä on ympäri kappaleen pitkäisen akselin. Näille kappaleille horisontaalisella kääntöpöydällä saadaan optimaalinen PA tai PB hitsausasento.

Grilli – peräkelkka yhdistelmä on vertikaalisen kääntöpöydän tavoin yksiakselinen horisontaalisuunnassa pyörivä kääntöpöytä, mutta erona on, että tällä yhdistelmällä saadaan tukipiste molempiin päihin, mikä taas mahdollistaa raskaampien kappaleiden käsittelyn. Grillin ja peräkelkan väliin voidaan asentaa joko jigi tai koko työkappale ilman jigiä. Suorana esimerkkinä tästä kääntöpöydästä on case-yrityksen hitsaussolun kääntöpöytä, johon on asennettu kaidejigi. Yhdistelmän hyötynä on mahdollisuus pitkien ja raskaiden kappaleiden käsittelyyn. Esimerkiksi Pemamekilla on saatavilla myös ratkaisu, jossa peräkelkka on mahdollista asentaa käsin siirrettävään lineaarijohteeseen. Näin saadaan mahdollisuus säätää pöydän jänneväliä, mikä mahdollistaa eri mittaisten kappaleiden käsittelyn. Kuvassa 8 Pemamekin HPS & TPS käsittelylaitteisto lineaarijohteella.



Kuva 8. Pema HPS & TPS lineaarijohteella (Pemamek 2024).

Moniakselisissa kääntöpöydissä kääntö tapahtuu useamman akselin suunnassa. Miltei yleisimmin käytetty moniakselin kääntöpöytä on kaksiakselinen kääntöpöytä (kuva 9), jossa on

kääntö työkappaleen koordinaatistoon nähden horisontaalisesti, sekä vertikaalisesti. Tämä kaksiakselinen kääntö mahdollistaa monille kappaleille paremman hitsausasennon, sekä ulottuvuuden saavuttamisen. Moniakselisen kääntöpöydän etuna on, että sitä voidaan käyttää hyvin monien erilaiset kappaleiden käsittelyyn sopivia kiinnitysratkaisuja käytettäessä, mikä mahdollistaa aseman modulaarisuuden. Kääntöpöydän koosta riippuen sillä voidaan käsitellä jopa useamman tuhannen kilon painoisia kappaleita. Moniakselisia kääntöpöytiä voi olla myös kaksipaikkaisina, joissa vähintään kahdella puolella on omat yksi tai kaksiakseliset kääntöpöytänsä ja näitä saadaan pyöritettyä horisontaalisesti ympäri. Tällä ratkaisulla voidaan lastata toista kääntöpöytää samanaikaisesti, kun toista hitsataan. Monissa hitsaavissa konepajoissa, joissa hitsaus toteutetaan robotisoidusti mutta lastaus ja purku käsityönä, on tämänkaltainen käsittelypöytä. Esimerkiksi KKR Steelille tehdyssä diplomityössä esitellään käytössä tämänkaltaiset pöydät sekä kolme-, että viisiakselisina (Tietäväinen 2015, 66–68).



Kuva 9. Kukan kaksiakselinen kääntöpöytä (Kuka 2024).

Ns. ”Ferris wheel” kääntöpöytä on samankaltainen kaksipuolisten horisontaalisesti käännettävien kääntöpöytien kanssa. Erona niihin on, että kappaleita käännetään puolelta toiselle vertikaaliakselin ympäri. Näissä myös itse työkappaleen käännöt ovat vain vertikaaliakselin suuntaisesti kääntyviä.

2.2.5 Kiinnitysratkaisut

Jotta työkappaleita voidaan käsitellä kääntöpöydällä, täytyy ne saada siihen kiinnitettyä. Tyypillisesti suuremman tuotantomäärän kappaleissa käytetään hitsausjigiä, joka on ”kappaleita tai tuoteperhettä varten suunniteltu kiinnitin, joka asemoi kappaleet prosessia varten” (Välimäki 2024, 295). Hitsausjigi oikein suunniteltuna mahdollistaa suuren paikoitustarkkuuden, joka saisi koko prosessissa olla ± 0.5 mm (Weman 2012, 165), sekä nopeuttaa prosessia paikoituksen helpottuessa. Jotta kiinnittimestä saadaan paras hyöty irti, on se suunniteltava huolellisesti. Solehmainen, Tuunaisen, Räsänen ja Jääskeläisen (2016, 9) raportissa on kuvattu hitsauskiinnittimen suunnittelun päävaiheet seuraavasti:

- Suunnittelun pohjatietojen kerääminen
- Kiinnittimen toiminnallinen suunnittelu
- Kiinnittimen yksityiskohtainen suunnittelu
- Suunnitelmien tarkastus.

Pohjatietoja määritettäessä tulee määrittää työvaiheet ja valmistuksen eräkoot, tuotteen asento ja paikka, sekä arvioida hitsauksesta aiheutuvia muodonmuutoksia, sekä niiden suunnit. Tämän jälkeen voidaan suorittaa kiinnittimen toiminnallinen suunnittelu, jossa määritellään paikoitettavan kappaleen muodot ja pinnat, kiinnityspaikat, sekä prosessissa aiheutuvat voimat ja niiden suunnat. Näiden perusteella voidaan luonnostella erilaisia kiinnitysvaihtoehtoja. Tämän jälkeen voidaan toteuttaa kiinnittimen yksityiskohtainen suunnittelu, jossa suunnitellaan kiinnittimen runko, paikoittavat komponentit, sekä kiinnittävät komponentit. Lopuksi tehdään tarkastus, jossa varmistetaan tuotteen paikoitus kiinnittimessä, rakenteen riittävä jäykkyys, lasketaan mm. kiinnikkeen paino ja hinta, sekä varmistetaan hitsauksen luoksepäästävyys ja tuotteen irrotuksen onnistuvuus. (Solehmainen et al. 2016, 9.)

Jos hitsattavat kappaleet ovat tuotantomäärältään pieniä tai hitsattavia tuotteita on paljon erilaisia, voi hitsausjigin valmistus ja käyttö tulla kalliiksi. Vaihtoehtona ns. jigilliselle hitsaamiselle on jigitön hitsaus, jossa kappaleita ei ladota jigisiin, vaan käsittelyrobotti hoitaa hitsattavien kappaleiden paikoittamisen. Tämä voi nopeuttaa tuotantoaikoja, kun hitsausjigiä ei tarvitse vaihtaa tuotteiden välillä, sekä alentaa investointikustannuksia jigien jäädessä pois (Bejlegaards, Brunoe ja Nielsen 2018, 2). Jigitön hitsaus myös lisää hitsaussolun

joustavuutta, kun uusille tuotteille ei tarvitse suunnitella ja valmistaa omaa jigiiä. Vaikka jigitön hitsaus mahdollistaa joustavamman ja tehokkaamman hitsaussolun käytön, on siinä huomioitava seuraavat asiat jigilliseen hitsaukseen verrattuna (Bejlegaards et al. 2018, 5):

- Osien valmistustoleranssit oltava tarkemmat
- Jigitön hitsaus vaatii uudenlaista osaamista mm. robotin ohjelmoinnissa, joka voi olla myös aikaa vievää suhteessa tuotantomäärään pienissä tuotantoerissä.
- Robotin ohjausjärjestelmältä vaaditaan enemmän, jotta liikkeet saadaan suoritettua synkronoidusti, sekä riittäväällä tarkkuudella.
- Investoinnit voivat olla suurempia. Tässä pitää kuitenkin ottaa huomioon, että pitkän ajan kuluessa kulut tasaantuvat, kun uusiin jigieihin ei tarvitse investoida.
- Lämmöntuonti voi aiheuttaa haasteita, joka on mahdollisesti kompensoitava robotin paikoituksella.

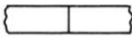
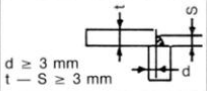

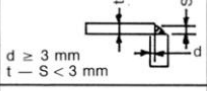



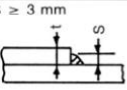
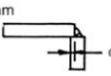
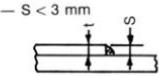
Jotta mahdollisia esivalmistuksen mittapoikkeamien aiheuttamia riskejä saadaan ehkäistyä, jigitön hitsaussolu voi vaatia erilaisia antureita kappaleita mittapoikkeamien toteamiseksi. Näin saadaan ohjelmaan automaattisesti korjattua molempien robottien paikkapisteet sopimaan yhteen muuttuneiden parametrien kanssa. Hyvänä esimerkkinä on tällä hetkellä case-yrityksen hitsausasemassa oleva valoverhoanturi, jonka luona käsittelyrobotti käyttää kai-deaihiot ennen jigiiin asennusta. Valoverhon tunnistaessa kappaleen, saadaan määriteltyä robotin työkalupisteen asema kappaleen alapintaan nähden. Tehtäessä sama myös toiseen päähän kappaletta saadaan määritettyä kappaleen paikoituksen lisäksi myös kappaleen todellinen mitta.

Jos käsittelyrobotteja on vähemmän kuin samanaikaisesti käsiteltäviä kappaleita, on tuotteen pohjakappale asennettava pyörityspöydälle, jonka jälkeen käsittelyrobotti voi asemoida muut hitsattavat kappaleet silloitusta varten pohjakappaleeseen. Tässä tapauksessa myös jiggittömässä hitsauksessa tarvitaan soveltuva kiinnitysratkaisu pyörityspöytään. Sopiva kiinnitysratkaisu riippuu hitsattavan kappaleen ominaisuuksista. Kevyemmille ja magneettisille kappaleille voi sopiva hyvin magneettikiinnitys, jollaista Lundin tekemässä diplomityössä käytettiin. Siinä pyörityspöytään on kiinnitetty magneettinen kiinnityspöytä, johon hitsattava kappale kiinnittyy (Lund 2019, 63). Painavimmilla tai korkeamman painopisteen omaavilla kappaleilla tämä ratkaisu tuottaa haasteita, jos kappaletta täytyy kääntää vaakatasoon

pöytään nähden, jolloin magneetin voima ei välttämättä riitä pitelemään kappaletta kiinni. Muuna ratkaisuna voi olla esimerkiksi mekaaniset tai pneumaattiset puristimet, joilla pohjakappale puristetaan pöytään kiinni, kuten Kuitunen esittää diplomityössään (Kuitunen 2021, 26), taikka erilaiset mekaaniset, pneumaattiset tai hydrauliset leuat, joiden väliin pohjakappale puristetaan. Näissä ratkaisuissa täytyy ottaa jigillisen hitsaamisen tapaan huomioon hitsauksen luoksepäästävyys.

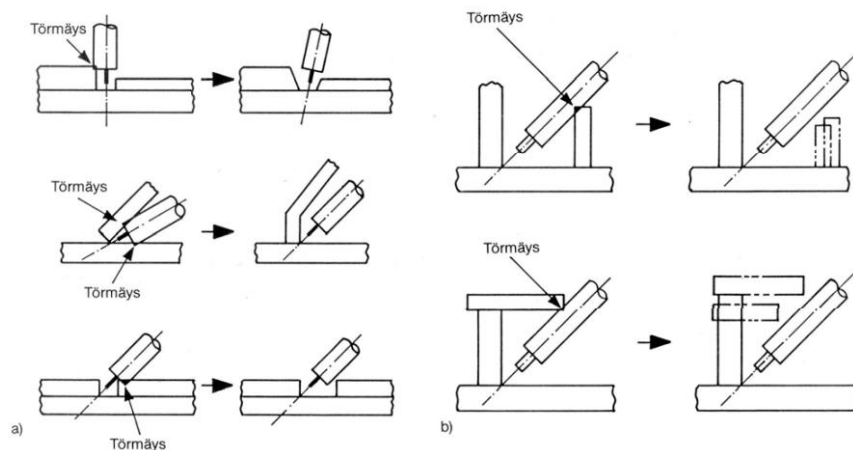
2.3 Robottihitsattavat tuotteet

Hitsattavia tuotteita valittaessa tulee huomioida kappaleen hitsattavuus robotilla, sillä robotilla on omat rajoitukset hitsattavuudessa liittyen esimerkiksi liitosmuotoihin. Robottihitsauksessa kannattaa suosia erityisesti pienaliitoksia, sillä nämä liitokset sisältävät itsessään juurituen, osien sovittaminen on helpompaa, sekä railotilavuus pysyy hallinnassa. Sen sijaan erityisesti juurituettomia päittäisliitoksia on pyrittävä välttämään, sillä ne on automatisoidusti haastavia saada luotettavasti riittävän hyvällä laadulla hitsattua. Näissä tapauksissa on usein liitokseen tehtävä muutoksia, kuten juurituen lisääminen, riittävän laadun takaamiseksi. (Hiltunen 2005, 18–23.) Kuvassa 10 on esitetty erilaisten liitostyyppien soveltuvuus robottihitsaukseen.

Liitosmuoto		Soveltuvuus	Liitosmuoto		Soveltuvuus
Päittäisliitos		1	Nurkka-liitos		4
		3			2
Tliitos		4	Reuna-liitos		1
		3	Päällekkäisliitos		4
Nurkka-liitos		2			2

Kuva 10. Eri liitostyyppien soveltuvuus robottihitsaukseen (Hiltunen 2005, 26).

Liitostyyppin lisäksi tuotetta valittaessa tulee huomioida myös robotin luoksepäästävyys. Tuotetta kartoittaessa tulee vähintäänkin simuloida kappaleen hitsaus robotilla ja varmistaa, että robotti mahtuu hitsaamaan jokaisen hitsin oikeassa asennossa ja ilman törmäyksiä. Tarvittaessa joko hitsausvarustukseen tai kappaleeseen on tehtävä muutoksia luoksepäästävyys-
den varmistamiseksi. Kappaleeseen tehtävistä esimerkkimuutoksia on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Hitsauksen luoksepäästävyysparantaminen rakennemuutoksilla (Hiltunen 2005, 31).

2.3.1 Potentiaaliset tuotteet

Siirrettäviä tuotteita valitessa pyritään kartoittamaan mitä samalla geometrialla olevia hitsattavia tuotteita yrityksellä tuotetaan mahdollisimman paljon. Tästä ei ole yrityksellä olemassa selkeää dataa, joten kartoitus suoritettiin haastattelemalla yrityksen tuotannon työnjohtoa, sekä suunnittelupuolta. Sähköpostihaastattelussa esitettiin seuraavat kysymykset:

- Mitä geometrisesti samanlaisia hitsattavia tuotteita/ratkaisuita, pois lukien vakiomalliset kaiteet, yrityksessä tuotetaan vuositasolla suhteellisen paljon?
- Mikä on arviosi näiden tuotteiden vuosittaisesta tuotantomäärästä kappaletasolla?

Näiden pohjalta pyritään saamaan kuva, mitä samankaltaisia tuotteita yrityksessä tuotetaan paljon ja näin ollen potentiaalisesti nostaisi robotin käyttöastetta eniten. Vastauksien

pohjalta kartoitetaan mainittujen tuotteiden hitsattavuutta ja potentiaalisimmat tuotteet otetaan käsittelyyn simulointivaiheessa.

Vastauksena saatiin 11 kappaletta eri tuoteratkaisua, jotka on listattu liitteessä 1. Liitteen taulukkoon on myös listattu mahdollisuudet ja haasteet jokaisen tuotteen osalta niiden siirtämisestä robotin hitsattavaksi. Vastauksena ei saatu kuitenkaan arvioita tuotteen valmistusmääristä, joten niitä on arvioitu taulukossa vain sanallisesti. Jatkotutkimuksiin otettavien tuotteiden valmistusmäärä otetaan kuitenkin tarkempaan tutkintaan taloudellisia laskelmia laskettaessa. Potentiaalisimmiksi tuotteiksi hitsausrobotin hitsattavaksi nousivat kierreportaan askelma, tikasaskelmat, verkko- ja pinnakaide kaideputkella, RHS-kannake ja UPE-kannake diagonaalipalkilla. Kierreportaan askelmissa ja tikasaskelmissa nähtiin suuri potentiaali niiden sarjatuotantomahdollisuuksien osalta, kun taas verkko- ja pinnakaiteissa niiden tuottavuuden parantaminen robottihitsauksella. RHS- ja UPE-kannakkeiden osalta mahdollisuus nähtiin niiden tuotantomäärien lisäksi mahdollisuudessa parametrisointiin pienen muuttujien määrän ansiosta. Suurimpina haasteina kierreportaan askelmassa nähtiin hitsauksen luoksepäästävyys, joka testataan simulointivaiheessa, sekä toleranssi ritilän esivalmistuksessa. Tikasaskelman osalta suurimpana haasteena nähtiin jigittömän hitsauksen sekä paikoituksen haastavuus, joita arvioidaan tarkemmin simulointivaiheessa. Verkko- ja pinnakaiteiden molempien osalta haasteena nähtiin verkon ja pintojen esivalmistustarkkuus, sillä verkko täytyy leikata tarkasti oikeasta kohtaa ja pinnat täytyy olla suorina robottihitsauksen onnistumiseksi. RHS-kannakkeessa haasteena on varianssi kannakkeiden muodossa ja diagonaalipalkin omaavassa UPE-kannakkeessa palkin selkien välinen päittäisliitos, joka mahdollisesti vaatii esivalmistustoimenpiteitä.

2.4 Ohjelmointi

Jotta robotti saadaan työskentelemään itsenäisesti, on sen liikeradat ohjelmoitava. Ohjelmointitapoja on monia aina opettamalla ohjelmoimisesta VR- tai AR-tekniikalla ohjelmoimiseen. Ohjelmointitavat voidaan pääpiirteisesti kuitenkin jakaa kahteen ryhmään: online-ohjelmointi eli paikan päällä tapahtuva ohjelmointi, sekä offline-ohjelmointi, eli etäohjelmointi. Online-ohjelmointitapoja ovat mm. opettamalla ohjelmointi, kun taas offline-ohjelmointitapoja ovat mm. tekstipohjainen ohjelmointi, mallipohjainen ohjelmointi, sekä parametrisoinninen ohjelmointi.

Opettamalla ohjelmointi on helppo ja halpa ohjelmointitapa, sillä sen pystyy suorittamaan robotin mukana tulevalla käsiohjaimella. Opettamalla ohjelmoinnissa robottia liikutetaan käsiohjaimella haluttuihin pisteisiin ja tallennetaan nämä paikkatiedot muistiin. Vaikka opettamalla ohjelmointi on helppo ohjelmointitapa, on monimutkaisten ohjelmien luominen sillä haastavaa ja usein monimutkaisemmat ohjelmarungot on tehtävä erikseen tietokoneella. (Välimäki 2024, 245.) Opettamalla ohjelmoinnissa robotin tuotanto joudutaan myös keskeyttämään ohjelmoinnin ajaksi, mikä vähentää robotin tuottavuutta.

Etäohjelmoinnissa robotin ohjelmointi suoritetaan tuotannon ulkopuolella. Näistä eniten käytetyt tavat ovat mallipohjainen, sekä tekstipohjainen ohjelmointi. Etäohjelmoinnin etuna on ohjelmointien luonti ilman tuotantokatkoksia, sillä fyysistä robottisolua ei tarvita ohjelmien luomisessa. Mallipohjaisessa ohjelmoinnissa luodaan tarkka, kalibroitu virtuaalimalli hitsaussolusta, sekä hitsattavasta kappaleesta, joiden avulla voidaan luoda ohjelma. Etäohjelmointisovelluksen avulla voidaan simuloida hitsausohjelma ja usein ohjelmistot tarjoavat erilaisia työkaluja hitsauksen tarkasteluun, kuten törmäystunnistusta. Nykypäivänä mallipohjaisten ohjelmien luominen on varsin helppoa ja varsinkin hitsausohjelmien luominen jopa yksittäisille tuotteille voidaan tehokkaasti luoda mallipohjaisesti. Teollisuuden robotiikka kirjassa esitetään mallipohjaisen ohjelmoinnin karkeat päävaiheet seuraavasti (Välimäki 2024, 267):

- Simulointimallin luominen robottisolusta
- Tuotemallin paikoittaminen simulointimalliin
- Mallipohjainen etäohjelmointi
- Ohjelman todentaminen simuloimalla
- Simulointimallin kalibrointi
- Etäohjelman siirto fyysiselle robotille
- Ohjelman käyttöönotto robotilla.

Mallipohjaisia etäohjelmointiohjelmistoja löytyy monilta eri ohjelmistontuottajilta, sekä joiltain robottivalmistajilta, jotka ovat soveltuvia heidän omiin robotteihinsa, kuten ABB:n RobotStudio. Tässä työssä simulointivaihe suoritetaan Visual Componentsin OLP Robotics ohjelmistolla, joka tukee monien eri robottivalmistajien robotteja, mukaan lukien Yaskawa.

Tekstipohjaisessa ohjelmoinnissa ohjelma luodaan suoraan tekstimuotoon, robotin merkin mukaan joko avoimena tekstinä, taikka robottikohtaiselle ohjelmointikielelle. Keveimmillään ohjelmointi voidaan suorittaa suoraan yleisellä tekstieditorilla, kuten Wordilla. Ilman simulointiohjelmistoa tekstipohjainen ohjelma vaatii, että ohjelma tarkastetaan fyysisessä solussa, joka aiheuttaa testauksen ajaksi tuotantokatkon. (Välimäki 2024, 246.) Tekstipohjaisen ohjelmoinnin haasteena on myös, että tämä ohjelmointitapa vaatii ohjelmointikielten syvempää ymmärtämistä oikeanlaisen ja toimivan ohjelman luomiseksi.

Parametrisessä ohjelmoinnissa ohjelmarunko luodaan joko malli- tai tekstipohjaisesti, mutta halutut kiinteät arvot korvataan muuttujilla tai niiden funktioilla. Näin saadaan luotua ohjelma, jossa samaa ohjelmaa hyödyntämällä voidaan luotua hitsausohjelma samankaltaisille, mutta erikokoisille kappaleille. (Välimäki 2024, 258.) Parametrisen ohjelman ansiosta itse kappaleen ohjelmointi ei vaadi muuta kuin haluttujen mittojen syöttämisen joiden pohjalta tuotanto-ohjelma luodaan. Etuna parametrisissa ohjelmissa on sen helppokäyttöisyys, jolloin operaattori ei tarvitse suurta tietämystä robotin ohjelmoimisesta. Parametrisen ohjelman luominen vaatii kuitenkin tekstipohjaisen ohjelmoinnin tavoin ymmärrystä ohjelmoinnista.

2.5 Joustava hitsaussolu

Yhtenä tämän työn tutkimuskysymyksenä on minkä tyyppisiä tuotanto ja layout-ratkaisuja on olemassa ja kuinka niitä voidaan hyödyntää yrityksen tuotteiden hitsaamisessa. Robotti-aseman layout vaikuttaa suuresti sen käytettävyyteen ja joustavuuteen, josta syystä tätä näkökulmaa on syytä tarkastella. Joustavuudella tässä tapauksessa tarkoitetaan hitsaussolun mahdollisuutta hitsata useampia tuotteita ilman suuria muutoksia itse solussa. Tätä varten solun laitehankinnat on suunniteltava niin, että ne mahdollistavat monien erilaisten tuotteiden käsittelyn. Näin ollen myös jiggittömän hitsauksen mahdollisuutta kannattaa harkita. Tuotteista ja tuotantomääristä riippuen joustavuus on myös otettava huomioon ohjelmoinnissa, sekä kappaleiden ladonnassa ja paikoituksessa. Jos geometrisesti samanlaisia tuotteita on paljon, voi olla järkevää laatia parametrinen ohjelma tuoteperheelle ja näin ollen voi olla myös järkevää panostaa käsittelyrobotin ohjelmointiin, jolloin ladonta ja paikoitus voi olla mahdollista saada automatisoitua. Jos hitsauksessa on paljon erilaisia tuotteita, ohjelmointi voi olla järkevintä suorittaa kappalekohtaisesti offline-ohjelmointina, sekä kappaleiden paikoitus ja ladonta hoitaa käsin, sillä kappaleenkäsittelyrobotin ratojen ohjelmointi vaatii

huomattavasti enemmän resursseja ja tarkastelua hitsausrobotin ohjelmointiin verrattuna. Tällöin myös mahdollinen silloitus kannattaa suorittaa manuaalisesti. Taulukossa 1 on hahmoteltu soveltuvat ohjelmointitavat, sekä ladonnan, paikoituksen ja silloituksen automatisointi eri tuotantomäärillä.

Taulukko 1. Ohjelmointitapa, sekä automatisointi eri tuotantomäärillä

Tuotanto	Ohjelmointitapa	Ladonta ja paikoitus	Silloitus
Sarjatuotanto	Offline-ohjelmointi	Automaattinen	Automaattinen
Tuoteperheet	Parametrinen ohjelmointi	Automaattinen	Automaattinen
Yksittäiset ja pien-sarjatuotteet, jatkuva tuotanto	Offline-ohjelmointi	Manuaalinen	Manuaalinen
Yksittäiset tuotteet, ei jatkuvaa tuotantoa	Online / Offline-ohjelmointi	Manuaalinen	Manuaalinen

2.6 Taloudelliset laskelmat

Investointipäätöksiä tueksi on hyödyllistä laskea taloudellisia laskelmia kannattavuuden arvioimiseksi. Investointilaskelmilla saadaan laskettua investointien kannattavuutta ottamalla huomioon investointien hankintakustannukset, nettotuoton, pitoajan, investointikohteen jäännösajan, laskentakorkokannan ja käyttöpääoman tarpeen muutokset (Tevä-Helminen 2013, 7).

2.6.1 Käyttökulut, käyttöaste ja nettotuotto

Robottihitsauksella haetaan yritykselle parempaa tuottavuutta nopeuttamalla hitsausprosessia ja näin ollen alentamalla hitsauksen käyttökuluja. Näin ollen nettotuotto kannattaa laskea robottihitsauksen ja käsinhitsauksen käyttökulujen erotuksesta. Hitsauksen käyttökuluihin kuuluvia kustannuksia ovat työ-, lisäaine-, suojakaasu-, energia-, materiaali-, huolto-, sekä konekustannukset. Jos hitsausprosessi pysyy samana, lisäaine-, suojakaasu-, ja

materiaalikustannukset voidaan olettaa olevan samoja, jolloin niitä ei oteta laskutoimituksissa huomioon. Muutoin täytyy myös lisäaine- ja suojakaasukustannukset ottaa huomioon. Robottihitsauksen kustannusten laskennassa täytyy myös ottaa mahdollinen ohjelmointiaika, sekä lisenssikustannukset huomioon. Työkustannukset saadaan laskettua molemmille prosesseille seuraavalla kaavalla:

$$K_T = \frac{M}{T} * \frac{l}{e} * H_T \quad (1)$$

jossa K_T on työkustannukset (€/m), M on hitsiainemäärä (kg/m), T on hitsiaineentuotto (kg/h), e on paloaikasuhte ja H_T on työtunnin hinta (€/h) Valtanen 2019, 963).

Koneen tuntihinta, jossa on kunnossapitokustannukset otettu huomioon, voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$H_{KT} = \left(H_H * \left(\frac{l}{T_p} + \frac{p}{200} \right) + Y \right) * \frac{l}{T_K} \quad (2)$$

jossa H_{KT} on koneen tuntihinta (€/h), H_H on koneen ostohinta (€), T_p on koneen poistoaika (v), p on pääoman korkoprosentti (%), Y on vuosittaiset kunnossapitokustannukset ja T_K on koneen vuosittainen käyttöaika (h) (Valtanen 2019, 963).

Koneen tuntihinnan avulla saadaan laskettua konekustannukset kaavalla:

$$K_K = \frac{M}{T} * \frac{l}{e} * H_{KT} \quad (3)$$

jossa K_K on konekustannukset (€/m), M on hitsiainemäärä (kg/m), T on hitsiaineentuotto (kg/h), e on paloaikasuhte ja H_{KT} on koneen tuntihinta (€/h) (Valtanen 2019, 963).

Energiakustannukset voidaan laskea kaavalla:

$$K_E = M * E * H_E \quad (4)$$

jossa K_E on energiakustannukset (€/m), M on hitsiainemäärä (kg/m), E on energiankulutus (kWh/hitsiainekilo) ja H_E on energian hinta (€/kWh) (Valtanen 2019, 963).

Suojakaasu- ja lisäainekustannukset voidaan laskea kaavoilla:

$$K_S = \frac{M}{T} * V * H_S * 0,12 \quad (5)$$

$$K_L = M * \frac{H_L}{N} \quad (6)$$

jossa K_S on suojakaasukustannukset (€/m), M on hitsiainemäärä (kg/m), T on hitsiaineen tuotto (kg/h), V on kaasun virtausnopeus (l/min), H_S on kaasun ostohinta (€/l), H_L on lisäaineen ostohinta (€/kg) ja N on hyötyluku (Valtanen 2019, 963).

Aiempien kaavojen perusteella voidaan laskea muuttuvat käyttökulut kaavalla:

$$K = K_T + K_K + K_E + K_S + K_L \quad (7)$$

jossa K on muuttuvat käyttökulut (€/m), K_T on työkustannukset (€/m), K_K on konekustannukset (€/m) ja K_E on energiakustannukset (€/m), K_S on suojakaasukustannukset (€/m) ja K_L on lisäainekustannukset (€/m).

Muuttuvien käyttökulujen perusteella voidaan laskea vuosittaiset käyttökulut kaavalla:

$$K_a = K * n_h * l + K_x \quad (8)$$

jossa K on muuttuvat käyttökustannukset (€/m), n_h on hitsattavien kappaleiden määrä, l on kappaleen hitsin pituus (m) ja K_x on muut vuosittaiset käyttökulut (€/v).

Ylempillä kaavoilla lasketaan vuosittaiset käyttökulut, sekä robotti-, että käsinhitsaukselle ja näiden perusteella voidaan laskea arvioitu nettotuotto kaavalla:

$$S = K_{aKH} - K_{aRH} \quad (9)$$

jossa S on hitsausrobottisolun nettotuotto (€/v), K_{aKH} on käsinhitsauksen vuosittaiset käyttökulut (€/v) ja K_{aRH} on robottihitsauksen vuosittaiset käyttökulut (€/v).

2.6.1 Takaisinmaksuaika ja sisäisen korkokannan menetelmä

Solun nettotuoton avulla voidaan tehdä investointilaskelmat, joilla saadaan tarkasteltua investoinnin kannattavuutta. Investointilaskelmamenetelmiä on useita erilaisia kuten nykyarvomenetelmä, suhteellisen nykyarvon menetelmä, annuiteettimenetelmä, likimääräinen annuiteettimenetelmä, sisäisen korkokannan menetelmä, pääoman tuottoastemenetelmä ja takaisinmaksuajan menetelmä (Tevä-Helminen 2013, 14). Tässä työssä investointilaskelmat tehdään takaisinmaksuajan menetelmällä, sekä sisäisen korkokannan menetelmällä. Näistä takaisinmaksuajan menetelmä on helppo tapa arvioida investoinnin kannattavuutta laskeamalla millä ajanjaksolla investointi on maksanut itsensä takaisin. Takaisinmaksuajan laskeminen ei kuitenkaan suoraan ilmaise investoinnin kannattavuutta, joten sen lisäksi kannattaa käyttää myös toista menetelmää, tässä tapauksessa sisäisen korkokannan menetelmää (Tevä-Helminen 2013, 22–23). Sisäisen korkokannan menetelmällä voidaan laskea korkokanta, jolla investoinnin nykyarvo on nolla, eli tuotot ovat yhtä suuria kuin kustannukset. Investointi voidaan määrittää olevan kannattava, jos sisäinen korko on suurempi kuin pääoman tuottotavoite (Tevä-Helminen 2013, 19).

Takaisinmaksuaika investoinnille voidaan laskea kaavalla:

$$n = \frac{H}{S} \quad (10)$$

jossa n on takaisinmaksuaika halutussa ajanjaksossa, H on investoinnin suuruus (€) ja S on investoinnin nettotuotto halutussa ajanjaksossa (€) (Tevä-Helminen 2013, 22).

Sisäinen korkokanta saadaan johdettua kaavasta:

$$\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{(1+r)^i} + \frac{JA}{(1+r)^n} - H = 0 \quad (11)$$

jossa n investoinnin pitoaika, S_i on investoinnin nettotuotto periodissa i (€), JA on investoinnin jäännösarvo pitoajan päättyessä (€) ja H on investoinnin suuruus (€/v). Sisäinen korko r (%) saadaan ratkaistua kaavasta helpoiten joko kokeilemalla, interpoloimalla tai taulukkolaskentaohjelmiston avulla. (Tevä-Helminen 2013, 19.)

2.6.2 Herkkyysanalyysi

Investointilaskelmien herkkyyttä voidaan arvioida herkkyysanalyysin avulla. Herkkyysanalyysin avulla voidaan tarkastella, miten kannattavuus muuttuu, kun tiettyjä laskelmien muuttujia muutetaan. Jokaisen muutoksen jälkeen kannattavuuslaskelma tehdään uudestaan ja näin ollen saadaan arvioitua mitkä tekijät ovat kriittisimpiä kannattavuuden kannalta ja keskittyä näihin. (Tevä-Helminen 2013, 24.) Hitsaussolun osalta voidaan esimerkiksi testata miten alempi tuotantomäärä tai korkeammat käyttökulut vaikuttavat investoinnin kannattavuuteen.

3 Simulointi

Tutkittaessa kappaleiden hitsattavuutta robotilla, on simulointi loistava tapa tähän. Simuloinnilla saadaan tutkittua mm. robottien luoksepäästävyyttä, vaadittavia layouteja, sekä robottien tuotantoaikoja. Tässä työssä simulointi suoritetaan Visual Componentsin ohjelmistolla, joka on roboteille luotu ohjelmisto simulointia ja mallipohjaista ohjelmointia varten. Simuloinnissa käytetään pohjana Yaskawan tekemää kalibroitua mallia hitsaussolusta, mikä mahdollistaa tarkemman simulointimallin luomisen. Ensimmäisessä ja toisessa alakappaleessa esitellään yrityksen nykyinen laitteisto sekä nykyinen tuotanto, joita molempia hyödynnetään simuloinnissa. Myöhemmissä alakappaleissa esitetään simuloinneissa käytettävät tuotemallit, simulointien vaatimat laite- ja layoutmuutokset, sekä robottien ohjelmointi. Tutkittavina tuotteina simuloinnissa ovat yrityksen pystytikkaiden askelmat, kierreportaan askelmat, sekä kaksikappaletta erilaisia hoitotasojen kannakkeita. Pääpainona tikkaiden tutkimuksessa on niiden hitsattavuus nykyisessä kaidejigissä, kierreportaiden askelmien tutkimuksessa niiden hitsattavuus ritilöiden välistä ja kannakkeiden tutkimuksessa niiden ohjelmointiajan, sekä tarvittavan laitteiston tutkiminen. Kaikissa tuotteissa tutkitaan simuloinnin avulla myös niiden tuotantoaikoja, joita vertaillaan myöhemmin käsinhitsaukseen.

3.1 Nykyinen laitteisto

Nykyisin käytössä oleva kaiteiden hitsaamiseen suunniteltu hitsausrobotiasema on Yaskawan suunnittelema ja valmistama. Solu sisältää hitsausrobotin, materiaalinkäsittelyrobotin, sekä kääntöpöydän kaidejigillä (kuva 12).



Kuva 12. Case-yrityksen käytössä oleva hitsausrobotiasema

Hitsausrobotina toimii Yaskawan Motoman AR2010 robotti, joka on Yaskawan kuusiakselinen robotti 12 kg hyötykuormalla, sekä 2010 mm työalueella (Yaskawa 2024b). Robottiin on kiinnitetty Froniuksen TPSi 500i hitsausvirtalähde, joka tarjoaa 500 A maksimihitsausvirran, Froniuksen MIG/MAG langansyöttölaite, sekä Froniuksen vesijäähdytetty 500 A hitsauspoltin (Fronius 2024). Robotti on kiinnitetty Yaskawan TSL-1000, 6000 mm pitkään lineaarirataan, jonka liikepituus on 5150 mm

Materiaalinkäsittelyrobotina toimii Yaskawan Motoman GP180 robotti, joka on niin ikään Yaskawan kuusiakselinen robotti. Sen maksimi käsittelykyky on 180 kg ja maksimiulottuvuus 2702 mm (Yaskawa 2024c). Käsittelyrobotissa on kiinni tarrainjärjestelmä, joka sisältää kolme kappaletta Schunkin tarraimia (kuva 13). Näistä kaksi tarrainta ovat kiinni lineaarijohteissa, jolloin tarrainväliä saadaan säädettyä. Robotti on kiinnitetty Yaskawan TSL-4000, 8000 mm pitkään lineaarirataan, jonka liikepituus on 6660 mm.”



Kuva 13. Käsittelyrobotin tarrain

Kääntöpöytänä toimii Yaskawan H2000 grilli ja T2000 perätuki, jotka yhdessä muodostavat yksiakselisen vaakasuuntaisen pyörityslaitteen. Pyörityslaitteen maksimikuorma on 2000 kg ja kappaleen maksimihalkaisija 2500 mm (Yaskawa 2022). Grillin ja perätuen väliin on asennettu Yaskawan suunnittelema hitsausjigi kaideosille, jossa on 6 kappaletta pihittar- raimia kaideputkille ja näille siirtokelkat.

Näiden lisäksi solu sisältää myös valokennoilla toimivan mittausaseman putkiaihioille, sekä välipudotusaseman. Putkiaihioille, sekä valmiille kaiteille löytyvät myös omat telineet käsittelyrobotin viereltä.

3.2 Yrityksen nykyinen tuotanto

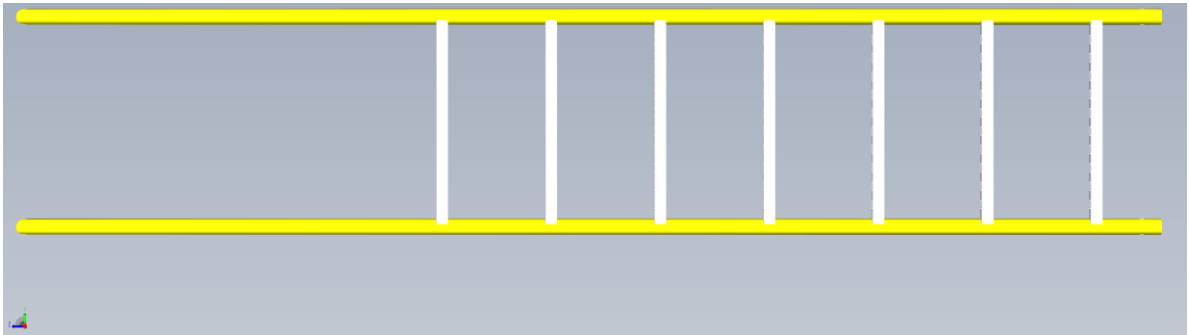
Yrityksen tuotanto painottuu teollisuuden mittatilaushoitotasoihin ja -porrastorneihin. Hoitotasot pääosin valmistetaan joko UPE-palkista tai särmätyistä kulmista. Särmätyt hoitotasot ovat kaikki hitsattuja tasoja, mutta UPE-tasot valmistetaan joko hitsattuina taikka pulttiliitoksina. Tasojen lisäksi yritys valmistaa myös tasojen kannakoinnit, jotka ovat pääosin joko UPE-, HEA/HEB- tai RHS-palkista valmistettuja kannakkeita. Kannakkeet ja tasot valmistetaan pääosin seostamattomasta rakenneteräksestä, mutta myös ruostumaton rakenneteräs, sekä alumiini on käytössä. Hitsatut tasot ja kannakkeet hitsataan kaikki käsin.

Kaidepuolella valmistus keskittyy pääosin hoitotasojen ja portaiden kaiteisiin, portteihin, sekä tikkaisiin. Kaidenpuolen työnjohtajan arvion mukaan n. 75 % hitsattavista kaiteista on ruostumatonta putkiprofiilia, 20 % seostamatonta putkiprofiilia ja 5 % alumiinia. Näistä ns. vakiomalliset 42,4 mm ja 48,3 mm halkaisijalla olevat ruostumattomat ja seostamattomasta rakenneteräksestä valmistetut kaiteet valmistetaan robotilla, kaikki muut hitsataan käsin.

3.3 Simuloitavat tuotteet

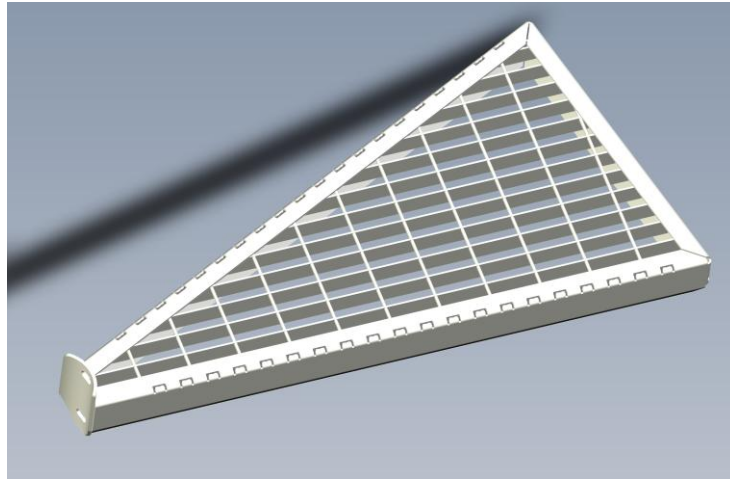
Simuloinnissa ensimmäinen tarkasteltava tuote on pystytikkaat. Sopivia tuotteita hahmotellessa heräsi ajatus mahdollisuudesta hitsata tikkaat nykyisessä kaidejigissä, jolloin investointikustannukset saataisiin tältä osin pienennettyä. Simulointia varten mallinnettiin tikkaat 3 metrin pystyputkilla ja seitsemällä U-profiilisella askelmalla 275 mm askelmavälillä (kuva 14). Pystyputkiin on leikattu hahlot, joihin askelmat saadaan asemoitua kuvan syvyys suunnasta. Myös askelmiin on leikattu epäkeskosti kynnet päihin, jotka asemoivat askelmat

hahloihin oikeaan syvyyteen. Hitsejä askelmissa on kolmella sivulla, U-profiilin ulkoreunoilla. Pääpaino simuloinnissa on todentaa mahdollisuus tikkaiden hitsaamiseen kaidejigissä, sekä vertailla tuotantoaikaa käsinhitsaukseen.



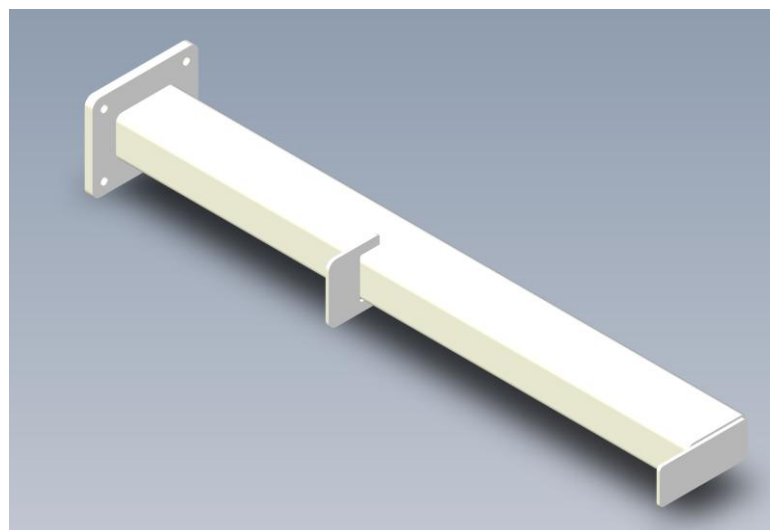
Kuva 14. Simuloinnissa käytetty tikasmalli

Toinen simuloitava tuote on kierreportaiden askelma (kuva 15). Askelma koostuu kolmion malliin särmätystä kulmasta, portaikon keskitolppaan kiinnittyvästä kiinnityslapusta ja askelman sisään tulevasta ritilästä. Askelmat tullaan vakioimaan niin, että vain askelman pituus on muuttujana, sekä ritilän leikkaus suoritetaan niin, että ritilä alkaa latasta ja tämä latta on kohdistettu toiseen askelman pitkään sivuun. Simuloitava malli on vakioitu askelma 1000 mm porrassäteellä. Hitsattavia liitoksia askelmassa on kiinnityslapun ja särmätyn kulman välinen liitos, sekä ritilän hitsaaminen alapuolelta riittävän tiheästi askelmaan. Simuloinnissa tarkastellaan etenkin hitsauspolttimen luoksepäästävyyttä ritilän väliin, sekä tuotantoaikaa verrattuna käsinhitsaukseen.



Kuva 15. Kierreportaan askelma

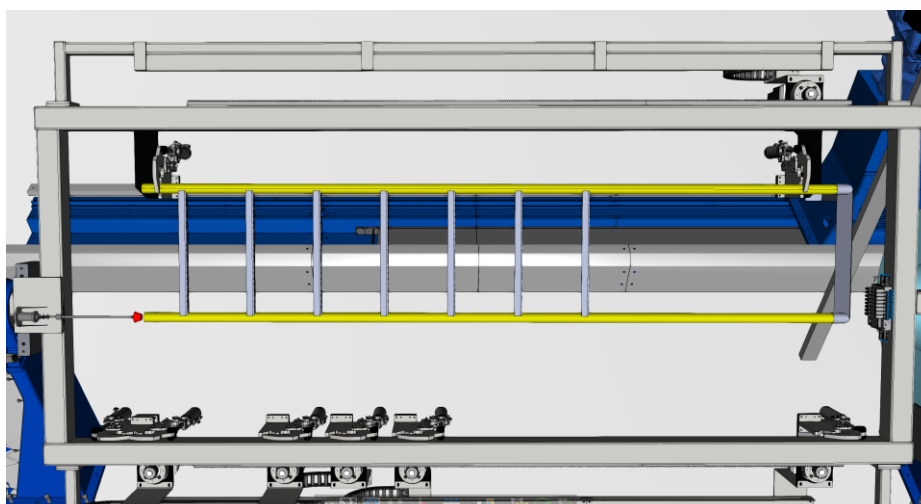
Kolmantena simuloitavana tuotteena käytetään suoraa RHS-palkista valmistettua hoitotaso-kannaketta. Kannake on profiililtaan 100x150x8 mm RHS-palkki ja pituudeltaan 1460 mm. Kannakkeeseen hitsataan toiseen päähän kiinnityslappu, toiseen päähän päätylappu ja palkin kylkeen yksi lappu. Havainnekuva kuvassa 16. Kannakkeen simuloinnissa pyritään havainnoimaan kyseisenlaisten kappaleiden tuotantoa robotilla ja vertaamaan tätä käsinhit-
sukseen. Tämän lisäksi, koska kannakkeiden mallit ovat projektikohtaisia, olisi ne ohjel-
moitava joka kerta erikseen, joten tarkasteluun otetaan myös kappaleen ohjelmointiin tarvit-
tavaa aika, jonka avulla voidaan laskea minkä kokoisia sarjoja on järkevää hitsata robotilla.



Kuva 16. Hoitotason kannake

3.4 Laitemuutokset

Jotta tikkaat onnistutaan hitsaamaan nykyisessä kaidejigissä, vaatii molemmat putket kiinnityksen jigiin. Toinen pystyputki on mahdollista kiinnittää kaidejigin vaakaputken pihtitarraimiin, mutta toiselle vaakaputkelle täytyy hankkia erillinen kiinnitin. Ratkaisuna tähän olisi molempien putkien toiseen päähän, liikkuvaan pihtitarraimeen asennettava päätyvaste, jolla molemmat putket saadaan asemoitua samaan linjaan, sekä toiselle putkelle paineilmasylinteri vastakkaiseen päähän, jolla puristetaan putki päätyvastetta vasten. Hahmotelma ratkaisusta Visual Componentsissa kuvassa 17. Tällä ratkaisulla saadaan pisimmillään kiinnitettyä 3 metrinen tikas kiinni jigiin.



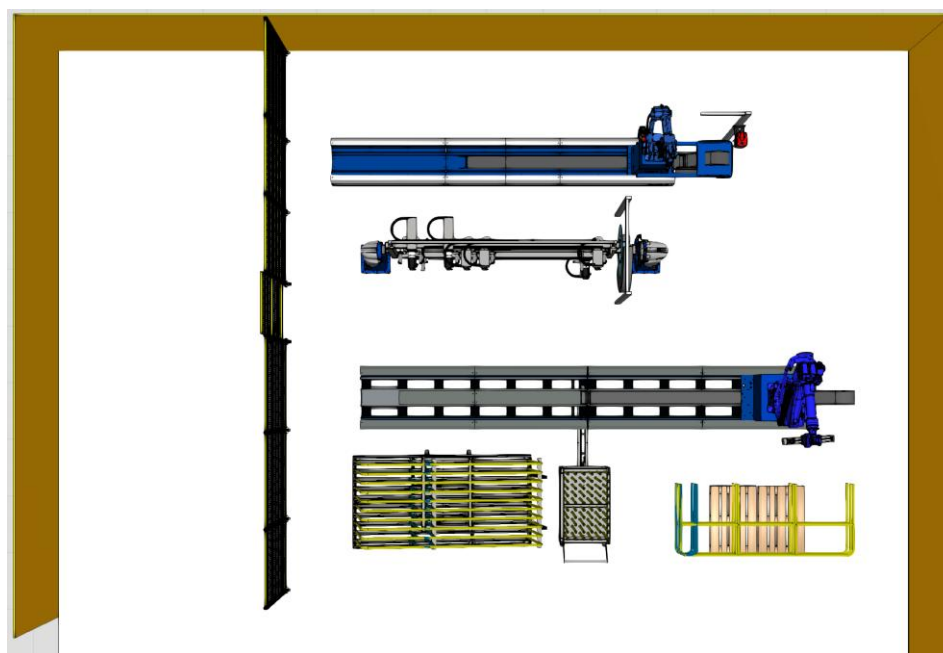
Kuva 17. Tikkaiden kiinnitys kaidejigiin

Kierreportaiden ja kannakkeiden hitsaaminen voisi teoriassa onnistua myös kaidejigissä, mutta tällöin tarvittavat kiinnittimet tulisivat suurella todennäköisyydellä muiden tuotteiden tielle. Potentiaalisimpana ratkaisuna nähtiin erillinen kääntöpöytä, johon voi myös jatkossa hitsattavia tuotteita. Pienten sarjakokojen takia joustavuuden kannalta parhaana ratkaisuna nähtiin, että osat silloitetaan ja paikoitetaan käsin. Näin ollen potentiaalisimpana ratkaisuna olisi Yaskawan VMF-500 L-mallin kääntöpöytä, joka on kolmeakselinen kääntöpöytä kahdella työpöydällä. Näin ollen toista pöytää voidaan purkaa ja ladata samanaikaisesti, kun toisella pöydällä hitsataan. Simulointiohjelmasta ei kyseistä pöytää löytynyt, joten layout-

suunnittelu toteutetaan Yaskawan R2L-1000 kääntöpöydällä. Kyseistä kääntöpöytää ei kuitenkaan saatu simuloinneissa toimimaan, joten simulointi hitsaukselle toteutettiin Yaskawan MT1-1000 kääntöpöytää, joka tarjoaa hitsaamisen kannalta samat kääntöominaisuudet kuin VMF-500L. Kääntöpöytiin voidaan liittää esimerkiksi Schunkin ruuvipenkki, johon työkalupale tai jigi voidaan kiinnittää.

3.5 Layout-muutokset

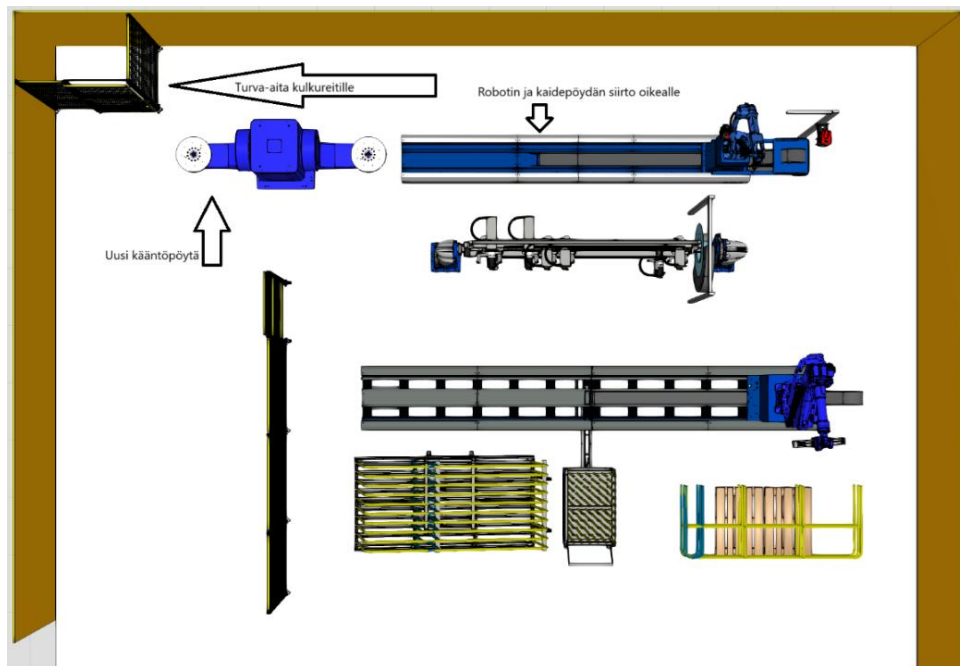
Layout-muutoksia tarkasteltiin Visual Componentsin solumallin avulla. Malliin lisättiin ympäristössä olevan hallin seinät, sekä olemassa olevat turva-aidat, joiden avulla saadaan havainnoitua tilantarvetta. Solun layout ennen muutoksia kuvassa 18.



Kuva 18. Hitsaussolun layout ennen muutoksia

Koska hitsausrobotin kahdella puolella tulee vastaan seinät ja kolmannella puolella on kai-depöytä, on uuden kääntöpöydän sijoittaminen järkevintä turva-aitojen puolelle. Jotta lastat-tavan puolen kääntöpöydällä mahtuu työskentelemään, joudutaan hitsausrobotin ja sen line-aarijohteen sijoittelua muuttamaan, jolloin niitä joudutaan siirtämään n. 1000 mm pois-päin turva-aidoista. Tämän myötä myös kaidepöytää joudutaan siirtämään samaan suuntaan.

Kyseinen kääntöpöydän sijoittelu aiheuttaa turvallisuusriskin seinällä olevan oven käyttäjille, jolloin kyseinen ovi joudutaan myös turva-aidoittamaan. Hahmotelma layout muutoksesta kuvassa 19.



Kuva 19. Hitsaussolun layout-muutokset

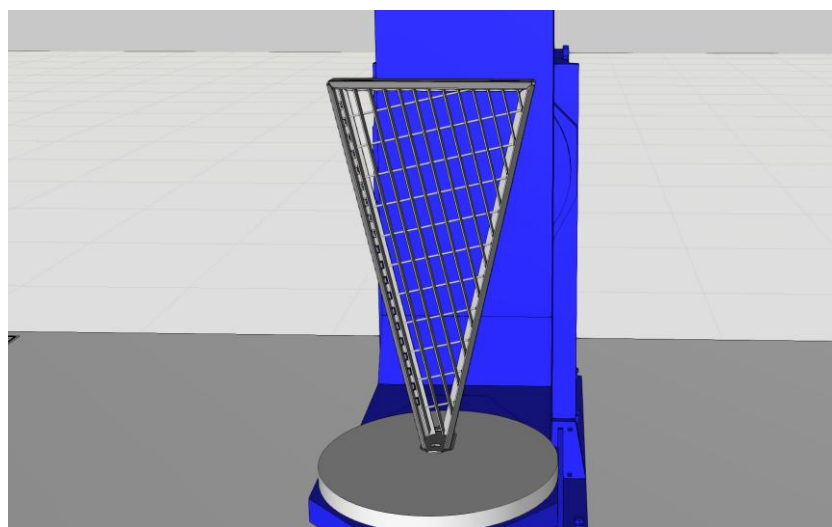
Etuna kyseisellä layoutilla on, että operaattorin työskentelyalue kääntöpöydän luona on lähellä nykyistä operaattorin työpistettä, joka sijaitsee turva-aidan vieressä. Tämän lisäksi hahmoteltu layout mahdollistaa esteettömän kulun ja kappaleiden kuljettamisen kääntöpöydälle ilman kulkua robottien työskentelyalueelle.

3.6 Hitsausratojen ohjelmointi

Simuloinnissa kaikille kappaleille ohjelmoitiin hitsausradat kaikkiin hitsattaviin liitoksiin. Tikkaiden simuloinnissa hitsausrobotin ohjelmoinnin lisäksi ohjelmoitiin myös materiaalin käsittelyrobotti paikoittamaan kaikki osat, sekä noutamaan valmiit tikkaat, jolloin saatiin simuloitua koko tikkaiden valmistusprosessi. Kyseinen valmistusprosessi ohjelmoitiin ensin niin, että valmistusrobotti tuo askelmia yhden kappaleen kerrallaan, jonka jälkeen

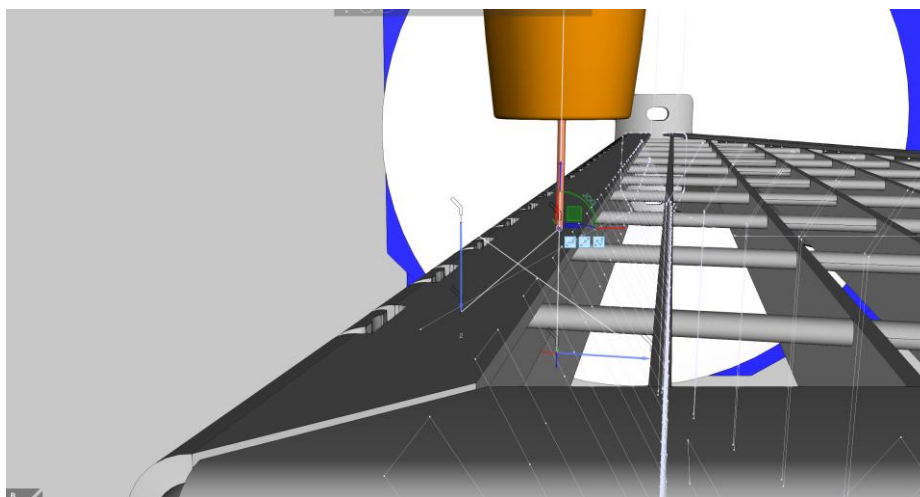
hitsausrobotti hitsaa koko askelman kerralla. Tässä heräsi kuitenkin epäilyksiä, että koko askelman hitsaaminen kerralla ilman muita askelmia tukena tuo lämpöä ja aiheuttaa muodonmuutoksia niin paljon, että seuraavien askelmien paikoitus ei enää onnistu. Niinpä prosessi ohjelmoitiin uudestaan niin, että käsittelyrobotti paikoittaa askelmat kerralla ja seuraavaa askelmaa noutaessa hitsausrobotti silloittaa askelman kiinni pystyputkiin. Liitosten hitsaus suoritettiin sen jälkeen, kun kaikki askelmat on silloitettu paikalleen. Haut askelmiin ja pystyputkiin suoritettiin silloitusvaiheessa. Koska askelmat eivät ole pyöreitä ja symmetrisiä, voi nykyisellä käsittelyrobotin tarraimella olla haasteita nostaa askelmia oikeassa asennossa. Epäilyksen takia tätä testattiin käytännössä käsittelyrobotilla. Käytännön testissä todettiin, että käsittelyrobotin tarraimilla ei saada käsiteltyä askelmia riittävän tarkasti. Mahdollisuutena on kuitenkin muuttaa askelman profiilia, jolloin on mahdollista käsitellä askelmia riittävällä tarkkuudella. Tikkaiden valmistus onnistui kokonaisuudessaan simuloinnissa ilman törmäyksiä.

Kierreportaiden askelmien simuloinnissa askelma paikoitettiin kääntöpöytään niin, että kiinnityslappu on kohti pöytää (kuva 20). Lappu tarjoaa luonnollisesti kiinnityspaikan, jolloin sen reikiin voidaan asentaa pultit kiinnitystä varten. Kiinnityslappu on myös vakiokokoinen kaikilla askelmapituuksilla, joten samaa kiinnitysratkaisua voidaan hyödyntää kaikissa askelmissa.



Kuva 20. Kierreportaan askelman paikoitus kääntöpöytään

Hitsausradat ohjelmoitiin niin, että robotti hitsaa ensin päätylapun ja askelman väliset liitokset, jonka jälkeen se siirtyy hitsaamaan ritilää kiinni askelman runkoon. Palkoja simuloinnissa hitsattiin 50 mm välein sivulle, jossa ritilän latta kulkee askelman rungon myötäisesti. Kahdella muulla sivulla kaikki latat hitsattiin kiinni runkoon. Haku suoritettiin kuvan 21 mukaisesti kaksisuuntaisesti ritilän latan kylkeen ja askelmarungon yläpintaan. Näin saadaan haettua ritilän lattojen tarkka paikka, sekä askelman asemoinnin mahdollinen korkovirhe. Ritilöiden hitsaamisessa simulaatiossa huomattiin, että vakioasetuksilla 45° kulmassa runkoon nähden ja 15 mm:n vapaalanganpituudella hitsaaminen ei onnistu nykyisellä polttimella, sillä poltin ottaa kiinni viereiseen lattaan. Kokeilemalla saatiin todettua, että 62° kulmalla runkoon nähden ja 20 mm:n vapaalanganpituudella poltin mahtuu hitsaamaan lattojen välistä. Riittävän laadun varmistamiseksi suoritettiin myös käytännön testi hitsausrobotilla, jossa testattiin ritilän hitsaamista kyseisillä asetuksilla. Käytännön testissä todettiin, että ritilöiden välistä on mahdollista hitsata riittävän hyvällä laadulla. Polttimen törmäyksiä aiheuttivat myös askelmien kaksi nurkka-aluetta, joissa poltin osuu askelman runkoon. Näissä nurkissa ensimmäiset palot joudutaan hitsaamaan 15° poltinkulmassa pois päin nurkasta.



Kuva 21. Kierreportaan askelmalle suoritettu kaksisuuntainen haku

Hoitotasokannake paikoitettiin kääntöpöytään myös niin, että kiinnikelevy on kohti pöytää. Näin on mahdollista pyörittää kannaketta oman pituusakselinsa ympäri, joka mahdollistaa hitsaamisen sopivassa asennossa ja edesauttaa robotin luoksepäästävyyttä. Hitsattavat liitokset ohjelmoitiin kiinnikelapulle koko matkalta ympäri, keskilapulle molemmilta puolilta,

sekä päätylapulle koko matkalta ympäri. Haut suoritettiin jokaisen lapun kohdalla kolmi-suuntaisella haulla: yksi lapun kyljestä ja yhdet palkin kummaltakin kyljeltä. Hitsausrobotin nivelten rajoitteiden takia jokainen hitsattava liitos jouduttiin jakamaan vähintään kahteen osaan, jotta nivelten liikekulma ei ylitä niille asetettuja rajoja.

3.7 Tuotantoajat

Tuotantoajat tutkimuksessa oleville tuotteille arvioitiin simulointimallin, sekä käytännön testien avulla. Simulointimallin avulla saatiin arvioitua tikkaiden tuotantoaika kokonaisuudessaan, sillä paikoitus tapahtuu robotin avulla, mutta kierreportaiden ja kannakkeen tuotantoajassa täytyy ottaa huomioon myös silloitus, lastaus ja purkuaika, jotka testattiin käytännössä. Kannakkeiden kustannuslaskelmissa täytyy ottaa huomioon myös ohjelmointiaika, joka myös testattiin käytännössä.

Taulukossa 2 on esitetty simuloitua tuotantoajaa tikkaiden hitsauksessa. Kokonaistuotantoaika on otettu suoraan simulaatioajasta. Muut ajat on otettu simulaatiosta Visual Componentsin ”Path Check” -työkalulla, jolla saadaan ulos robottien tuotantoaikoja.

Kierreportaiden askelmissa, sekä kannakkeissa kääntöpöydän lastaus, silloitus ja purkaminen tapahtuu samanaikaisesti robotin hitsatessa, joten kokonaistuotantoajaksi voidaan laskea näistä kahdesta pidempi aika olettaen, että kääntöpöydällä tuotetaan kerralla enemmän kuin yksi tuote. Taulukossa 2 on esitetty kierreportaiden askelmien, sekä kannakkeiden tuotantoajat, joista hitsausrobotin tuotantoaika, liikeaika, kaariaika on otettu simulaatiomallista ja lastausaika käytännöntestistä. Lastausaikaan sisältyy kappaleen lastaus kääntöpöydälle, silloitus ja purkaminen kääntöpöydältä. Koko tuotantoaika on määritelty vertailemalla hitsausrobotin tuotantoaika ja lastausaika, joista suurempi voidaan määritellä koko tuotantoajaksi. Taulukkoon on myös lisätty kannakkeen ohjelmointiaika, joka otetaan huomioon kustannuslaskelmissa, jossa määritellään järkevää sarjakokoa erikseen ohjelmoitavaksi. Ajat on ilmoitettu suhteellisesti, jossa jokaisella tuotteella koko tuotantoaika on 100 % ja muut ajat suhteutettuna tähän.

Taulukko 2. Tikkaiden prosessiajat hitsaussolussa

Prosessi	Aika, tikkaat (%)	Aika, kierreportaan askelma (%)	Aika, kannake (%)
Koko tuotantoaika	100	100	100
Hitsausrobotin liikeaika	76,7	100	38,8
Hitsausrobotin kaariaika	42,3	71,4	24,2
Käsittelyrobotin liikeaika	16,1	-	-
Lastausaika	-	86,9	100
Ohjelmointiaika	-	-	267

4 Kustannuslaskelmat

Simulointien tulosten perusteella tuotteille ja niiden hitsaamiseen tarvittaville investoinneille on laskettu kustannuslaskelmat. Laskelmat pohjautuvat pääosin kappaleessa 2.6 esitettyihin kustannuslaskelman kaavoihin. Kuitenkin, koska osa tuotteista hitsataan käsin TIG-hitsausmenetelmällä, ei kustannusten laskeminen onnistu samalla tavalla perustuen hitsiaineentuottoon, kuten kappaleessa on esitetty. Tämän sijasta kustannukset on laskettu perustuen tuotteiden läpimenoaikaan. Työ-, suojakaasu-, lisäaine- sekä konekustannukset on laskettu johdettavilla kaavat 1 ja 3 perustumaan tuotteiden läpimenoaikaan. Näin saadaan kaavat:

$$K_T = t * H_T \quad (12)$$

$$K_K = t * H_K \quad (13)$$

jossa K_T on työkustannukset (€/tuote), t on tuotteen läpimenoaika (h), H_T on työn tuntihinta (€/h), K_K on konekustannukset (€/tuote) ja H_K on koneen tuntihinta (€/h).

Käsinhitsauksen läpimenoaika on laskettu käsinhitsauksen paloaikasuhteen, hitsattavien metrien ja kuljetusnopeuden perusteella. Paloaikasuhte on saatu arvioitua Kempin Weldeye-sovelluksesta, hitsattavat metrit on laskettu suoraan tuotteista ja kuljetusnopeus otettu hitsattavaa tuotetta koskevasta hitsausohjeesta keskimääräinen kuljetusnopeus. Näiden perusteella käsinhitsauksen läpimenoajalle saadaan kaava:

$$t = \frac{l}{v} * \frac{l}{e} * \frac{l}{60} \quad (14)$$

jossa t on tuotteen läpimenoaika (h), l on hitsattavat millimetrit (mm), v on kuljetusnopeus (mm/min) ja e on paloaikasuhte.

Näiden lisäksi myös energiakustannukset joudutaan laskea tuotekohtaisesti, jolloin nämä saadaan laskettua eri laitteiden kuluttaman energian summana kaavalla:

$$K_E = (E_i * t_i + E_j * t_j \dots + E_n * t_n) * H_E \quad (15)$$

jossa K_E on energiakustannukset (€/tuote), E on keskimääräinen energiankulutus tunnissa käytössä olevilla laitteilla i -n (kWh/h), t on tuotantoaika käytössä olevilla laitteilla i -n (h/tuote) ja H_E on energian hinta (€/kWh). Käsinihityksessä ainoana laitteena on hitsauskone ja sen tuotantoaikana on käsinihityksen kaariaika. Robottihityksessä laitteina on hitsauskoneen lisäksi hitsausrobotti, kääntöpöytä, sekä tuotteesta riippuen käsittelyrobotti. Näissä tuotantoaikana on laitteen liikeaika yhden tuotteen valmistuksen aikana.

Koska investoinnin korko otetaan myöhemmin huomioon kannattavuuslaskelmissa, sekä konekustannuksissa halutaan huomioida investoinnin arvo ilman pääoman korkoa, lasketaan koneen tuntihinta ilman pääoman korkoa johtamalla kaava 2 kaavaksi:

$$H_{KT} = \left(H_H * \frac{I}{T_p} + Y \right) * \frac{I}{T_K} \quad (16)$$

jossa H_{KT} on koneen tuntihinta (€/h), T_p on koneen poistoaika (v), Y on vuosittaiset kunnossapitokustannukset (€/v) ja T_K on koneen vuosittainen käyttöaika (h/v).

Vertailuarvona kustannuslaskelmille on aluksi laskettu tämänhetkisen tuotannon nettotuotto, käyttöaste, takaisinmaksuaika, sekä sisäinen korkokanta. Euromääräiset tulokset esitetään prosentteina suhteutettuna laitteiston alkuinvestointiin. Arvioitavana tuotteena on käytetty yhdellä keskitolpalla ja kahdella väliputkella olevaa vakiokaidetta, joka voidaan olettaa olevan keskimääräinen kaide, jota hitsataan robotilla. Kaiteiden tuotantomäärä on laskettu viimeisen neljän vuoden keskiarvosta. Molemmissa tuotantoprosesseissa on otettu huomioon työ- kone- ja energiakustannukset, jotka on laskettu kaavoilla 12, 13, 15 ja 16. Näiden perusteella on laskettu kokonaiskustannukset molemmille prosesseille kaavalla 7 ja 8 ja näiden perusteella nettotuotto kaavalla 9. Takaisinmaksuaika on laskettu kaavalla 10. Laskelmien perusteella saadaan tämänhetkiselle hitsausrobotisolun tuotannon vuotuiseksi nettotuotoksi 12,2 % alkuinvestoinnista, käyttöasteeksi 10,5 % ja takaisinmaksuajaksi 12,3 vuotta eli nykyhetkestä 8.3 vuotta. Sisäinen korkokanta saatiin kokeilemalla taulukko-ohjelman avulla kaavalla 11. Korkokannaksi saatiin noin 2,6 %.

Samoilla kaavoilla lasketaan kustannuslaskelmat myös muille tuotteille, kuitenkin poikkeuksena, että kierreportaan askelmissa ja kannakkeissa ei huomioida lisäaine- tai suojakaasukustannuksia, sillä hitsausprosessin ja -ohjeen oletetaan pysyvän samana. Skenaarioina on käytetty taulukon 3 mukaisia skenaarioita. Eri skenaarioissa on siirretty eri tuotteet hitsausrobotin hitsattavaksi, jolloin saadaan arvioitua eri tuotteiden vaikutusta tuotantoon ja kustannuksiin. Kaikissa skenaarioissa kaiteiden hitsaus pysyy robotilla samalla tuotantomäärällä tämänhetkiseen keskiarvoon nähden. Tämän lisäksi kaikissa skenaarioissa alkupe-
räisinvestoinnin määrästä on vähennetty tähän mennessä kertynyt nettotuotto, sekä poistojajasta on vähennetty neljä vuotta, jonka ajan solu on ollut jo käytössä.

Taulukko 3. Eri skenaariot kustannuslaskelmissa

Skenaario	Hitsattavat tuotteet
Skenaario 1	Kaiteet ja tikkaat
Skenaario 2	Kaiteet ja kierreportaan askelmat
Skenaario 3	Kaiteet, tikkaat ja kierreportaan askelmat
Skenaario 4	Kaiteet, tikkaat, kierreportaan askelmat ja kannakkeet

Ensimmäisessä skenaariossa hitsausrobotin tuotantoon lisätään tikkaat. Tämänhetkiseksi tikkaiden vuosittaiseksi tuotantomääräksi on arvioitu 648 metriä, eli simuloituilla 3 metrisillä tikkailla laskettuna 216 kappaletta. Investointeja hitsaussoluun vaadittaisiin kaidejigin ylimääräisiin kiinnittimiin, tikkaiden parametriseen ohjelmaan, sekä esivalmisteiden telineisiin. Näistä on saatu Yaskawalta budjetti-arvio, joka on yhteensä 26,9 % robotin alkuinvestoinnista. Näiden perusteella voidaan laskea kannattavuuslaskelmat aiempaan tyyliin, joiden tulokset on esitetty kappaleessa 5.

Toisessa skenaariossa hitsaussolun tuotantoon lisätään kierreportaiden askelmat. Tämänhetkinen kierreportaiden vuosittainen myyntimäärä ja sitä kautta tuotantomäärä kierreportaan askelmissa on hyvin pieni, sillä askelmien hitsaaminen sitoisi tällä hetkellä liikaa tuotannon resursseja. Siirrettäessä askelmien hitsaus robotille, olisi mahdollista tuottaa enemmän askelmia. Näin ollen kustannuslaskelmissa yritetään selvittää tarvittava tuotantomäärä askelmille, jotta investointi olisi kannattava. Kustannuslaskelmissa tutkitaan sitä tuotantomäärää, jolla takaisinmaksuaika kokonaisuudessaan on pienempi kuin vertailuarvona laskettu

takaisinmaksuaika pelkkien kaiteiden valmistuksessa. Askelmien siirtämiseksi robotin hit-sattavaksi vaadittaisiin investointeina uusi kääntöpöytä, sekä siihen kiinnittimet. Näistä on saatu Yaskawalta budjetti-arvio, joka sisältää kolmannessa kappaleessa mainitun VMF-500L kääntöpöydän asennuksineen, sekä kiinnittimet tähän. Budjetti-arvio on 42,9 % robotin alkuinvestoinnista. Skenaariolle 2 on näiden arvojen perusteella laskettu kustannuslaskelmat, joiden tulokset on esitetty kappaleessa 5.

Kolmannessa skenaariossa tuotantoon lisätään tikkaat skenaarion 1 mukaisesti ja kierreportaat skenaariossa 2 tutkitun tarvittavat tuotantomäärän verran. Investointeja suoritetaan molempien skenaarioiden mukaisesti, jolloin lisäinvestoinnin määrä on skenaarioiden 1 ja 2 summa. Tulokset skenaarion kustannuslaskelmista on esitetty kappaleessa 5.

Viimeisessä skenaariossa lisätään tuotantoon vielä kannakkeet, joista tutkitaan, millä sarjakoolla kannakkeiden robottihitsaamisen nettokulut ovat pienemmät kuin käsinhitsauksessa. Kustannuslaskelmissa kannakkeiden työkustannuksiin lisätään ohjelmointikustannukset, joka jaetaan sarjatuotantomäärällä. Tuotantomääräksi näihin laskelmiin arvioidaan yksi sarja viikossa, eli 52 sarjaa vuodessa. Todellisuudessa tuotantomäärää on mahdollista nostaa suuremmaksi, joten lopuksi lasketaan vielä tarvittava valmistusmäärä vuodessa muiden tuotteiden lisäksi, jotta sisäinen korkokanta saataisiin nostettua yrityksen alkuperäiselle tavoitetasolle, eli prosenttiin. Tulokset laskelmista on esitetty kappaleessa 5.

5 Tulokset

Tässä kappaleessa esitetään tutkimuksessa saadut tulokset, jotka pohjautuvat tutkimuskysymyksiin. Ensimmäisessä alakappaleessa on esitetty, mitkä tutkituista tuotteista olisi mahdollista siirtää hitsausrobotin tuotantoon pohjautuen tuotteiden simulointiin hitsausrobotilla. Toisessa alakappaleessa esitetään tarvittavat investoinnit tuotteiden siirtämiseksi hitsausrobotille ja kolmannessa alakappaleessa on näiden perusteella laskettu taloudelliset laskelmat investointien kannattavuuden näkökulmasta.

5.1 Siirrettävät tuotteet

Simuloinneilla tutkimalla saatiin todettua, että kaikki tutkimuksessa olevat tuotteet, eli tikkaat, kierreportaan askelmat, sekä suora hoitotason kannake on mahdollista siirtää hitsausrobotin hitsattavaksi. Tikkaat on mahdollista valmistaa lastausta ja purkua myöten automatisoidusti hyödyntämällä käsittelyrobotia. Kappaleessa 3.4 esitetyllä kiinnitinratkaisulla, sekä parametrisella ohjelmalla on mahdollista hitsata kaikki alle kolme metriä korkeat ja vakioidulla askelmaleveydellä olevat tikkaat.

Kierreportaiden askelmissa suurin epäilyksen aihe oli hitsauspolttimen luoksepäästävyys riittävän lattojen väliin. Simuloinnilla ja käytännön testillä saatiin todettua, että oikealla poltinkulmalla ja vapaalanganpituudella on mahdollista hitsata myös lattojen välistä. Lastaus ja purku kannattaa suorittaa käsin, sillä kappaleiden paikoitus on kannattavinta suorittaa silloittamalla ne paikoilleen. Askelmia tuotetaan tällä hetkellä eri pituisina portaikon säteellä 600 mm – 1300 mm. Simuloinnissa ei löydetty estettä, etteikö kaikkia eri mittaisia askelmia voisi siirtää robotin tuotantoon.

Kannakkeiden osalta tutkimuksen kohteena oli hitsattavuuden lisäksi myös ohjelmointiaika. Kannakkeet on mahdollista siirtää robotin hitsattavaksi erillisellä kääntöpöydällä, joka on esitetty kappaleessa 5.2. Ohjelmointiajaksi saatiin noin 40 min. Kannattava sarjakoko tällä ohjelmointiajalla on esitetty kappaleessa 5.3. Tutkimus kattoi yksinkertaiset, suorat kannakkeet, johon hitsataan levyjä tai lyhyitä oksia palkin kylkeen tai päihin. Kääntöpöytä

mahdollistaa maksimissaan 500 kg:n painoisen kannakkeen käsittelyn. Kannakkeen maksimipituuden määrittäminen vaatii käytännön testejä.

5.2 Vaadittavat investoinnit

Vaadittavat investoinnit tuotteiden siirtämiseksi hitsausrobotille on esitetty taulukossa 4. Taulukossa on myös esitetty mille tuotteelle tai tuotteille vaadittava investointi on kohdistettu, sekä investoinnin budjettiarvio, joka on saatu Yaskawalta. Budjettiarvio on esitetty suhteutettuna robottiaseman alkuperäisinvestoinnin hintaan.

Taulukko 4. Vaadittavat investoinnit hitsausasemalle

Investointi	Budjettiarvio (% alkuinvestoinnista)	Kohdistettu tuote
Kaidejigin, sekä parametrusten ohjelmien muutokset, sekä telineet pystyputkille ja askelmille.	26,9	Tikkaat
VMF-500S5DL kääntöpöytä, Visual Components solun kalibrointi, sekä layout-muutokset.	42,9	Kierreportaan askelmat, sekä kannakkeet

Budjetti saatiin Yaskawalta yllä olevan taulukon mukaisesti positioittain, eikä eri investointeja ollut tarkemmin eritelty. Näillä positioilla saadaan kuitenkin suoritettua kustannuslaskelmat eri skenaarioille ongelmitta.

5.3 Taloudelliset laskelmat

Tulokset taloudellisista laskelmista eri skenaarioissa on esitetty taulukossa 5. Vuotuiset nettotuotot esitetään prosentteina suhteutettuna hitsausrobottiaseman alkuperäisinvestoinnin hintaan. Taulukkoon on merkattu lihavoituna sen muuttujan tulos, jota kyseisessä skenaariossa on etsitty. Skenaariossa 4 lasketuksi tarvittavaksi kannakkeiden sarjatuotantomääräksi saatiin 15 kappaletta, jotta robottihitsauksen kokonaiskustannukset alittavat käsinhitsauksen kustannukset. Takaisinmaksuaika skenaarioissa on laskettu tästä ajanhetkestä eteenpäin.

Taulukko 5. Eri skenaarioiden taloudelliset laskelmat

Skenaario	Tuotantomäärät (kpl/v)	Vuotuinen nettotuotto (% alkuinvestoinnista)	Käyttöaste (%)	Takaisinmaksuaika (v)	Sisäinen korkokanta (%)
Skenaario 1	Tikkaat: 216	8,5	11,2	11,1	0
Skenaario 2	Kierreportaan askelmat: 9500	13,6	18,6	8,1	5,5
Skenaario 3	Tikkaat: 216 Kierreportaan askelmat: 9500	13,3	19,2	10,3	1,1
Skenaario 4	Tikkaat: 216 Kierreportaan askelmat: 9500 Kannakkeet: 5300	21,9	34,3	6,2	8

Tuloksien perusteella askelmien ja kannakkeiden tarvittava tuotantomäärä on liian suuri esivalmistuksen kapasiteettiin nähden, josta syystä skenaario 1, eli tikkaiden valmistus otettiin vielä tarkempaan tutkimukseen. Laskelmissa tarkasteltiin tikkaiden tarvittava tuotantomäärä sekä takaisinmaksuajan pienentämiseksi, että tavoitellun sisäisen korkokannan saavuttamiseksi. Tulokset laskelmista löytyy taulukossa 6.

Taulukko 6. Tikkaiden tarvittavat tuotantomäärät takaisinmaksuajan pienentämiseksi ja tavoitellun korkokannan saavuttamiseksi

Tavoite	Tuotantomäärä (kpl/v)	Vuotuinen nettotuotto (% alkuinvestoinnista)	Käyttöaste (%)	Takaisinmaksuaika (v)	Sisäinen korkokanta (%)
Takaisinmaksuaika < 8,3 v	455	11,4	11,8	8,29	5
Sisäinen korkokanta = 8 %	605	13,2	12,3	7,15	8

Skenaarion 1 tuloksille tehtiin myös herkkyyshanalyysi muuttamalla robottihitsauksen läpimenoaika $\pm 10\%$, sekä lisäinvestoinnin hintaa $\pm 10\%$. Tuotantomääränä käytettiin skenaarion 1 mukaista 216 tikasta. Tulokset analyysistä löytyy taulukossa 7.

Taulukko 7. Herkkyyshanalyysi skenaariolle 1

Muutos	Vuotuinen nettotuotto (% alkuinvestoinnista)	Käyttöaste (%)	Takaisinmaksuaika (v)	Sisäinen korkokanta (%)
Läpimenoaika, robottihitsaus +10 %	8,4	11,2	11,2	0
Läpimenoaika, robottihitsaus -10 %	8,5	11,1	11	0
Lisäinvestointi +10 %	8,2	11,2	11,7	0
Lisäinvestointi -10 %	8,7	11,2	10,2	0,8

6 Tulosten analysointi

Kuten tuloksista huomataan, tutkimuksesta onnistuttiin löytämään sopivia tuotteita siirrettäväksi hitsausrobotin tuotantoon. Simuloimalla tuotteiden hitsaus robotilla, saatiin melko luotettava näkemys niiden soveltuvuudesta robotin hitsattavaksi. Näiden tuotteiden siirtämiseksi löydettiin myös investointitarpeita, joiden kannattavuutta tutkittiin. Kuten kappaleen 5.3 tuloksissa huomataan tikkaiden siirtäminen nykyisellä tuotantomäärällä ei ole kannattavaa, sillä investointikustannukset suhteessa tuotantomäärään on liian suuri ja näin ollen investointi vain kasvattaisi aseman takaisinmaksuaikaa. Jotta investointi olisi järkevä tehdä, tulisi tikkaiden valmistusmäärä nostaa vähintään 455 kappaleeseen, jolloin koko aseman takaisinmaksuaika olisi laskelmien mukaan pienempi kuin nykyinen takaisinmaksuaika.

Kierreportaiden askelmien, sekä kannakkeiden siirtämisen osalta investoinnin kustannusarvio oli myös odotettua suurempi, jonka takia niiden tarvittava valmistusmäärä kasvaisi liian suureksi investoinnin takaisin maksamiseksi. Jotta kyseinen investointi olisi kannattava, täytyisi hankittavalle kääntöpöydälle siirtää myös muita tuotteita hitsattavaksi, jotta tuotekoh-
taiset valmistusmäärät olisivat realistisia.

Kustannuslaskelmille tehdystä herkkyysoanalyysistä huomataan, että lisäinvestoinnin hinta tai läpimenoajan muutos ei suhteellisesti vaikuta kannattavuuslaskelmiin. Tämä puoltaa laskelmien paikkansapitävyyttä, sillä vaikka osa kustannuslaskelmien arvoista, kuten käsinhitsauksen läpimenoaika, on laskettu teoreettisesti ja on näin ollen suuntaa antava, ei pienillä muutoksilla ole radikaalia vaikutusta lopullisiin tuloksiin.

7 Johtopäätökset ja jatkotutkimuskohteet

Peilaten työn johdantoon, tutkimukselle määritettyinä tutkimuskysymyksinä olivat:

- Minkä tyyppiset tuotteet sopivat hitsausrobotin hitsattavaksi ja mitkä yrityksen tuotteet sopisivat tähän kategoriaan?
- Minkä tyyppisiä tuotanto- ja layout-ratkaisuja on olemassa ja kuinka näitä voisi hyödyntää yrityksen tuotteiden hitsaamisessa?
- Millä tavalla eri tuotteiden tai rakenteiden siirtäminen robotin hitsattavaksi vaikuttaisi aseman käyttöasteeseen, sekä mikä olisi investointien takaisinmaksuaika ja kannattavuus?

Tutkimuksen teoriaosuudessa löydettiin kirjallisuuskatsauksen pohjalta vastaus minkä tyyppiset tuotteet sopivat hitsausrobotin hitsattavaksi ja tämän pohjalta löydettiin yrityksen tuotannosta case-luontoisesti kolme kappaletta tuotteita, jotka todettiin simuloimalla mahdolliseksi siirtää hitsausrobotille. Myös sopiva tuotanto- ja layout-ratkaisu löydettiin siirrettäville tuotteille huomioon ottaen myös mahdollisuus muiden tuotteiden siirtämiseen hitsausrobotin tuotantoon jatkossa.

Vaikka tutkimuksesta löydettiin potentiaalisia tuotteita hitsausrobotin tuotantoon, kustanlaskelmien perusteella investointeja ei ole kannattavaa tehdä pelkästään näiden tuotteiden siirtämiseksi. Tikkaiden siirtämiseksi kohdistuva investointi on räätälöity vain tikkaiden hitsaamiseen, joten tämän investoinnin saamiseksi kannattavaksi, on joko tikkaiden tuotantomäärää saatava nostettua, tai investoinnin hintaa laskettua, jotta takaisinmaksuaika olisi pienempi kuin nykytuotannolla. Näin ollen tämän osalta olisi vielä mahdollisuus tutkia, löytyykö tähän halvempia ratkaisuita markkinoilta.

Kierreportaan askelmien ja kannakepalkkien siirtämisen osalta vaadittava tuotantomäärä osoittautui myös liian suureksi etenkin esivalmistuksen kapasiteettiin, sekä markkinoihin nähden. Jotta kyseinen investointi olisi kannattavaa, olisi syytä jatkaa tutkimusta sen osalta, mitä muita tuotteita olisi mahdollista siirtää robotin tuotantoon. Tämän lisäksi, koska yrityksen tuotanto on vahvasti räätälöityä tällä hetkellä, olisi syytä tutkia mahdollisuuksia

suunnitteluratkaisuiden vakiomiseksi ja näin ollen mahdollistaa tuotteiden sarjatuotanto tehokkaasti robotilla.

Lähteet

Arulkirubakaran, D. Malkiya Rasalin Prince, R. Ramesh, R. Rajesh, T. C. S. N. Neil Anand, K. Mathew, S. M. Baby, S. T. Anila Sharon, J. Kishore, K. CH. S. 2022. Evolution of Industrial Robotic Grippers—A Review. Teoksessa: Palani, I.A. Sathiya, P. Palanisamy, D. Recent Advances in Materials and Modern Manufacturing. Singapore: Springer. 2022. S. 553–563.

Bejlegaards, M., Brunoe, T. D. & Nielsen, K. 2018. A Changeable Jig-Less Welding Cell for Subassembly of Construction Machinery. Advances in Production Management Systems. Production Management for Data-Driven, Intelligent, Collaborative, and Sustainable Manufacturing. Soul, Etelä-Korea. 26-30.8.2018. S. 305-311.

Fronius. 2024. TPS 500i. [Froniuksen [www-sivuilla](http://www.sivuilla)]. [Viitattu 3.9.2024]. Saatavissa <https://www.fronius.com/en/welding-technology/products/manual-welding/mig-mag/tpsi/tpsi/tps-500i>

Hiltunen, E. 2005. Hitsauksen automaatiomahdollisuuksien huomiointi. [Verkkodokumentti]. Kuopio: syyskuu 2005 [Viitattu 6.9.2024]. Opetusmateriaali. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 34 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://webd.savonia.fi/projektit/markkinointi/HIT/users/materials/commonmaterial/seminars/Hitsaustekniikkaa_suunnitteli-joille/2005-09-27_Hitsauksen_automatisointi_Esa_Hiltunen.pdf

Ionix. 2024a. MIG/MAG-hitsaus. 2024a. [Ionixin [www-sivuilla](http://www.sivuilla)]. [Viitattu 5.9.2024]. Saatavissa <https://www.ionix.fi/teknologiat/kaarihitsaus/migmag-hitsaus/>

Ionix. 2024b. TIG-hitsaus. [Ionixin [www-sivuilla](http://www.sivuilla)]. [Viitattu 5.9.2024]. Saatavissa <https://www.ionix.fi/teknologiat/kaarihitsaus/tig-hitsaus/>

IPG Genesis systems. 2024. Robotic MIG vs TIG Welding: Choosing the Right Robotic Welding for Your Application. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 5.9.2024]. Saatavissa <https://www.genesis-systems.com/blog/robotic-mig-vs-tig-welding-choosing-right-robotic-welding-application>

Kemppi. 2024a. MIG/MAG-hitsaus. [Kempin [www-sivuilla](http://www.sivuilla)]. [Viitattu 5.9.2024]. Saatavissa <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/mig-maghitsaus/>


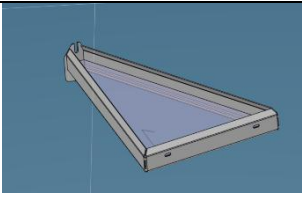
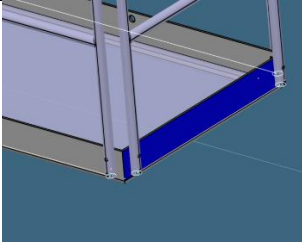
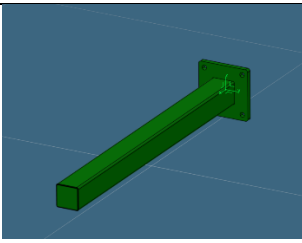
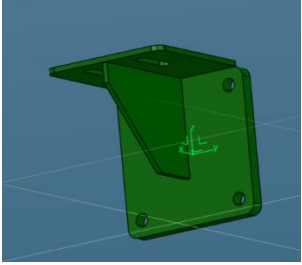
- Kemppi. 2024b. TIG-hitsaus. [Kempin www-sivuilla]. [Viitattu 5.9.2024]. Saatavissa <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/tighitsaus/>
- Kuitunen, J. 2021. Hitsaavan ja plasmaleikkaavan robottityöaseman hankinta konepajatuotantoon. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 16.9.2024]. Diplomityö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. 60 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021120759348>
- Kuka. 2024. KP2-HV two-axis positioner. [Kukan www-sivuilla]. [Viitattu 13.9.2024]. Saatavissa <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/robot-periphery/positioners/kp2-hv500>
- Lund, H. 2019. Development of a multi-robot welding cell for jigless welding. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 16.9.2024] Diplomityö. LUT-yliopisto. 104 s. Saatavissa PDF-tiedostona <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201902155078>
- Onrobot. 2024. VGC10 – kompakti, mukautettavan sähköinen vakuumitarra. [Onrobotin www-sivuilla]. [Viitattu 12.9.2024]. Saatavissa <https://onrobot.com/fi/toutteet/vgc10>
- Opderbecke, T., Guiheux, S. 2009. TOPTIG: robotic TIG welding with integrated wire feeder. *Welding international*. 23: 7. S. 523–529.
- Owen-Hill, A. 2020. The Ultimate Guide to Positioners for Robotic Applications. [Verkkosivusto]. [Viitattu 13.9.2024]. Saatavissa <https://robodk.com/blog/positioners-for-robotic-applications/>
- Philips, D. H. 2023. *Welding Engineering - An Introduction*. 2. painos. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. 283 s.
- Pemamek. 2024. PEMA HPS 3500 & TPS 3500. [Pemamekin www-sivuilla]. [Viitattu 13.9.2024]. Saatavissa <https://pemamek.com/fi/tuote/pema-hps-3500-tps-3500/>
- Schunk. 2024a. PHL - Long stroke gripper. [Schunkin www-sivuilla]. [Viitattu 12.9.2024]. Saatavissa https://schunk.com/bg/en/gripping-systems/parallel-gripper/phl/c/PGR_6331
- Schunk. 2024b. EGM – Magnetic Gripper. [Schunkin www-sivuilla]. [Viitattu 12.9.2024]. Saatavissa https://schunk.com/ca/en/gripping-systems/magnetic-gripper/egm/c/PGR_3014
- Solehmainen, K., Tuunainen, A., Räsänen, M. & Jääskeläinen, E. 2016. Hitsauskiinnitin vaijoustava hitsauskiinnitin. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 16.9.2024] Hitsauksen

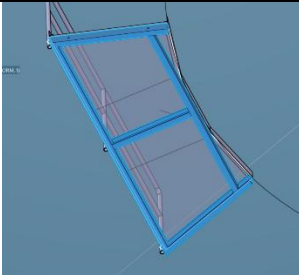
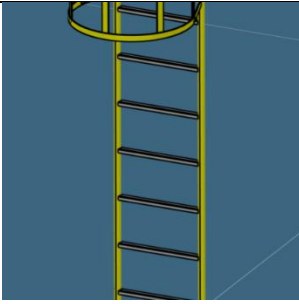
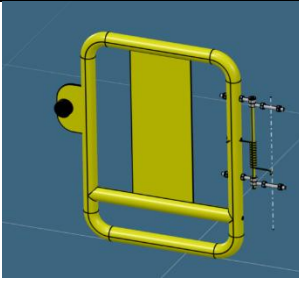
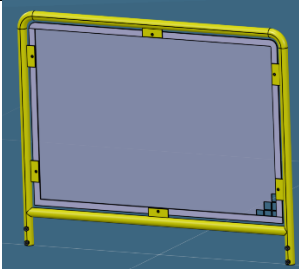
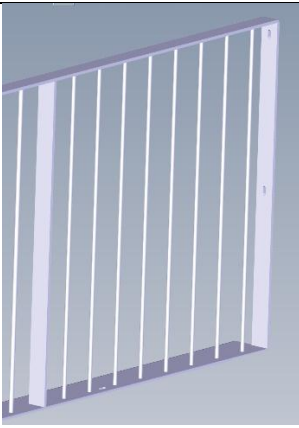
- laadunhallinta ja kiinnitintekniikka (HiKi) projektin loppuraportti. Savonia-ammattikorkeakoulu. 57 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <https://www.theseus.fi/handle/10024/338460>
- Tevä-Helminen, V. 2013. Investointilaskenta ja päätöksenteko. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 20.9.2024]. Opetusmateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Saatavissa PDF-tiedostona <https://docplayer.fi/495691-Metropolia-ammattikorkeakoulu-investoin-tilaskenta-ja-paatoksenteko-opetusmoniste.html>
- Tietäväinen, J. 2015. Robottihitsauksen toimintojen kehittäminen hitsaustuotannossa. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 13.9.2024]. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 112 s. Saatavissa PDF-tiedostona <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2015102014967>
- Valtanen, E. 2019. Tekniikan taulukkokirja. 22. painos. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy. 1324 s.
- Visual Components. 2024. [Visual Componentsin kotisivu]. [Viitattu 30.10.2024]. Saatavissa <https://www.visualcomponents.com/>
- Välimäki, K. 2024. Teollisuuden robotiikka. Toinen, uudistettu painos. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry. 303 s.
- Weman, K. 2012. Welding processes handbook. 2. painos. Oxford: Woodhead Pub. 281 s.
- Yaskawa. 2020. Motoman 2010. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.9.2024]. Saatavissa pdf-tiedostona: https://www.yaskawa.eu.com/Global%20Assets/Downloads/Brochures_Catalogues/Robotics/MOTOMAN_Robots/AR-Series/Flyer_Robot_AR2010_E_09.2020.pdf
- Yaskawa. 2022. H-2000, T-2000. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.9.2024]. Saatavissa pdf-tiedostona: https://www.yaskawa.eu.com/Global%20Assets/Downloads/Brochures_Catalogues/Robotics/Peripherals/H/H-2000_1075EN-03.pdf
- Yaskawa. 2024a. "High Access" Special. [Yaskawan www-sivuilla]. [Viitattu 11.9.2024]. Saatavissa https://www.yaskawa.co.uk/products/robots/accessories/productdetail/product/-high-access-special_11221

Yaskawa. 2024b. AR-Series. [Yaskawan www-sivuilla]. [Viitattu 3.9.2024]. Saatavissa https://www.yaskawa.eu.com/products/robots/welding-cutting/seriesdetail/serie/ar-series_500

Yaskawa. 2024c. GP-sarja. [Yaskawan www-sivuilla]. [Viitattu 3.9.2024]. Saatavissa https://www.yaskawa.fi/tuotteet/robotit/k%25C3%25A4sittely-asennus/seriesdetail/serie/gp-sarja_494

Liite 1. Potentiaaliset tuotteet siirrettäväksi hitsausrobotin tuotantoon

Tuote	Havainnekuva	+	-
Kulmarautaporras		-Kohtuullisen suuri tuotantomäärä -Vähän muuttujia - > ”Helppo” parametrisoida	-Vähän hitsattavaa
Kierreportaan askelma		-Suuri sarjatuotantomäärä kerralla -Vähän muuttujia - > ”Helppo” parametrisoida	-Luoksepäästävyys -Toleranssi ritilän paikoituksissa -Syklinen tuotanto
Kulmarautataso		-Hitsausliitos vakio	-Suuri varianssi tasojen muodoissa ja koossa -Suuri geometria
RHS-putkikannake		-Suorat kannakkeet helppo hitsata ja ohjelmoida	-Varianssia kannakkeiden muodoissa
UPE kannake diagonaalilla		-Vähän muuttujia - > ”helppo” parametrisoida	-Tuotantomäärä vaihteleva -Päittäisliitos vaatii V-railon
Hyllykannake		-Optimaalinen robotin hitsattavuudessa	-Kohtuu vähäinen tuotanto

<p>Sektorimallinen UPE-taso</p>		<p>-Paljon hitsattavaa</p>	<p>-Suuri varianssi tasojen mitoissa -Suuri geometria ja massa</p>
<p>Tikasaskelmat</p>		<p>-Kohtuu suuri tuotantomäärä -Vakioitavuus-> Sarjatuotanto</p>	<p>-Jigitön hitsaus ja paikoitus haastavaa</p>
<p>Jousiportti</p>		<p>-Kohtuu suuri tuotantomäärä</p>	<p>-Päittäisliitos putkien liitoksessa</p>
<p>Verkkokaide</p>		<p>-Mahdollisuus hyödyntää kaidejigiä -Suuri yksittäisten hitsien määrä verkossa.</p>	<p>-Verkon valmistoleranssit</p>
<p>Pinnakaide lattaa</p>		<p>-Vakioitavissa</p>	<p>-Tuotantomääristä ei tietoa -Pintojen suoruus hitsauksessa</p>

Pinnakaide kaideputkeen		-Mahdollisuus hyödyntää kaidejigiä.	-Pintojen suoruus hitsauksessa
Vakio-osat "Tappi+lappu"		-Sarjatuotanto->Yksi ohjelma	-Vähäinen hitsausaumojen määrä