

Opinnäytetyö (AMK)

Tuotantotalouden koulutusohjelma

2016

Niko Virtanen

**ROBOTISOIDUN HITSUKSEN
KANNATTAVUUS
MV-TUOTTEET OY:N
RUNKOTUOTANNOSSA**

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tuotantotalouden koulutusohjelma

2016 | 98

Sakari Koivunen (Turun Ammattikorkeakoulu), Keijo Virtanen (MV-Tuotteet Oy)

Niko Virtanen

ROBOTISOIDUN HITSUKSEN KANNATTAVUUS MV-TUOTTEET OY:N RUNKOTUOTANNOSSA

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi kyröläinen alihankintakonepaja MV-Tuotteet Oy. Tehtävänantona oli selvittää robotisoidun hitsauksen kannattavuutta toimeksiantajayrityksen koneikkojen runkotuotannossa. Koneikkojen rungot koostuvat leikatuista ja särmätyistä teräslevyistä, sekä erilaisista muototeräksistä. Kannattavuuden selvitys vaati tietoa runkojen kooista, sekä vuosittaisista menekeistä, joiden pohjalta robottisolun layout-suunnittelu oli mahdollista toteuttaa.

Opinnäytetyön alussa käydään läpi robotiikkaa ja hitsausta, sekä yhdistetään kyseiset alat robotisoidun hitsauksen alle. Seuraavana perehdytään investointilaskennan teoriaan, sekä selvitetään lyhykäisesti työntutkimuksen periaatteet. Opinnäytetyön melko kattava teoriaosuus roboteista ja hitsausrobotiikasta toimii hyvänä tukena yrityksen johdolle tehtäessä päätöstä hitsausrobottisolun hankinnasta.

Opinnäytetyön toteutus aloitettiin selvittämällä runkojen koot, sekä vuosittaiset menekit. Tämän jälkeen luotiin alustavat layout-ratkaisut solulle, joiden pohjalta pyydettiin tarjousta usealta robottisovelluksia tarjoavalta yritykseltä. Saatujen tarjouksien pohjalta toteutettiin investointilaskenta robottisolulle. Suoritetun investointilaskennan perusteella robotti-investoinnilla saavutettaisiin vuosittain merkittäviäkin säästöjä hitsauskustannuksissa. Lopullisen investointipäätöksen tekeminen jää kuitenkin yrityksen toimivan johdon harkinnan alle.

ASIASANAT:

hitsausrobotti, investointilaskenta, tuotannon kehittäminen, teollisuusautomaatio

BACHELOR`S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Industrial Engineering and Management

2016 | 98

Sakari Koivunen (Turku University of Applied Sciences), Keijo Virtanen (MV-Tuotteet Oy)

Niko Virtanen

THE PROFITABILITY OF ROBOTIC WELDING IN MV-TUOTTEET OY`S FRAME PRODUCTION

This Bachelor`s thesis was made to the subcontracting work shop MV-Tuotteet Oy, located in Kyrö. The assignment was to investigate the possibility and profitability of welding robot investment to the MV-Tuotteet`s module frame manufacturing process. These frames consists of cut and bended steel plates and sectional steels. To determine the profitability of the investment it was necessary to determine some source data such as the size of manufactured frames and year by year demands. Based on these it was possible to determine the layout for the welding robot cell.

In the beginning of this thesis some robot and welding theory is covered. After that these two topics are melted together under the robotic welding topic. After that investment theory and work analysis is covered. Quite large theory proportion will be a good source of information to the company`s management when making decisions either to invest to the robot or not.

The preparation of the thesis started with source data analyses, such as the size of manufactured frames and year by year demands. After that preliminary layouts were created and inquiries were sent to the several robot vendors. Investment calculations were done with help of these offers from the robot vendors. According to the investment calculations major saving would be achieved by the robot investment. The investment decision is under consideration of the company`s management.

KEYWORDS:

Welding robot, investment calculation, production development, industrial automation.

SISÄLTÖ

LYHENTEET JA SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
2 ROBOTIIKKA	10
2.1 Robotin määritelmä	10
2.2 Robottityypit	10
2.3 Robotiikan historia	11
2.4 Robotiikka Suomessa ja maailmalla	12
2.5 Robottien ohjelmointi	14
2.5.1 Offline-ohjelmointi	14
2.5.2 Opettamalla ohjelmointi	16
2.5.3 Johdattamalla ohjelmointi	17
2.5.4 Taluttamalla ohjelmointi	17
2.6 Hitsausrobottisolun suunnittelu	18
3 HITSAUS	20
3.1 MIG/MAG hitsaus	20
3.2 Hitsauksen avainlukuja	22
3.2.1 Sulatusnopeus ja hitsiaineentuotto	22
3.2.2 Paloaikasuhte	22
3.2.3 Hitsiaineenmäärä	23
3.3 Hitsauskustannukset	23
3.4 Hitsauksen tuotantoaika	24
4 ROBOTISOITU HITSAUS	27
4.1 Hitsauslaitteisto robotisoidussa MIG/MAG hitsauksessa	27
4.2 Hitsauksen mekanisoinnin tasot	30
4.3 Miksi robotisoida hitsaus	30
4.4 Hitsaussolun laitteisto	32
4.5 Robottihitsauksen laadun varmistus	33
4.5.1 Railon seuranta ja -haku robottihitsauksessa	34
4.5.2 Laserseuranta ja -haku	34
4.5.3 Valokaaren läpi tapahtuva seuranta	36

4.5.4 Railonhaku kosketuksella	36
5 INVESTOINNIT	39
5.1 Investointilaskennat	39
5.1.1 Investointitarve ja -vaihtoehtojen kartoitus	41
5.1.2 Investoinnin hankintakustannus	41
5.1.3 Käyttöpääoman muutos	41
5.1.4 Tuleva -ja lähtevä kassavirta	42
5.1.5 Investoinnin pitoaika	42
5.1.6 Jäännösarvo	43
5.1.7 Laskentakorkokanta	43
5.1.8 Investointilaskelmien tekeminen	46
5.1.9 Vaihtoehtolaskelmien tekeminen	46
5.1.10 Harkinnanvaraisten tekijöiden huomiointi	46
5.1.11 Rahoituskuvioiden suunnittelu	47
5.2 Nykyarvomenetelmä (NPV)	47
5.3 Herkkyysanalyysi	49
6 TYÖNTUTKIMUS	52
6.1 Työnmittaus	53
6.2 Menetelmä- ja ajankäyttötutkimus	55
7 CASE – HITSAUSROBOTTISOLUN KANNATTAVUUS	56
7.1 Alkuseelvitys	56
7.1.1 Hitsattavien tuotteiden määrä	56
7.1.2 Tuotteiden nykyinen käsinhitsaus	57
7.1.3 Robotisoinnin vaikutus esivalmisteisiin	59
7.1.4 Työnmittaus	59
7.1.5 Hitsausajan määrittäminen nykyisessä käsinhitsauksessa	61
7.1.6 Toteutuneet a-mitat	62
7.1.7 Robotin hitsausajat	63
7.1.8 Robottihitsaus- ja käsinhitsausaikojen vertailu	65
7.2 Robottisolun suunnittelu	66
7.2.1 Tuotteiden 3D mallinnus	66
7.2.2 Robottisolun alkusuunnittelu	67
7.2.3 ABB RobotStudio robotit	68
7.2.4 Soluvaihtoehto 1	71

7.2.5 Soluvaihtoehto 2	73
7.2.6 Soluvaihtoehto 3	74
7.2.7 Tarjouspyynnöt	75
7.3 Investointilaskenta	77
7.3.1 Laskennan alkuarvot	77
7.3.2 Nettonykyarvolaskenta	80
7.3.3 Herkkyysanalyysi	82
8 LOPPUARVIOINTI	84
LÄHTEET	85

LIITTEET

- Liite 1. Hitsauskustannusten laskentakaavoja.
- Liite 2. ABB-robottien ulottuma.
- Liite 3. Diskonttaustekijät ja maksujen nykyarvo.
- Liite 4. Robottisolun tarjouspyyntö.

KAAVAT

Kaava 1. Kaariaika (Stenbacka 2011, 67).	25
Kaava 2. Hitsauksen työkustannukset (Lukkari 1998, 58).	25
Kaava 3. Matemaattinen tuottovaade (Koski 2012, 30).	45
Kaava 4. Diskonttaustekijä (Haverila ym. 2009, 201).	45
Kaava 5. Nettonykyarvo (Koski 2012, 27).	47
Kaava 6. Nettonykyarvo diskonttaustaulukolla (Vilkkumaa 2010, 228).	48
Kaava 7. Nettonykyarvo, kun vuotuinen tuotto vakio.	48
Kaava 8. Osion hitsausaika metriä kohden.	62
Kaava 9. Perushankintakustannus.	78

KUVAT

Kuva 1. ABB IRB 4400- robotin työalue (ABB 2016), ja kuusiakselisen robotin nivelet (AZO Robotics 2016).	11
Kuva 2. Suomen ensimmäinen hitsauksessa käytetty robotti (YLE 2015).	12
Kuva 3. Hitsausrobotin etäohjelmointia Delfoi ARC-sovelluksella (Delfoi 2016).	15
Kuva 4. KUKA-robotin käsiohjain (Robotwelding 2016).	16
Kuva 5. Kinetiq-ohjelmoinnin periaate (Mechatronic 2016).	18

Kuva 6. MIG/MAG-hitsauksen periaate (Pires ym. 2006,5).	21
Kuva 7. Hitsausrobottijärjestelmä (Finnrobotics 2016).	27
Kuva 8. Lineaariradalla ja kahdella grilli-käsittelypöydällä varustettu hitsaussolu (AGT Robotics 2016).	32
Kuva 9. Gantry-järjestelmä varustettuna kahdella L-käsittelypöydällä (Berge 2008).	33
Kuva 10. Ympyrämallinen (Valk Welding 2013) -ja lineaarinen (Direct Industry 2016) laserseuranta.	35
Kuva 11. Railonhaun toteutus ja railon sijainnin muutosten kompensointi (Motoman 2016).	37
Kuva 12. Työjakson aikalajit (Haverila ym. 2009, 491).	52
Kuva 13. Koneikon runko käsinhitsattavana.	58
Kuva 14. Yaskawa MH50-20 II ulottuvuus (Motoman 2016, B).	68
Kuva 15. RobotStudion yli 2,5 metrin ulottumalla olevat robotit (ABB 2016, C).	69
Kuva 16. MH50-20 ja IRB 6650S vertailu.	69
Kuva 17. ABB robottien ulottuvuusvertailu.	70
Kuva 18. Soluvaihtoehto 1, layout ja ulottuvuus.	72
Kuva 19. Soluvaihtoehto 2, layout ja ulottuvuus.	73
Kuva 20. Soluvaihtoehto 3, L-käsittelypöytä.	75

KUVIOT

Kuvio 1. Hitsauksen tuotantoajat (Stenbacka 2011, 66).	24
Kuvio 2. Robottihitsauksen taloudellinen käyttöalue (Pires ym. 2006, 2).	31
Kuvio 3. Herkkyysanalyysi robottihitsauksessa (Stenbacka 2011, 106).	50
Kuvio 4. Runkovalmistuksen työvaiheet ja osioihin jako.	60
Kuvio 5. Herkkyysanalyysi	83

TAULUKOT

Taulukko 1. Robottien myyntimäärät Suomessa 2000-luvulla (Lempiäinen 2013).	13
Taulukko 2. Teoreettiset hitsiainemäärät pienahitseissa (Esab 2003, 290).	23
Taulukko 3. Yhteenveto railonseuranta ja -haku menetelmistä (Scherler 2000, 6).	38
Taulukko 4. Mahdollisia investointien tuottovaateita (Yritystulkki 2016).	44
Taulukko 5. Esimerkki menekkitaulukosta.	57
Taulukko 6. Osion YY työnmittauksella määritetty työajan jakautuminen.	61
Taulukko 7. Hitsiaineentuotto MAG-hitsauksessa (Esab 2003, 292).	64
Taulukko 8. Esimerkki robotilla saatavista säästöistä.	65
Taulukko 9. Robottisolujen tarjouspyynnöt.	76
Taulukko 10. Todelliset soluvaihtoehto 1:llä saatavat vuosittaiset kustannussäästöt keskiarvo-, maksimi -ja minimi menekeillä. Työvoimakustannusten nousu (1%) huomioitu.	80
Taulukko 11. Nettohyötylaskenta robottisolulle.	81

LYHENTEET JA SANASTO

2D CAD	Kaksiulotteinen suunnitteluohjelmisto.
3D CAD	Kolmiulotteinen suunnitteluohjelmisto.
a-mitta	Pienahitsin sisään piirretyn kolmion korkeus.
AVC	Arc Voltage Control, eli jännitteen seurantaan perustuva railonseuranta (Scherler 2000, 2).
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu.
Jigi	Hitsauskiinnitin kappaleiden paikoittamiseen.
RobotStudio	ABB:n robottien etäohjelmointiin suunniteltu ohjelmisto.
SolidWorks	3D suunnitteluohjelmisto.
TAST	Through Arc Seam Tracing, eli valokaaren läpi tapahtuva railonseuranta (Lincoln Electric 2016, B).
Tunkeuma	Hitsauksessa sulaneen alueen paksuus perusaineen pinnalta mitattuna.

1 JOHDANTO

Suomalaiset metalliteollisuuden alihankkijat ovat mukana kansainvälisessä kilpailussa töiden saamisesta. Vastassa on muun muassa Itä-Eurooppalaisia sekä Aasialaisia yrityksiä, joissa teetetyt työtunnin hinta on huomattavasti Suomea halvempaa. Niinpä suomalaisten yritysten onkin investoitava tehokkaiisiin työkoneisiin, joihin muun muassa robotit kuuluvat. Näiden hinta on sama niin Suomessa kuin halpatuotantomaissa, eivätkä näin erot työvoimakustannuksissa pääse siirtämään tuotantoa pois Suomalaisilta alihankkijoilta. (Teknolgiateollisuus 2007, 91, 110.) ”Robotiikka muuttaa valmistuskustannuksia niin merkittävästi, että tehtaiden siirtely halvemman työvoiman perässä on pian historiaa”, Daniel Küpper Boston Consulting Groupilta toteaa (Kauppalehti).

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää robotisoidun hitsauksen kannattavuutta MV-Tuotteet Oy:n koneikkojen runkotuotantoon. Nykyisellään koneikkojen rungot hitsataan käsin MAG-hitsauksella. Kannattavuuden selvittäminen edellytti niin robottisolun layout-suunnittelun, kuin myös itse investointilaskennan suunnittelulle robottisolulle. Opinnäytetyössä käydään aluksi läpi robotiikan historiaa ja teoriaa, tämän jälkeen siirrytään MIG/MAG-hitsaukseen. Seuraavana yhdistetään edellä mainitut robotiikka ja hitsaus otsikon ”Robotisoitu hitsaus” alle. Teoriaosuuden lopussa käydään vielä läpi investointilaskentaa, sekä lyhyesti työntutkimusta. Teoriaosuuden laadintaan on käytetty laajasti niin suomenkielistä kuin englanninkielistä lähdeaineistoa. Teorioiden selventäminen ja havainnollistaminen on toteutettu käyttämällä tarpeellisia kuvia, kuvioita ja taulukoita. Case-osuus etenee loogisesti alkuselvittelystä ja robottihitsauskustannusten ja käsinhitsauskustannusten vertailusta suunniteltuihin layout-ratkaisuihin, sekä itse investointilaskentaan.

MV-Tuotteet Oy on Kyrössä sijaitseva vuonna 1987 perustettu alihankintakonepaja. Yrityksen edeltäjänä toimi Konepaja M. Virtanen Ky vuodesta 1965 vuoteen 1987, joten yrityksellä on melko pitkä historia takanaan Suomalaisessa konepajateollisuudessa. MV-Tuotteet Oy työllistää noin 30 henkilöä, liikevaihdon liikkeessä 3 - 5 miljoonan euron välillä, valmistuen pääasiassa alihankintana tuotteita suurille pörssiyrityksille. Yritys on erikoistunut putkisto-koneikoiden valmistamiseen, joita käytetään nesteiden siirtoon ja käsittelyyn. Näiden lisäksi MV-Tuotteet valmistaa erilaisia hydraulivoimayksiköitä, puristimia, sekä erikoiskoneita asiakkaiden toiveiden mukaan.

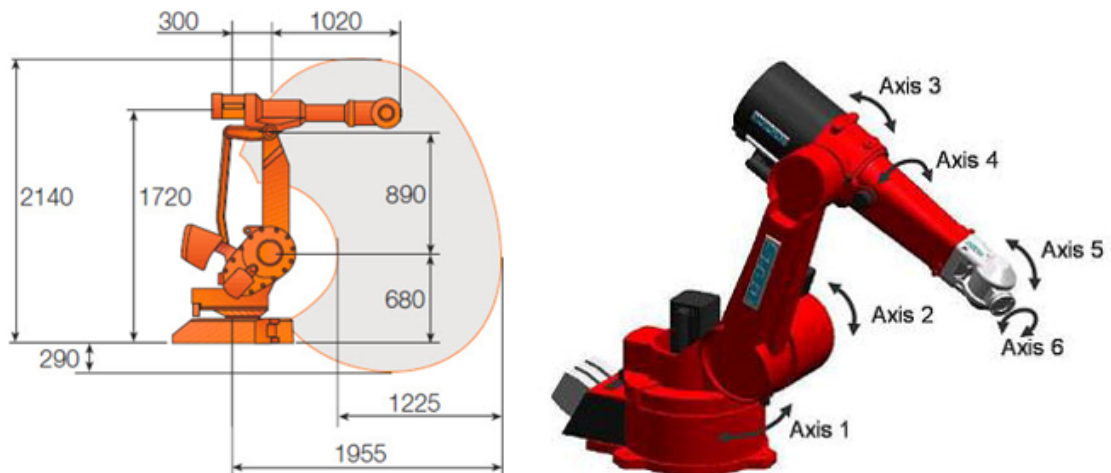
2 ROBOTIIKKA

2.1 Robotin määritelmä

Robotin määrittelemisen ei aina ole yksinkertaista, sillä teollisuusrobotti voidaan määrittellä toimilaitteiden, ohjelmointitavan, nivelrakenteen ja käyttötarkoituksen perusteella usealla tavalla (Aaltonen & Torvinen 1997, 141). Standardi ISO 8373 määrittelee robotin seuraavasti ”automaattisesti ohjattava, uudelleenohjelmoitava, kolmella tai useammalla akselilla varustettu monikäyttöinen manipulaattori” (Lamb 2013, 178). Robottiturvallisuutta käsittelevän SFS EN 10128-1 mukaan teollisuusrobotti on ”teollisuuden automaatio-sovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja joka voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva” (SFS-EN ISO 10218-1 2011,12).

2.2 Robottityypit

Erilaisia robottimalleja ja -tyyppejä on suunniteltu tuhansia kappaleita, satojen valmistajien toimesta. Mekaanisen rakenteen mukaan jaoteltuna yleisimmät robottimallit ovat suorakulmainen-, sylinteri-, napakoordinaatisto-, scara-, kiertyvänivelinen- ja rinnakkaisrakenteinen robotti. (Aalto ym. 1999, 12.) Useimmissa robottityypeissä on pyritty mallintamaan ihmisten nivelliikkeet, niinpä rakenteesta löytyy ihmisen käsivartta, rannetta ja kouraa vastaavat liikkeet. Konepajoissa robotteja käytetään perinteisesti hitsaukseen, kappaleiden siirtoon sekä koneiden panostamiseen. Eri sovelluskohteissa robotilta vaaditaan eri ominaisuuksia, kuten vapausasteita ja jäykkyyttä, tarvittaessa suurimmat robotit pystyvät käsittelemään satojen kiloja taakkoja. (Aaltonen & Torvinen 1997, 145, 154–155.) Käytetyin robottityyppi on kiertyvänivelinen robotti, joka on esitetty kuvassa 1 (Aalto ym. 1999, 16). Hitsaukseen käytetään lähes yksinomaan juuri kiertyvänivelrobotia kuudella vapausasteella varustettuna (Groover 2014, 233).



Kuva 1. ABB IRB 4400- robotin työalue (ABB 2016), ja kuusiakselisen robotin nivelet (AZO Robotics 2016).

2.3 Robottiikan historia

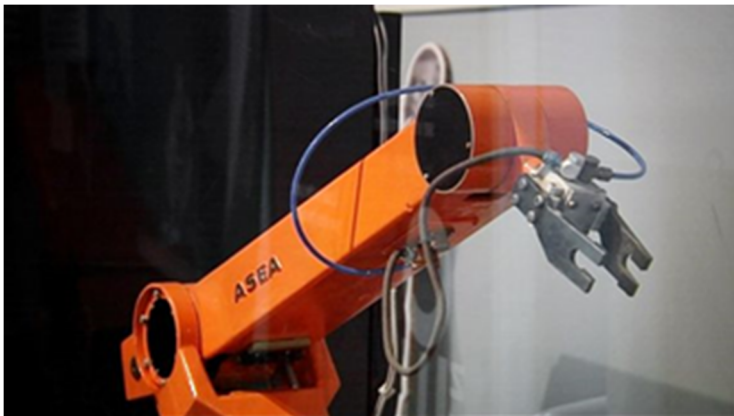
Sana ”teollisuusautomaatio” lanseerattiin Ford Motor Companyn toimesta 1940-luvulla, kun Ford alkoi käyttämään räätälöityjä koneita massatuotantonsa apuna. Nämä koneet olivat hyvin joustamattomia ja nykytermein ne kuuluivat ”jäykkään automaatioon”. Kymmenisen vuotta myöhemmin, 50-luvulla, julkaistiin ensimmäiset numeerisesti ohjatut (NC/CNC) työstökoneet. (Hall & Golnazarian 2000, 500.) Näiden kehitys lähti liikkeelle USA:n ilmavoimien ja MIT:n projektista (1948-1951) kehittää jyrskoneen ohjausta ilmailuteollisuuden tarpeeseen. Numeerisen ohjauksen kehitys oli nopeaa ja jo 1955 USA:n työstökonenäyttelyssä oli esillä neljä NC-työstökoneita, ja 1962 otettiin käyttöön Suomen ensimmäinen NC-laite. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 129.) Näiden uusien työstökoneiden uudelleen ohjelmointi oli helppoa ja ne edustivatkin niin sanottua ”joustavaa automaatiota”, jota nykyään muun muassa robotit edustavat. (Hall & Golnazarian 2000, 500.)

Sana ”robotti” tulee Tšekkiläisestä maaorjaa tarkoittavasta sanasta ”robota”. Sanan keksi 1920-luvulla Karel Capek näytelmäänsä ”Rossums Universal Robots”, joka kertoi koneista jotka palvelivat valmistajiaan. Ensimmäinen teollisuusrobotti tuli markkinoille 1956, ja viisi vuotta myöhemmin Ford Motor Companyn tuotannosta löytyi robotti valujen käsittelyyn. Tämän jälkeen autoteollisuus onkin ollut automaation kehityksen keihäänkärjessä. Alun perin yhdellä robottimallilla pyrittiin suoriutumaan kaikista sovelluksista,

mutta pian robottimallit lähtivät eriytymään tehtäväkohtaisesti, esimerkiksi maalausroboteihin. Vuonna 1974 julkaistiin ASEAN, nykyisen ABB:n, toimesta ensimmäinen robotti, jonka niveliä ohjattiin kokonaan sähköisesti aiemman hydraulisen ohjauksen sijaan. Hitsausrobotit löivät itsensä läpi 1970-luvulla, robottien ominaisuudet olivat kuitenkin vielä 1990-luvun alulle asti melko rajoittuneita muun muassa ohjelmoinnin ja ohjauksen saralla. Robotit olivat usein liian kalliita, eivätkä ne olleet kovin sopivia useimpiin tehtäviin, lisäksi ohjelmointi koettiin hankalaksi. (Hall & Golnazarian 2000, 500; International Federation of Robotics 2012). Robottien hinnat ovat kuitenkin laskeneet 1990-luvun alusta yli 45 %, ja mikäli huomioidaan vielä robottien kasvanut kapasiteetti mukaan laskelmiin, niin ovat hinnat laskeneet yli 75 % (Stenbacka 2011, 31, 33). Lincoln Electricin mukaan edullisimmillaan hitsausrobottisolun voi saada jopa vain 50 000 \$ sijoituksella (Lincoln Electric 2005, 1). Tällä hetkellä robottien hinnat ovat kuitenkin vakioituneet nykytasolle, teknisen kehityksen ansiosta ennustetaan joka tapauksessa saatavan vuositasolla 8 % lisää tuotantotehoa (Ventä ym. 2016, 10).

2.4 Robottiikka Suomessa ja maailmalla

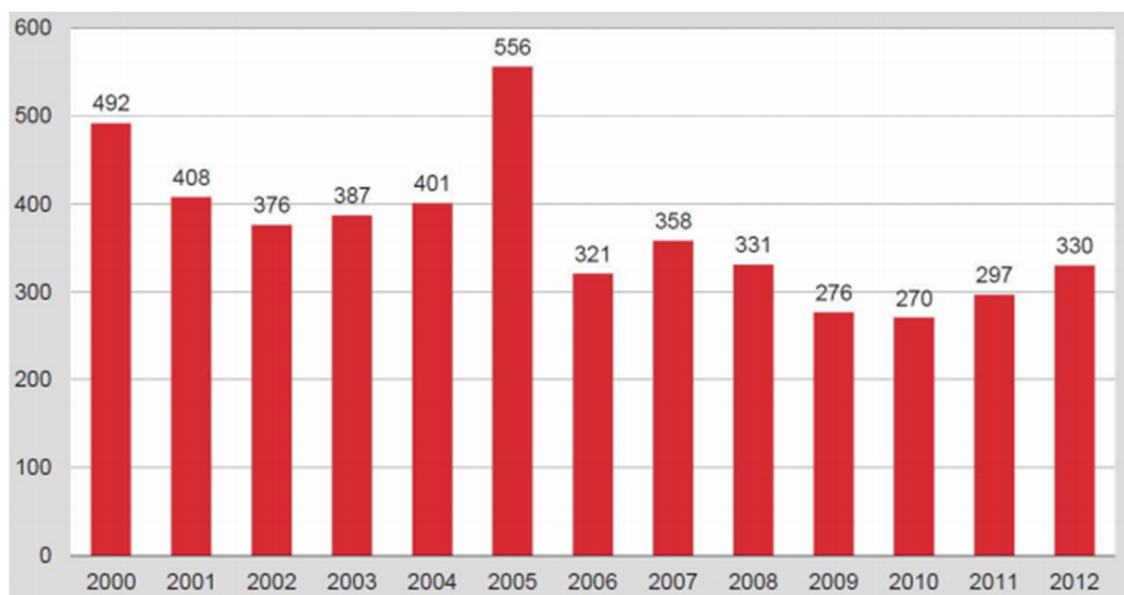
Suomessa on käytetty teollisuusrobotteja noin neljän vuosikymmenen ajan (Kihl & Mononen 2015, 30). Esimerkiksi Suomen ensimmäinen hitsaussovelluksissa käytetty robotti vuodelta 1979 on esitetty kuvassa 2 (Mattila 2015). Tyypillinen robottien käyttöikä on Suomessa 15–20 vuoden välillä (Ventä ym. 2016, 12).



Kuva 2. Suomen ensimmäinen hitsauksessa käytetty robotti (YLE 2015).

Viime vuosikymmenellä, vuosien 1972 ja 1998 välillä Suomessa investoitiin yhteensä vajaa 2300 robottiin (Aalto ym. 1999, 5). Tällä hetkellä vuotuinen investointimäärä on reilut 300 robottia vuodessa. Kuten taulukosta 1 näkee, niin investointien määrä on kuitenkin ollut laskevassa trendissä lähes koko 2000-luvun. Samaan aikaan maailman robottimarkkinat kasvavat kovaa vuosivauhtia. Esimerkiksi vuosien 2010 ja -14 välillä markkinat kasvoivat keskimäärin 17 % vuosivauhtia ja viimeksi 2014 29 %, saavuttaen ennätysellisen 229 000 robotin vuotuisen myynnin. (International Federation of Robotics, 2016.)

Taulukko 1. Robottien myyntimäärät Suomessa 2000-luvulla (Lempiäinen 2013).



Kokonaisuudessaan 2000-luvulla robottien vuotuinen myynti on ollut noin 6 prosentin nosteessa vuosittain, josta suurin osa suuntautuu Aasiaan (Ventä ym. 2016, 9). Vuonna 2013 Suomessa investoitiin kiitettävästi 365 robottiin, Lempiäinen Suomen robotiikka yhdistyksestä huomauttaa kuitenkin, että vuoden 2012 ja -13 luvut sisältävät Uudenkaupungin autotehtaalle tehdyt mittavat reilun 200 robotin investoinnit. Eli muuhun teollisuuden investoitiin ainoastaan noin 250 robottia 2012 sekä 2013, mikä on huomattava pudotus 2000-luvun alkupuoleen. (Lempiäinen 2015; Lempiäinen 2013.) Tämä on johtanut tilanteeseen, jossa Suomen kokonaisrobottikanta on laskenut jo vuodesta 2009 1-4 % vuosivauhtia, eli uudet investoinnit eivät riitä kattamaan tuotannosta poistuvaa robottikantaa. Samalla Suomen sijoitus kansainvälisessä robottitiehdyssä 10 000 työntekijää kohden mittaavassa tilastossa on laskusuunnassa, sijoitus on tippunut vuoden 2010 sijasta

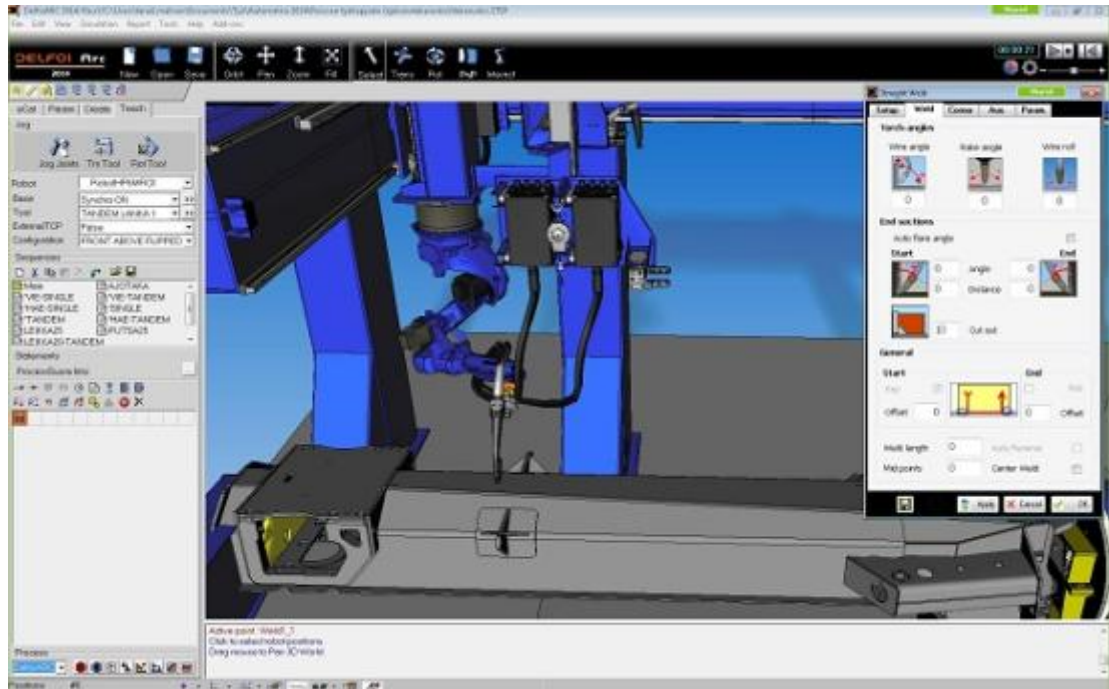
7, vuoden 2014 sijaan 12. (Ventä ym. 2016, 11; Lempiäinen 2012.) Suomalaisten konepajojen vuosi-investoinneista neljä prosenttia suuntautuu robotteihin, muilla aloilla vielä huomattavasti vähemmän. Liikenne- ja viestintäministeriön vuonna 2016 julkaisemassa ”Robotiikan taustaselvityksiä” tutkimuksessa todetaan: *”Robotiikan ekosysteemi ei Suomessa toimi optimaalisesti. Potentiaalisimmat robotiikan käyttäjät saavat tilauksia erittäin pienissä paloissa kilpailuilla markkinoilla. Niinpä tuotantoinvestoinnit tulevaisuuteen jäävät usein tekemättä kaupallisen epävarmuuden vallitessa.”* Kokonaisuudessaan suomalaisessa teollisuudessa on käytössä vajaat 5000 robottia, joista hitsaussovelluksissa noin neljännes. (Ventä ym. 2016, 12.)

2.5 Robottien ohjelmointi

Jotta roboteilla voidaan toteuttaa töitä, niin tulee ne ohjelmoida kyseiseen tehtävään. Robotit vaativat ohjeita, niin sijaintiin - kuin myös toimintoihin liittyen. Niinpä robottiohjelma voidaankin Grooverin mukaan määritellä avaruuteen ohjelmoituna ratana, jota robotti seuraa ja johon on lisätty oheistoimintoja, jotka tukevat työkiertoa. (Groover 2014, 237; Lamb 2013, 237.) Nämä tarvittavat ohjeet voidaan ohjelmoida robotille seuraavana esiteltyjen menetelmien avulla.

2.5.1 Offline-ohjelmointi

Offline-ohjelmoinnilla, mikä myös tunnetaan etäohjelmointina, tarkoitetaan robotin ohjelmointia robotin ja tuotannon ulkopuolisella tietokoneella. Ohjelmointi suoritetaan 3D-graafisessa käyttöliittymässä, joka sisältää simulointimallin robotista ja sen oheislaitteista, sekä valmistettavan tuotteen 3D CAD mallin, kuva 3. (Aalto ym. 1999, 81). Nykyään käytännössä jokaiselta robottitoimittajalta löytyy offline-ohjelmisto, mutta markkinoilla on tarjolla myös ulkopuolisia palveluntarjoajia. (Fassi, Tirloni & Legnani 2012, 22) Etäohjelmoinnilla saavutetaan muun muassa robotin korkeampi käytösuhde, kun robotia ei tarvitse pysäyttää ohjelmointiprosessin ajaksi, kuten esimerkiksi tapahtuu opettamalla ohjelmoinnissa. Esimerkiksi suomalainen offline-ohjelmistoja tarjoava Delfoi Oy toteaa hitsaussovelluksissa ohjelmointiajan putoavan tyypillisesti kymmenesosaan, verrattuna opettamalla ohjelmointiin (Delfoi 2016). Lisäksi uuden robottisolun käyttöönotto nopeutuu, koska tuotteiden ohjelmointi saadaan suoritettua jo ennen solun käyttöönottoa. Tällä voidaan saavuttaa suuriakin säästöjä. (Aalto ym. 1999, 84,98.)



Kuva 3. Hitsausrobotin etäohjelmointia Delfoi ARC-sovelluksella (Delfoi 2016).

Offline-ohjelmointi soveltuu käyttöön hyvin kun ohjelma vaatii paljon paikoituspisteitä, lisäksi suunnittelussa on oltava käytössä 3D CAD-ohjelmisto. Offline-ohjelmoinnin käyttö edellyttää, että kaikki tuotteeseen tehtävät muutokset päivitetään myös 3D-malliin, jota käytetään ohjelman luomisessa. Offline-ohjelmointi soveltuu edellisen lisäksi hyvin, kun tuotanto on asiakasohjautuvaa pienillä sarjakoilla tai ohjelmoinnin suorittaminen tuotannossa sisältää turvallisuusriskin. (Aalto ym. 1999, 82, 97.) Esimerkiksi ohjelmoitaessa suurten kappaleiden hitsausratoja, edellyttää opettamalla ohjelmointi kiipeilyä tikapuilla tai henkilönostimessa, jotta ohjelmoija pääsee käsiksi hitsattaviin saumoihin. Tämä sisältää turvallisuusriskin, joka saadaan poistettua käyttämällä offline-ohjelmointia. (Midwest Engineered Systems Inc. 2016.)

Ohjelmoija aloittaa etäohjelmoinnin tuomalla valmistettavan tuotteen tuotemallin, CAD-tiedoston, robottisolun simulointimalliin. Tuotemalli paikoitetaan simulointimalliin siten, että kiinnittimen ja tuotemallin koordinaatit yhtyvät. Tämän jälkeen ohjelmoija luo tarvittavat paikoituspisteet käyttäen hyväkseen tuotteen muototietoja. Näin ohjelmassa tarvittavat pisteet saadaan luotua nopeasti, sekä työkalun asento saadaan tarvittaessa pidettyä vakiona esimerkiksi tason ja käyrän suhteen. Seuraavaksi ohjelmoija luo muut tarvittavat käskyt, käyttäen hyväkseen mahdollista piirrepohjaista ohjelmointia. Piirrepohjainen ohjelmointi sisältää esimerkiksi automaattisen railonhakupisteiden luomisen. Ennen

ohjelman kääntöä robottikielelle, sekä siirtoa tuotannon robottisoluun, tulee varmistaa ohjelman toimivuus. Tämä toteutetaan simuloimalla luotu ohjelma kokonaisuudessaan sekä korjaamalla simuloinnissa ilmenneet vikatilanteet. (Aalto ym. 1999, 84–86.)

2.5.2 Opettamalla ohjelmointi

Opettamalla ohjelmoinnissa operaattori osoittaa robotin paikoituspisteet ohjaamalla silmä määrällisesti työkalun haluttuun pisteeseen käsiohjaimen avulla, käsiohjain esitetty kuvassa 4. Kun operaattori on tyytyväinen robotin ja työkalun asemaan tallentaa hän pisteen ohjelman muistiin. Näitä pisteitä tulee tallentaa niin monta, kuin halutun liikeradan suorittamiseen tarvitaan. Operaattori määrittää myös muun muassa miten kahden pisteen välillä tulee liikkua, sekä halutun liikenopeuden. Mahdollisia liiketapoja ovat lineaarinen siirtymä, nivelliike sekä ympyränkaariliike. (Fassi ym. 2012, 21–22.) Kokonaisuudessaan robottien peruskäskykannasta voi olla satoja erityyppisiä käskyjä, kuten ehto-, I/O-, liikkeiden koordinointi –tai prosessi kohtaisia käskyjä, joista ohjelmoija valitsee kulloiseenkin käyttöön sopivimman (Aalto ym. 1999, 80, 85).



Kuva 4. KUKA-robotin käsiohjain (Robotwelding 2016).

Opettamalla ohjelmointi on melko työläs ja aikaa vievä ohjelmointimenetelmä (Hiltunen 2006, 26). Kuitenkin robotin tulisi tehdä mahdollisimman paljon tuottavaa työtä, niin ei ohjelmointi prosessi saisi viedä liiaksi aikaa. Siksi erityisesti opettamalla ohjelmoinnissa on erityisen tärkeää, että käsiohjaimen käyttö on helppoa. Esimerkiksi käskykannan selauksen tulee olla sujuvaa, sekä luonnistua ilman erillisen ohjekirjan selausta. (Aalto ym. 1999, 79.)

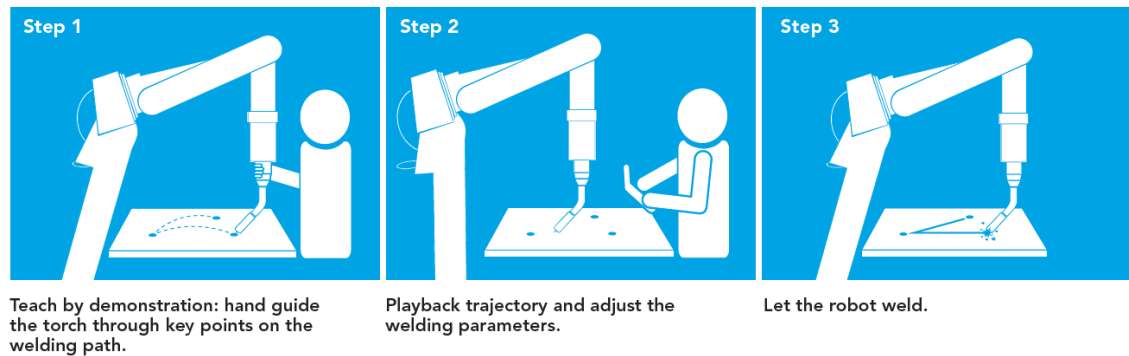
2.5.3 Johdattamalla ohjelmointi

Johdattamalla ohjelmointi on tässä esiteltävistä menetelmistä vanhin, ja oli alkujaan hyvin suosittu menetelmä. Nykyään muut menetelmät ovat kuitenkin syrjäyttäneet johdattamalla ohjelmoinnin lähes kokonaan. Kuitenkin maalausrobotiikassa tätä ohjelmointimenetelmää käytetään edelleen. (British Automation & Robot Association 2016.) Tässä ohjelmoinnissa robotin toimilaitteet vapautetaan. Robotin käsivarsi liikutetaan lihasvoimin haluttua rataa pitkin ja tallennetaan näin syntynyt rata nivelten paikka-antureiden perusteella ohjelmiston muistiin. (Aalto ym. 1999, 78.) Robotit voidaan johdattaa käyttäen robotin omaa käsivartta, mutta koska robotin käsivarsi voi olla hyvinkin raskas, niin myös erillisiä keveitä ohjelmointikäsivarsia on ollut saatavilla (Groover 2014, 237). Johdattamalla ohjelmoinnin ongelmiin kuuluu muun muassa se, ettei ohjelmiston muuttaminen ole helppoa. Mikäli ohjelmaan halutaan muutos, niin koko ohjelma tulee ohjelmoida alusta asti. Lisäksi luodut liikeradat eivät toistu kovinkaan tarkasti. Toisaalta juuri maalaussovelluksissa robotilta ei vaadita yhtä suurta tarkkuutta kuin perinteisesti muilta menetelmiltä. (Aalto ym. 1999, 78.)

2.5.4 Taluttamalla ohjelmointi

Koska taluttamalla ohjelmoinnista löytyi huonosti tietoa, niin käytetään sen esittelyssä Robotiq ja Yaskawan yhteistyössä hitsaukseen suunniteltua Kinetiq Teaching-menetelmää. Kyseinen menetelmä julkaistiin 2013 FABTECH-messuilla. (Robert 2013).

Kinetiqin taluttamalla ohjelmoinnissa robotin käsivarsi liikutetaan käsin haluttuihin pisteisiin käsiohjaimella ohjaamisen sijaan. Robotin käsivarren ja hitsauspolttimen väliin on sijoitettu voima-anturi, joka tunnistaa mihin suuntaan robotin käsivartta ollaan liikuttamassa ja välittää tämän tiedon robotin ohjaukselle. (Anandan 2014.) Niinpä robotin käsivarren liikuttaminen ei vaadi suurta voimaa. Operaattori liikuttaa siis käsin robotin haluttuihin pisteisiin, ja luo näin esimerkiksi kotiasemat ja hitsausratojen sijainnit. Tallennettaessa pisteitä muistiin, operaattori yksinkertaisesti valitsee kosketusnäytöllä varustetusta ohjaimesta tarvittavat komennot kyseisiin pisteisiin. Kun ohjelma on saatu valmiiksi, voi operaattori koeajaa luodun ohjelman ja tehdä siihen vielä tarvittavia muutoksia ennen hitsauksen aloittamista. (Vandeloo 2015.) Kuva 5 havainnollistaa taluttamalla ohjelmoinnin vaiheet.



Kuva 5. Kinetiq-ohjelmoinnin periaate (Mechatronic 2016).

Myös Suomessa Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, (VTT) on kehittänyt taluttamalla ohjelmointia. VTT:n kehittämä menetelmä on suunniteltu eritoten lyhyisiin kappaletavara- tuotannon sarjoihin. Kyseisessä menetelmässä robottia ohjataan joko robottiin tai taak- kaan kiinnitetyllä langattomalla ohjaussauvalla, joka on varustettu voima-anturilla. Me- netelmä mahdollistaa robotin ja ihmisen lähekkäisen työskentelyn yhdessä. Operaattori voi siis ohjata robottia suoraan kappaleiden siirrossa, jolloin robotti tekee vain raskaan työn siirtäessä kappaleita. Kyseisellä menetelmällä voidaan myös opettaa aiempaa no- peammin uudet tehtävät ja jatkuvat radat. Uusi ohjelmointimenetelmä soveltuu lähes jo- kaisen suuren robottivalmistajan robotteihin. (Eurometalli 1-2 2016, 49.)

2.6 Hitsausrobottisolun suunnittelu

Hitsausrobottisolujen kustannukset uppoavat suurelta osin hankinnan alkuun laitteisto-, testaus- ja koulutuskustannuksiin. Niinpä hitsauksen robotisointi edellyttää tarkkaa suunnittelu. (Kempfi 2016, B.) Aaltonen & Torvinen (1997, 164) jakavat robottisolun suunnittelun kolmeen päävaiheeseen, jotka ovat lähtötilanteen analysointi, alkusuunnittelu ja käytön suunnittelu.

Robotisoinnin tulee aina liittyä todelliseen tarpeeseen, siksi lähtötilanteen analysointi tu- lee suorittaa huolella. Lähtötilanteen analysoinnissa kiinnitetään huomiota kyseisen tuo- tantovaiheen kappaleiden tilaan ja -siirtoihin. Lisäksi kiinnitetään huomiota oheislaittei- den sijoitteluun, työvaiheen loogiseen etenemiseen, muuhun tuotantoympäristöön liitty- miseen, miehitykseen sekä ympäristöolosuhteisiin. (Aalto ym. 1999, 92.) Nykyisen hit- saustuotannon kustannukset ja työvaiheet on siis analysoitava ja eriteltävä tarkasti. Myös tuotteiden soveltuvuutta ylipäättään robotisoitavaksi on varmistettava. (Kempfi

2016, B.) Alkusuunnittelussa luodaan toiminnallinen layout, määritellään syöttö- ja käsittelylaitteiden vaatimukset, sekä tuotannon ja tuotteiden asettamat rajoitukset (Aaltonen & Torvinen 1997, 164). Robotisointi esimerkiksi nostaa tuotteen esivalmistettujen osien laatuvaatimuksia. Lisäksi on selvitettävä vaihtoehtoisten automaattisten toimilaitteiden käytön mahdollisuus. Käytön suunnittelussa tarkennetaan alkusuunnittelun tuloksia. Eli määritellään sopivat käsittely- ja syöttölaitteet, suunnitellaan kiinnittimet sekä oheislaitteet ja tarkennetaan layoutia. Soluun sijoitettavien oheislaitteiden sijoituksella on suuri merkitys. Tärkeintä niiden sijoittelussa on robotin ulottuvuuden huomioiminen, sekä toisaalta robotin liikematkojen- sekä aikojen minimointi. Lisäksi käytön suunnittelussa kiinnitetään huomiota turvajärjestelmiin, huoltoon, laitteiden yhteensopivuuteen sekä huomioidaan mahdolliset paikoitusvirheet ja niiden aiheuttajat. (Aalto ym. 1999, 92,94.)

Simulointimalli

Robottisolun suunnittelua helpottaa ja nopeuttaa graafisen simulointimallin luominen. Mallin luomiseen käytetään samaa ohjelmistoa kuin etäohjelmoinnissakin. Niinpä kyseiset ohjelmistot ovatkin tehokkaita työkaluja niin robottisolun suunnitteluun, kuin itse robotin etäohjelmoimiseen. Graafisen simuloinnin avulla voidaan paitsi luoda solulle layout, niin myös määrittää robotin työsekvenssit ja -ajat, suorittaa törmäystarkastelu sekä ulottuvuusanalysointi. Graafinen simulointi mahdollistaa siis myös erityyppisten layout -ja järjestelmä ratkaisujen vertailemisen yrityksessä valmistettaville tuotteille. (Aalto ym. 1999, 83, 96, 98.) Edellä mainitut tehtävät voidaan jaotella kolmeen simulointitekniikan pääryhmään jotka ovat ulottuvuus-, prosessi- ja dynaaminen simulointi. Ulottuvuus simulointi on selitetty seuraavana tarkemmin. Loput kaksi simulointia vastaavat lähinnä jo selitettyä offline-ohjelmointia, sillä niissä luodaan muun muassa kaikki tarvittavat liikeradat oikeine parametreineen.

Ulottuvuussimuloinnissa robottisolun geometriset ja kinemaattiset ominaisuudet ovat pääosassa. Eli robotin, oheislaitteiden ja valmistettavan tuotteen 3D-mallien geometrian on oltava riittävän tarkkoja. Lisäksi robotin ja oheislaitteiden nivelten liikerajojen on vastattava todellista tilannetta. Ulottuvuussimuloinnilla pyritään siis mitoittamaan robotti ja lisälaitteet niin, että tuotanto on ylipäätään mahdollista. Samalla saadaan tarkasteltua luodun layout-ratkaisun soveltuvuutta halutuille tuotteille, sekä tarkasteltua kiinnitinratkaisuja. (Aalto ym. 1999, 99.)

3 HITSAUS

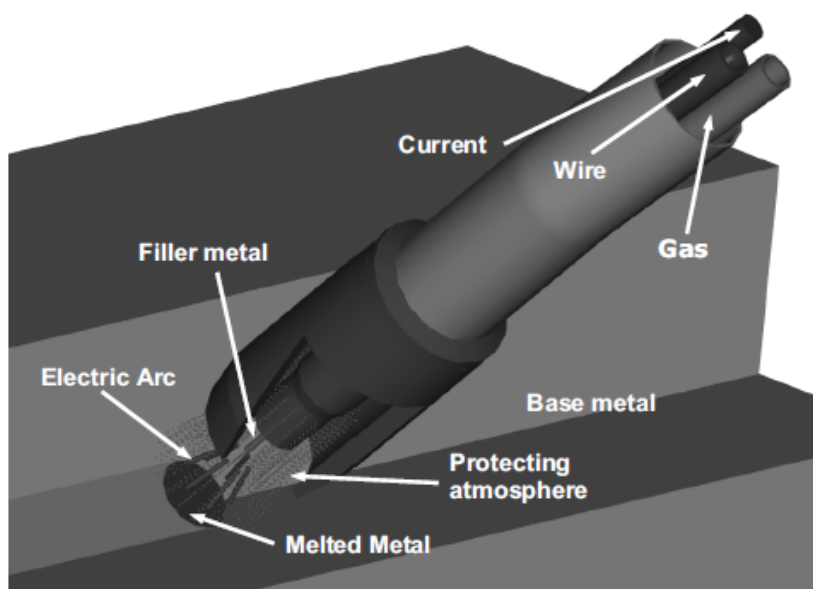
Hitsaus on taito, jota käytetään metalliosien rakenteissa, valmistuksessa, tuotannossa ja korjauksessa. Hitsausta voidaan toki käyttää myös muun muassa muovien ja keraamien liittämiseen. Standardin SFS 3052 mukaan hitsauksella tarkoitetaan ”osien liittämistä toisiinsa käyttämällä hyväksi lämpöä ja/tai puristusta siten, että osat muodostavat jatkuvan yhteyden. Hitsauksessa voidaan tarvittaessa käyttää lisäainetta, jonka sulamispiste on suunnilleen sama kuin perusaineella.” (Pires, Loureiro & Bölmsjö 2006, 6; Lukkari 1998, 11.)

Hitsauksen historia on pitkä, sillä kovajuotteisia esineitä on löydetty 5000 vuoden takaa, sekä pajahitsaus puolestaan liitetään usein aikaan 1400eKr. Nykyaikaisen hitsauksen voidaan katsoa alkaneen kuitenkin vasta 1800-luvun lopulla, kun englantilainen Thomson kehitti vastushitsauksen. Tämän jälkeen venäläinen Bernados keksi hiilikaarihitsauksen, jossa hiilipuikon ja työkappaleen välissä palava valokaari sulattaa erillistä lisäainetta ja hitsattavaa materiaalia. Hänen maamiehensä Slawianow kehitti ideaa ja korvasi hiilipuikon metallisella, jota käytettiin samalla myös lisäaineena. Tästä voidaan katsoa alkaneen metallikaarihitsauksen. 1900-luvulle tultaessa ruotsalainen Kjellberg kehitti ja patentoi päällystetyn metallisen hitsauspuikon, jonka avulla saatiin parempilaatuista hitsausseamaa kuin Slawianowin paljaalla metallipuikolla. Samoihin aikoihin kaasuhitsaus sai myös alkunsa. (Lukkari 1998, 14.) Ensimmäinen maailmansota aiheutti suuren tarpeen raskaista metalliosista, joka omalta osaltaan vauhditti hitsausteollisuuden kasvua (Pires ym. 2006, 8). 1930-luvulla Yhdysvalloissa kehitettiin jauhekaari- ja TIG-hitsaus. Myös MIG/MAG hitsaus sai vihdoin alkunsa Yhdysvalloista toisen maailmansodan jälkeen, samoin kuin täytelankahitsaus 50-luvun lopulla. Tämän jälkeen syntyneitä hitsausprosesseja ovat esimerkiksi kuona-, kitka-, plasma-, ultraääni-, elektronisuihku- ja laserhitsaus. Ensimmäiset hitsausrobotit tulivat käyttöön 1970-luvulla. (Lukkari 1998, 14.)

3.1 MIG/MAG hitsaus

MIG/MAG (GMAW = gas-metal arc welding) hitsaus on puoliautomaattinen prosessi, jossa lisäaineena toimivaa hitsauslankaa syötetään automaattisesti, vakionopeudella, valokaaren läpi hitsisulaan (Lepola & Makkonen 2005, 103). Valokaari synnytetään vir-

talähteen avulla hitsauslangan ja hitsattavan kappaleen välille. Synnytetty valokaari sulattaa sekä hitsauslangan että hitsattavan materiaalin, muodostaen hitsisulan. (Kemppe 2016, A.) Valokaareen syötetään hitsauspolttimen kautta myös suojakaasua, joka suojaa hitsisulaa ilmassa olevalta hapelta ja typeltä (Lepola & Makkonen 2005, 110). Syötetty suojakaasu voi olla joko inertti eli passiivista, jolloin puhutaan MIG-hitsauksesta, tai hitsisulan kanssa reagoivaa aktiivista kaasua, jolloin kyseessä on puolestaan MAG-hitsaus. MIG hitsausta käytetään esimerkiksi alumiinin, titaanin ja kuparin hitsauksessa, kun taas MAG-hitsausta käytetään puolestaan terästen hitsaamiseen. (Lepola & Makkonen 2005, 103.) MAG-hitsaus on huomattavasti MIG-hitsausta yleisempi menetelmä, kuitenkin usein puhutaan MIG hitsauksesta vaikka oikeasti tarkoitetaan MAG-hitsausta (Kemppe 2016, A). Alla olevassa kuvassa on esitetty edellä selitetyn mukaisesti MIG/MAG-hitsauksen periaate.



Kuva 6. MIG/MAG-hitsauksen periaate (Pires ym. 2006,5).

MIG/MAG hitsaus soveltuu lähes kaikille metalleille sekä aineenpaksuuksille 1mm 30mm:iin. Lisäksi menetelmää on mahdollista käyttää kaikissa hitsausasennoissa. Menetelmän etuihin kuuluu myös se, ettei hitsatessa muodostu kuonaa merkittävästi, joten hitsattu sauma ei usein vaadi puhdistustoimenpiteitä. Koska kyseessä on puoliautomaattinen prosessi, niin hitsaajalta vaaditaan vähemmän taitoa kuin esimerkiksi TIG-hitsausta käytettäessä. (Pires ym. 2006, 37.) Niinpä MIG/MAG prosessi onkin laajimmin käytetty hitsausmenetelmä, sillä jopa 80–85 % hitsaustyöstä tehdään käyttäen kyseistä

hitsausmenetelmää. Se soveltuu hyvin myös robotisoitavaksi, ja onkin yleisin menetelmä robotisoidussa hitsauksessa. (Stenbacka 2011, 10, 31.)

3.2 Hitsauksen avainlukuja

Avainlukujen avulla hitsausprosesseja voidaan vertailla keskenään. Lisäksi niiden tarkastelu antaa hyödyllistä tietoa hitsauksen taloudellisuudesta. (Stenbacka 2011, 68.) Niinpä hitsauksustannusten tarkastelu ei ole mahdollista ilman seuraavana esiteltävien käsitteiden määrittelyä.

3.2.1 Sulatusnopeus ja hitsiaineentuotto

Sulatusnopeudella tarkoitetaan kaariaikana sulatetun lisäaineen määrää, eli kg/h. Sulatusnopeudelle on olemassa taulukoita, joista nähdään sulatusnopeus hitsausvirrasta ja lisäaineen paksuudesta riippuen. Kuitenkin aina osa syötetystä lisäaineesta kuluu roiskeisiin, kuonaan ja hitsaussavuihin. Niinpä sulatusnopeus ei ole sama asia kuin hitsiin siirtyneen lisäaineen määrä. Hitsiaineentuotto huomioi nämä häviöt hyötyluvun avulla. Hyötyluku ilmoittaa, että montako prosenttia sulatetusta lisäaineesta tulee hyötykäyttöön. Normaalille MIG/MAG umpilangalle tämä on 95 %. (Stenbacka 2011, 68–69, 72.)

Hitsiaineentuotolla tarkoitetaan siis hitsiin kaariaikana siirretyn lisäaineen määrää. Yleensä sen yksikkönä käytetään kg/h (Lukkari 1998, 58). Hitsiaineentuotto on aina pienempi kuin sulatusnopeus, johtuen syntyvistä häviöistä. Hitsiaineentuotolle löytyy hitsausprosessikohtaisia taulukoita hitsausvirran ja langanhalkaisijoiden mukaan. (Stenbacka 2011, 68–69.) Yksi MAG-hitsaukseen soveltuva taulukko on esitetty kappaleessa ”7.1.7 Robotin hitsausajat” taulukossa 7.

3.2.2 Paloaikasuhte

Paloaikasuhteella tarkoitetaan valokaaren paloajan, eli kaariajan suhdetta työhön käytettyyn kokonaisaikaan. Sen suuruus vaihtelee paljon käytetyn menetelmän mukaan. (Lukkari 1998, 58.) Esimerkiksi käsin suoritettavalle MIG/MAG hitsaukselle se on vain

noin 22–25%, kun taas robotisoidulle MIG/MAG hitsaukselle 40–90%. Myöhemmin esitettävien hitsauksen tuotantoaikojen perusteella paloaikasuhte saadaan siis kaariajan ja vaiheajan suhteella. (Stenbacka 2011, 72.)

3.2.3 Hitsiaineenmäärä

Hitsiaineenmäärä voidaan ratkaista yksinkertaisesti railotilavuuden, hitsimetrien ja lisäaineen ominaispainon tulona. Hitsiaineenmääriin on olemassa myös taulukoita, joista saadaan selville vaaditut hitsiainekilot metriä kohden. (Lukkari 1998, 58.) Taulukossa 2 on esitetty pienahitsien teoreettiset hitsiainemäärät.

Taulukko 2. Teoreettiset hitsiainemäärät pienahitseissä (Esab 2003, 290).

a-mitta mm	Hitsin teor. poikki- pinta mm ²	Jalkopiena		Alapiena		Vaakapiena		Yläpiena	
		cm ³	kg/m	cm ³ /m	kg/m	cm ³ /m	kg/m	cm ³ /m	kg/m
2	4	5	0,04	6	0,05	5,5	0,04	5,5	0,04
2,5	6,5	7,5	0,06	8	0,06	8,5	0,07	8,5	0,07
3	9	10,5	0,08	12,5	0,10	11	0,09	12	0,09
3,5	12,5	14	0,11	16	0,13	15	0,12	16,5	0,13
4	16	18	0,14	21	0,16	19,5	0,15	22	0,17
4,5	20,5	22,5	0,18	26	0,20	24,5	0,19	26,5	0,21
5	25	27,5	0,22	31,5	0,25	30,5	0,24	33	0,26
5,5	30,5	33,5	0,26	37	0,29	36	0,28	40,5	0,32
6	36	40	0,31	42	0,33	43	0,34	47,5	0,37
6,5	42,5	46,5	0,37	49,5	0,39	51	0,40	56	0,44
7	49	54,5	0,43	57	0,45	56	0,44	65	0,51
7,5	56,6	60,5	0,47	65	0,51	64	0,50	73,5	0,58
8	64	70	0,55	73,5	0,58	76,5	0,60	82,5	0,65
9	81	88	0,69	95	0,47	95	0,75	109	0,86
10	100	108	0,85	114	0,89	116	0,91	130	1,02
11	121	131	1,03	138	1,08	143	1,12	157	1,23
12	144	155	1,22	162	1,27	169	1,33	188	1,48
13	169	179	1,41	190	1,49	195	1,53	220	1,73
14	196	207	1,62	224	1,76	227	1,78	257	2,02
15	225	237	1,86	248	1,95	264	2,07	294	2,31

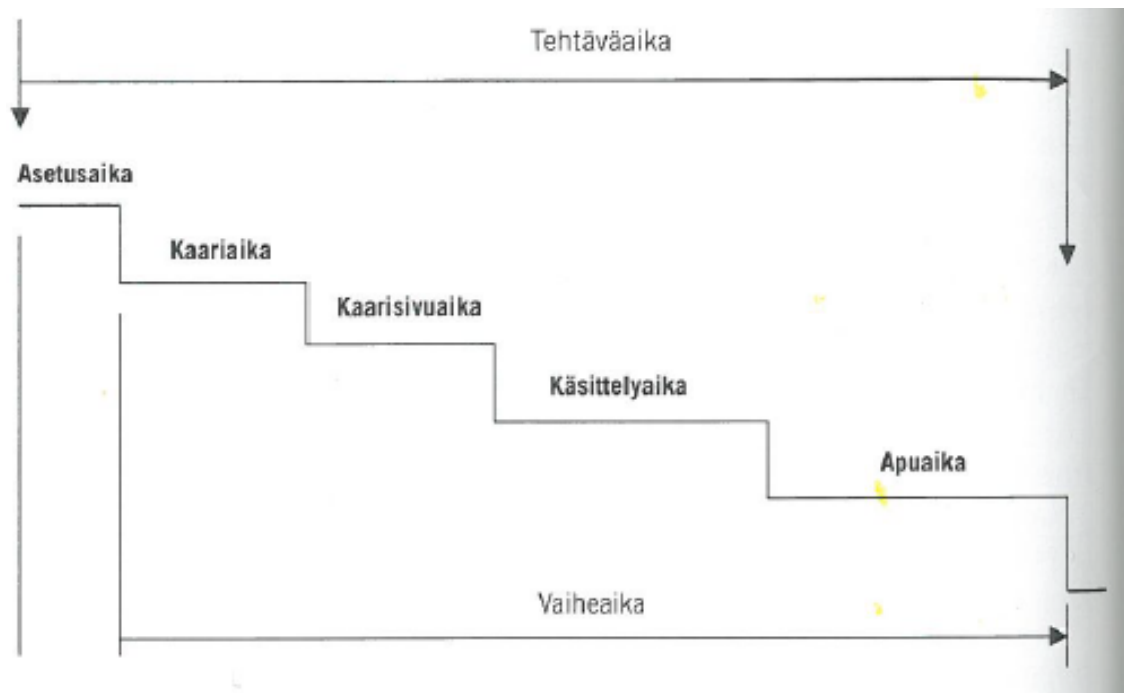
3.3 Hitsauskustannukset

Suurin osa hitsauskustannuksista muodostuu jo suunnitteluvaiheessa. Erään yleisen väittämän mukaan jopa 70–80% kustannuksista määräytyykin suunnitteluvaiheessa. (Lukkari 2011, 7.) Esimerkiksi suunnittelijan tekemällä perusaineen valinnalla on hyvin suuri merkitys kustannuksiin, sillä pääsääntöisesti lujempi perusaine johtaa myös pienempään railotilavuuteen ja täten pienempään hitsiainemäärään. Lisäksi rakenteen

muotosuunnittelulla voidaan suuresti edesauttaa taloudellisten hitsien syntymistä. Niinpä suunnittelun ja tuotannon avoin vuorovaikutus on erittäin tärkeää. Tätä edesauttaa suuresti mikäli tuotanto ja suunnittelu ovat fyysisesti lähekkäin. (Stenbacka 2011, 14–15.) Hitsauskustannukset muodostuvat kolmesta kokonaisuudesta, nämä kokonaisuudet ovat hitsausainekustannukset, valmistuskustannukset, sekä konekustannukset (Lukkari 1998, 58). Liitteessä 1 on esitetty Lukkarin ”Hitsaustekniikka perusteet ja kaarihitsaus” – kirjassa esittämiä kaavoja yksittäisten MIG/MAG hitsauskustannusten laskentaan. Seuraavassa kappaleessa on puolestaan esitetty tarkemmin hitsauksen tuotantoajan vaiheet sekä työvoiman aiheuttamat kustannukset.

3.4 Hitsauksen tuotantoaika

Hitsauksen tuotantoaika muodostuu useasta eri vaiheesta, jotka ovat asetus-, kaari-, kaarisivu-, käsittely- ja apuaika. Yhdessä nämä muodostavat tehtäväkohtaisen ajan. Mikäli asetus aika jätetään huomioimatta, saadaan selville vaiheaika. Alla olevassa kuviossa on esitetty vaihe- ja työaikojen muodostuminen. Seuraavana on eritelty Stenbackan (2011, 66) esittämät tehtävääikaan kuuluvat vaiheet.



Kuvio 1. Hitsauksen tuotantoajat (Stenbacka 2011, 66).

Asetusajalla tarkoitetaan aikaa joka kuluu aina ennen uuden työn aloittamista. Hitsauskiinnittimen valmistaminen ja kiinnittäminen on esimerkki asetusajasta, lisäksi hitsausrobotin ohjelmointi kuuluu myös asetusaikoihin. Aiemmin selitetyllä offline-ohjelmoinnilla saadaan minimoitua robotin ohjelmoinnista aiheutuva asetusaika. Koska asetus tehdään vain kerran yhtä hitsattavaa erää kohden, niin asetusaika tulee jakaa jokaiselle erässä valmistettavalle tuotteelle. Luonnollisesti lyhyt asetusaika on taloudellinen etu. (Stenbacka 2011, 66.) Kaariaika on nimensä mukaisesti se aika, jona valokaari palaa. Kaariaika riippuu suuresti käytettävästä hitsausprosessista, railosta, hitsausparametreista, hitsausasennosta sekä työkohteesta. MIG/MAG hitsauksessa kaariaika T_{KA} lasketaan kaavasta

$$T_{KA} = \frac{M}{T}$$

Kaava 1. Kaariaika (Stenbacka 2011, 67).

Jossa:

- M = hitsiainemäärä (kg)
- T = hitsiaineentuotto (kg/h)

Kaarisivuaika liittyy hitsausprosessiin lisäaineen, kosketussuuttimen tai kaasupullon vaihtona. Lisäksi esimerkiksi kaasusuuttimen puhdistus on kaarisivuaikaa. Käsittelyajalla tarkoitetaan hitsattavan kappaleen käsittelyyn kuluva aikaa. Käsittelyaikaan kuuluu esimerkiksi kappaleen silloittaminen ja mittaus. Käsittelyaika riippuu paljolti hitsaustoimintojen järjestelyistä. Apuaika koostuu ajasta, jota ei voida suoranaisesti liittää hitsaustyöhön. Tuotantoaikaa määriteltäessä se otetaan huomioon prosenttilisänä. (Stenbacka 2011, 67.)

Työkustannukset K_T voidaan ratkaista seuraavasta kaavasta:

$$K_T = \frac{M}{T} * \frac{1}{e} * H_T$$

Kaava 2. Hitsauksen työkustannukset (Lukkari 1998, 58).

Jossa:

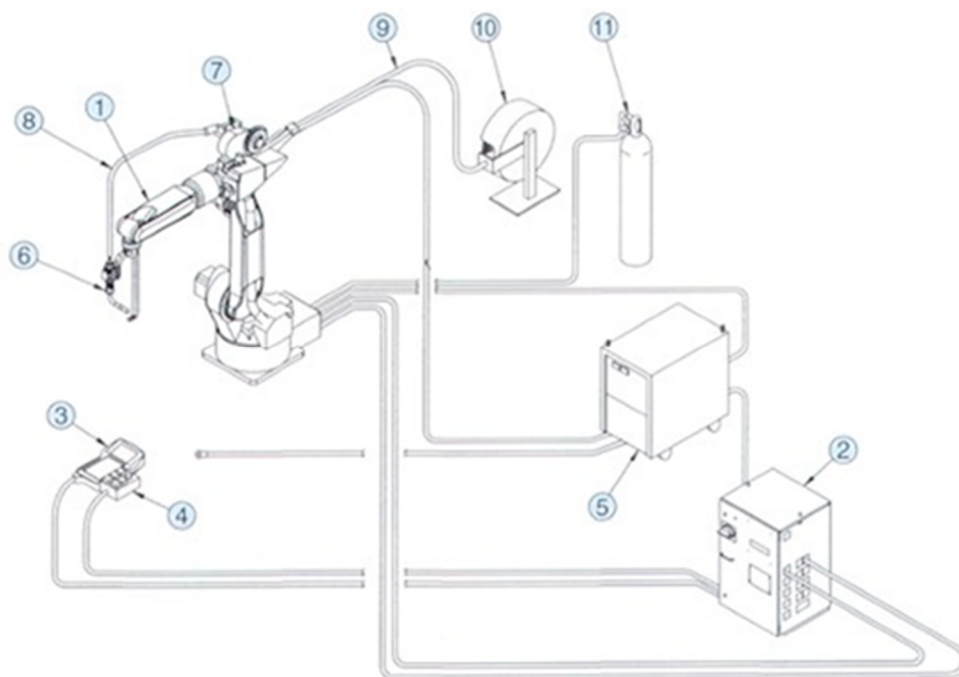
- M = hitsiainemäärä kg/m
- T = hitsiaineentuotto kg/h

- e = paloikasuhde
- H_T = työtunnin hinta €/h

4 ROBOTISOITU HITSAUS

4.1 Hitsauslaitteisto robotisoidussa MIG/MAG hitsauksessa

Hitsauslaitteisto koostuu neljästä pääelementistä, jotka ovat virtalähde, langansyöttölaitteisto, hitsauspoltin sekä suojakaasun säätöyksikkö. Kuvassa 7 on esitetty hitsauslaitteisto yhdessä robottilaitteiston kanssa. Seuraavana ovat lueteltuina lyhykäisesti hitsauslaitteistojen toimintaperiaatteet, kiinnittäen huomiota robotisoidun hitsauksen ominaisuuksiin. Huomionarvoista jokaisen kohdalla on, että hitsaukseen tulee valita juuri robottihitsaukseen suunnitellut laitteet, jotka takaavat sujuvan toiminnan robotin kanssa (Kempfi 2016, B). Vaikka hitsauslaitteisto vastaa investoinniltaan vain pientä osaa koko robottisolun hankinnasta, niin on sillä kuitenkin valtava merkitys robottisolun käytettävyyteen ja tehokkuuteen (Hiltunen 2006, 25).



Kuva 7. Hitsausrobottijärjestelmä (Finnrobotics 2016).

1.Robotti 2.Ohjain 3.Opetusyksikkö 4.Toimintopainikkeet 5.Hitsausvirtalähde 6.Hitsauspoltin 7.Langansyöttölaite 8.Hitsauskaapeli (monitoimikaapeli) 9.Kaapeli (monitoimikaapeli) 10.Lankateline 11.Kaasusäädin.

Hitsausvirtalähde

Virtalähteen avulla muunnetaan verkkovirta hitsaukseen sopivaksi. Virtalähteet tuottavat vakiojännitettä, jonka ominaiskäyrä on kuitenkin hieman laskeva, tavallisesti jännitteen lasku on 2-10V 100A kohden. Tasajännitteisyyden ja -langansyötön avulla hitsattavan kappaleen ja hitsauslangan välinen valokaari saadaan itsesäätyväksi. Tämä tarkoittaa sitä, että erityisesti manuaalihitsauksessa tapahtuvat hitsauspolttimen ja työkappaleen välisen etäisyyden muutokset saadaan kompensoitua niin, että valokaaren pituus saadaan pidettyä vakiona. (Pires ym. 2006, 38; Lukkari 1998, 161–162,177.) Virtalähteen valinnassa tulee tietää ennustettu käyttösuhte ja virran suuruus, koska virtalähteet on suunniteltu eri kuormituksille. Käyttösuhte tarkoittaa kaariajan suhdetta kokonaisuutena. Virtalähteiden kohdalla käyttösuhte on määritetty 10 minuutin pituisena jaksona. Ilmoitettu käyttösuhte on suuntaa antava, ja tarkoittaa sitä aikaa, jona virtalähdettä voidaan kuormittaa 10 minuutin jakson aikana. (Lukkari 1998, 85.) Esimerkiksi Kempin FastMig X 450 -virtalähde 450A / 60% tarkoittaa, että 450A virralla voidaan hitsata 6 minuuttia ja loput 4 minuuttia koneen on jäähdyttävä. Vastaavasti samaisella koneella voidaan kuitenkin hitsata 350A / 100%, eli 350A virralla voidaan hitsata täydet 10 minuuttia ilman taukoja.

Langansyöttölaite

Langansyöttölaitteen tehtävänä on syöttää hitsauslankaa monitoimikaapelin kautta hitsauspolttimelle ja edelleen valokaareen (Lukkari 1998, 182). Robotisoidussa hitsauksessa hitsauslankaa syötetään 15-18kg kerältä tai 200-475kg tynnyreistä, näin saadaan minimoitua hitsauslangan loppumisesta johtuvat tuotantokatkokset. Langansyöttölaitteisto on sijoitettu perinteisesti robotin käsivarteen, mahdollisimman lähelle hitsauspolttinta, jotta saadaan hitsauslangalle varma työntösyöttö hitsisulaan. Käytettäessä pitkää monitoimikaapelia, on syytä käyttää vetävää sekä työntävää syöttölaitteistoa, etteivät kaapelin kiertymiset pääse aiheuttamaan vaihtelua langansyötön nopeuteen. Langansyöttönopeudella on merkittävä vaikutus hitsauksen onnistumiseen, niinpä vaihtelut syötön nopeudessa johtavatkin huonolaatuisen hitsiin. (Pires ym. 2006, 39, 76–77.)

Monitoimikaapeli

Monitoimikaapelia pitkin johdetaan hitsauslanka, suojakaasu, jäähdytysvesi, hitsausvirta ja ohjausvirta hitsauspistooliin (Lukkari 1998, 184). Hitsauspolttimelle menevä monitoimikaapeli voidaan kiinnittää ulkoisesti robotin käsivarteen, jolloin kaapeli kuitenkin altistuu osumille ja ennenaikaiselle kulumalle. Kuitenkin modernit robotit mahdollistavat kaapelinvedon käsivarren sisään, jolloin saadaan muun muassa pidennettyä kaapelin elinikää. (Pires ym. 2006, 40.) Lisäksi monitoimikaapelin pituus, sekä kiertymiset saadaan minimoitua, jolloin edellisessä kappaleessa esitellystä kriittisestä langan syötöstä saadaan entistä tasaisempi (Brumson 2005). Lisäksi offline-ohjelmoitaessa voidaan olla varmoja siitä, ettei kaapeli muodosta lenkkejä, jotka voisivat helposti takertua rakenteisiin (Hiltunen 2009, 29).

Hitsauspoltin

Hitsauspistooli, josta käytetään myös nimitystä hitsauspoltin, on osa, jonka kautta hitsausvirta siirretään hitsauslankaan, sekä johdetaan hitsauslanka ja suojakaasu hitsisulaan. Lisäksi myös mahdollinen jäähdytysvesi kiertää ja jäähdyttää hitsauspistoolia. (Lukkari 1998, 185.) Robottihitsauksessa käytetyt hitsauspolttimet ovat yleensä vesijäähdytetyjä, mutta myös kaasujäähdytteisiä polttimia on mahdollista käyttää. Kuitenkin kaasujäähdytystä käytettäessä on polttimen oltava suurempi kuin manuaalihitsauksessa. (Pires ym. 2006, 40.) Kaasujäähdytteiset polttimet on yleensä suunniteltu 200–300 ampeerin virralle, 60 % kaariajalla. Ne ovat vesijäähdytteisiä polttimia kestävämpiä, edullisempia sekä pienempiä. Vesijäähdytteiset polttimet ovat siis hauraampia, kookkaampia ja kalliimpia. Vesijäähdytys mahdollistaa kuitenkin yli 600 ampeerin virran sekä 100 % kaariajan. (Ryan 2012.) Vaihtoehtoisesti myös paineilmaa on mahdollista käyttää polttimen jäähdyttämiseen vesijäähdytyksen sijaan (Pires ym. 2006, 40). Robottihitsaukseen suunnitellut polttimet on yleensä varustettu törmäyskytkimellä, joka suojaa robottia ja hitsauspoltinta törmäystilanteissa (Abicor Binzel 2003).

Kaasunsyöttö

Hitsauksessa käytettävä suojakaasu syötetään joko suojakaasuverkosta tai vaihtoehtoisesti suoraan korkeapaineisesta kaasupullosta. Suojakaasun säätö tapahtuu kaasuyhteen jälkeen olevan virtaussäätimen avulla. Virtausmäärä on kuitenkin syytä tarkistaa tarkistusrotametrimillä hitsauspistoolin päästä, sillä väärän suuruinen suojakaasun virtaus aiheuttaa hitsiin huokosia. (Lukkari 1998, 189–190.)

4.2 Hitsauksen mekanisoinnin tasot

Kemppi Oy esittää hitsauksen mekanisoinnin neljällä tasolla. Jako perustuu mekaanisten hitsauslaitteiden käytön määrään prosessissa.

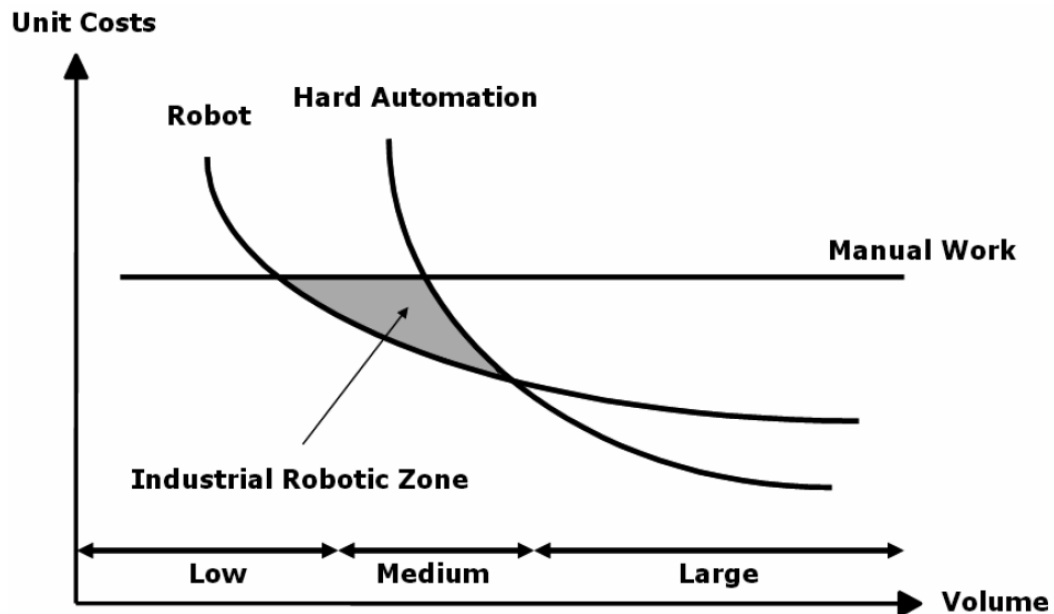
- Käsinhitsaus
 - Hitsaaja liikuttaa hitsauspoltinta käsin, ohjaa ja valvoo hitsausprosessia.
- Puoliautomaattinen hitsaus
 - Hitsauslaite suorittaa jonkin osan työvaiheesta. MIG/MAG-hitsaus on esimerkiksi puoliautomaattinen prosessi, koska langansyöttö on hoidettu koneellisesti.
- Mekanisoituhitsaus
 - Hitsauslaite suorittaa fyysisen työn, hitsaaja kuitenkin ohjaa, sekä valvoo prosessia.
- Automaattinen hitsaus
 - Hitsauslaitteisto suorittaa ennalta laaditun ohjelman täysin itsenäisesti

(Kemppi 2016, B.)

4.3 Miksi robotisoida hitsaus

Hitsausrobotit ovat pakonsanelemia kehittyneissä teollisuusmaissa, mikäli pyritään lainkaan sarjamuotoiseen valmistukseen (Stenbacka 2011, 33). Lisäksi yrityksen kilpailukyky ja menestys vaativat tuotannon jatkuvaa kehittämistä (Ahokas, Tiihonen, Neuvonen & Suikki 2011, 5). Kuviossa 2 näkyy robottien tehokas käyttöalue manuaalisen ja jäykän automaation välissä. Hitsausrobotit ovatkin yksi yleisimmistä robotisoinnin kohteista

maailmalla, sekä Suomalaisessa konepajateollisuudessa (Pires ym. 2006, 2; Aaltonen & Torvinen 1997, 161).



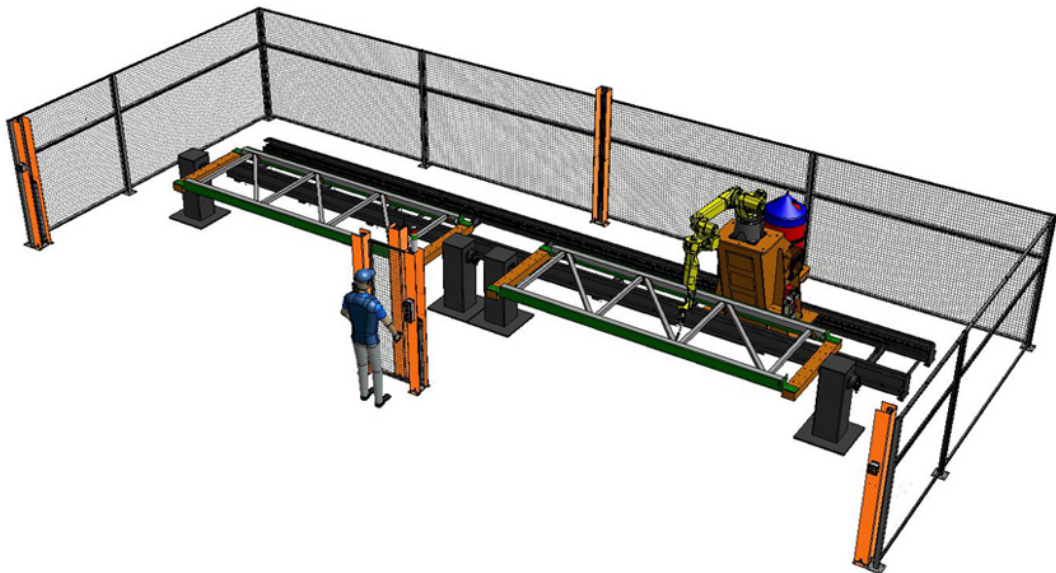
Kuvio 2. Robottihitsauksen taloudellinen käyttöalue (Pires ym. 2006, 2).

Hitsauksen automatisoinnilla tavoitellaan parempaa tuottavuutta, tasaisempaa laatua, suurempaa tuotantokapasiteettia sekä kustannustehokkuutta (Kemppe 2016, B). Yleensä robotisoitu hitsaus onkin 2-5 kertaa nopeampaa kuin käsin –tai puoliautomaattisesti toteutettuna. Robotisoidun hitsauksen tehokkuutta tukee se, että lisäaineen kulutus voidaan minimoida, koska tunkeuma on varmaa, roiskeita syntyy vähemmän kuin käsin hitsatessa, sekä käsinhitsauksessa tyypilliset a-mittojen ylisuuret hitsaukset jäävät pois. Lisäksi robotisoimalla hitsaus saadaan hitsausoperaattorin altistuminen myrkkyykaasuille ja fyysiselle rasitukselle poistettua, sekä pienennettyä tilan tarvetta. (Pires ym. 2006, 23; Lincoln Electric 2005, 2-3.) Parhaiten robottihitsauksen edut tulevat esille kun hitsattavia saumoja on paljon, ne ovat lyhyitä, sekä saumoja on useaan suuntaan. Lisäksi kaarevat hitsauspinnat soveltuvat hyvin robotilla hitsattavaksi. (Kemppe 2016, B.) Robotin hankinta voidaan perustella, mikäli tuotetta valmistetaan paljon, tai vaihtoehtoisesti eri tuotteet soveltuvat samalla robottiasemalla hitsattavaksi - joka tapauksessa robottiin kulutetut rahat on saatava kompensoitua (Lincoln Electric 2016, A). Nykyaikainen teknologia mahdollistaa kuitenkin yhä pienenevien sarjojen hitsaamisen robotilla, jopa yksittäisvalmistusta on kannattavasti robotisoitu (Kemppe 2016, B). Robotisointi tarjoaakin alihankkijoille

mahdollisuuden vastata tilaajien toimitusaikoihin ja- laatuvaatimuksiin. Kuitenkin kun hitsaus robotisoidaan, niin ongelmatilanteita tulee väistämättä aiempaa enemmän ja ne ovat huomattavasti monimutkaisempia. (Pires ym. 2006, X, 2.)

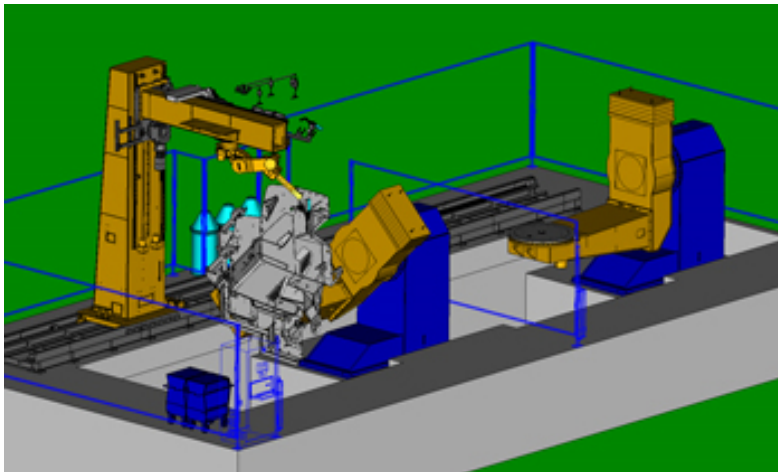
4.4 Hitsaussolun laitteisto

Robottien ulottuvuus on rajallinen, kuten kuvassa 1 on esitetty. Lisäksi prosessikohtaiset vaatimukset, kuten hitsausasento asettavat omat edellytyksensä ulottumalle. Robotin ulottuma voi tulla ongelmaksi jo keskikokoisten kappaleiden hitsauksessa. (Pemamek 2016.) Niinpä robottisolu koostuu kuvassa 7 esitettyjen hitsauslaitteiden ja robotin lisäksi myös muun muassa käsittelypöydästä sekä tarvittaessa robotin liikeradasta. Käsittelypöytä voi olla yhdellä tai kahdella vapausasteella varustettu, jolloin hitsattavaa kappaletta saadaan pyöriteltä ja asemoitua robotille sopiviin asentoihin. (Groover 2014, 233.) Esimerkiksi kaarihitsauksessa hitsauksen toteutus on kannattavinta jalkoasennossa (Aalto ym. 1999, 113). Tuottavuuden nostamiseksi käytetään usein kaksiasemaisia käsittelypöytiä, jolloin operaattori voi robotin yhä hitsatessa purkaa edellisen valmiin tuotteen pöydältä, sekä ladata seuraava hitsattava tuote valmiiksi robotille (Groover 2014, 233).



Kuva 8. Lineaariradalla ja kahdella grilli-käsittelypöydällä varustettu hitsaussolu (AGT Robotics 2016).

Robotin työskentelyaluetta laajennettaakseen voidaan robotti asentaa lineaariradalle tai vaihtoehtoisesti ylösalaisin portaaliin. Portaali-järjestelmässä, tunnetaan myös gantry-järjestelmänä, voidaan liikuttaa robottia työalueen yläpuolella pituus, leveys ja korkeus suunnassa. Tämä tarjoaa esteettömän, katveettoman ja laajan työskentelyalueen, josta on suurta hyötyä ennen kaikkea hitsattaessa suuria tuotteita. (Motoman 2016, A; Aaltonen & Torvinen 1997, 147.) Kuvissa 8 ja 9 on esitelty kaksi hitsaussolua, joista molemmat on varustettu kahdella asemalla.



Kuva 9. Gantry-järjestelmä varustettuna kahdella L-käsittelypöydällä (Berge 2008).

Hitsauspolttimen huoltoyksikön avulla poltin pidetään toimintakuntoisena laadukkaan hitsin aikaansaamiseksi. Huoltoyksikkö koostuu kolmesta peruselementistä, jotka ovat mekaaninen puhdistin, TCP:n (tool center point=työkalupiste) määrittin, sekä langan katkaisija. Mekaaninen puhdistin puhdistaa polttimen suuttimen muodostuneista hitsausroiskeista, puhaltaa puhdistetun suuttimen puhtaaksi, sekä samalla ruiskuttaa roiskeiden kiinnittymistä ehkäisevää ainetta. TCP-määrittimen ja langankatkaisijan avulla työkalupiste saadaan pidettyä ohjelmoidussa paikassa, aivan lisäainelangan kärjessä. Robotti käy huoltoyksiköllä ohjelmoiduin väliajoin suorittamassa edellä mainitut toimenpiteet. (ABB 2015; ABB 2013.)

4.5 Robottihitsauksen laadun varmistus

Yksi robottihitsauksen ongelmista on esivalmisteille asetettu vaatimus tasalaatuisuudesta. Jo lisäainelangan halkaisijan (>1mm) suuruinen heitto ohjelmoidusta radasta voi johtaa huonolaatuisiin hitsiin, ilman asianmukaista radan korjausta. (Scherler 2000, 1.)

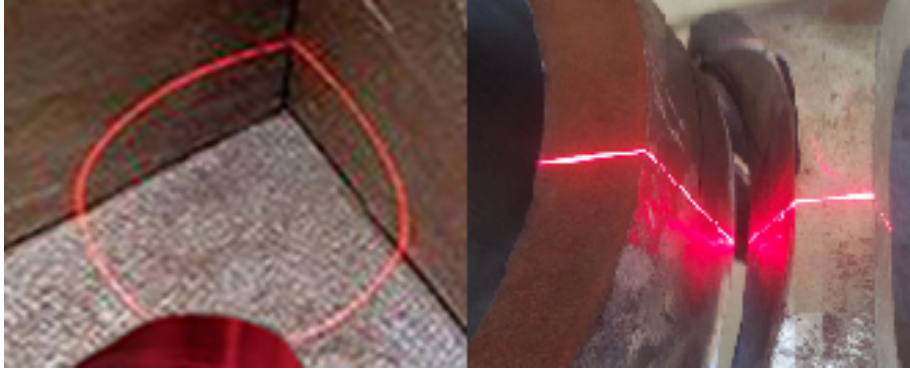
Samalla automaation kasvun ja uusien materiaalien hitsauksen myötä myös hitsaukselle asetetut vaatimukset tiukentuvat, niinpä hitsausprosessia on myöskin pystyttävä hallitsemaan paremmin. Tähän tarkoitukseen onkin luotu erilaisia sensoreita. Näiden tarkoituksena on antaa hitsauksen ohjausjärjestelmälle riittävästi tietoa meneillään olevasta tapahtumasta, jotta ohjausjärjestelmä osaa muokata hitsausarvoja ja robotin liikkeitä vallitsevan tilanteen mukaisiksi. Sensorit jaetaan tyypillisesti hitsausliitoksen muotoja tarkkaileviin geometrisiin sensoreihin, sekä hitsausarvojen muutoksia havainnoiviin teknisiin sensoreihin. Jälkimmäisiä käytetään hitsausarvojen, kuten virran, jännitteen tai langansyötön valvontaan ja kontrolloimiseen. Geometrisiä sensoreita käytetään puolestaan usein railon hakuun ja -seurantaan. (Pires ym. 2006, 73–75.)

4.5.1 Railonseuranta ja -haku robottihitsauksessa

Railonseuranta tapahtuu yleisesti joko optisesti laserseurannalla tai edullisemmalla valokaaren arvoja seuraavalla järjestelmällä. Molemmilla tavoilla pyritään saamaan tietoa hitsattavan sauman geometriasta, kuten sauman poikkeamaa opetetusta radasta, sauman sijainnin muutoksista tai ilmaraon vaihteluista. (Pires ym. 2006, 77–78.) On kuitenkin tärkeää huomata, etteivät sensorit siis itsessään paranna hitsausprosessia, vaan säätävät ainoastaan hitsauspolttimen asentoa ja paikkaa, monimutkaistaen samalla koko robottisolun käyttöä (Scherler 2000, 5).

4.5.2 Laserseuranta ja -haku

Laserseurannassa hitsauspolttimeen kiinnitetään laserseurantalaitteisto, jonka luoma laser-juova osoitetaan hitsattavaan saumaan, hieman valokaaren edelle. Laser-juova voi olla joko lineaarinen viiva tai ympyrän-mallinen, kuten on esitetty kuvassa 10. Ympyrämallisella laser-juovalla kulmissa olevat hitsattavat saumat ovat helpommin tunnistettavissa, jolloin railonhaku saadaan toteutettua yhdestä asennosta. (Pires ym. 2006, 78, 80, 82.) Laserseurannalla hitsausrailon haku tapahtuu siis laserin avulla noin sekunnissa, kun taas valokaaren läpi tapahtuvassa seurannassa vaaditaan railon hakuun erillisiä kosketuksia (Lincoln Electric 2016, B; Scherler 2000,4). Laserseuranta toimii myös hyvin ohuilla materiaaleilla, alle 1mm, joissa muut tavallisimmat menetelmät eivät toimi (Lincoln Electric 2016, B).



Kuva 10. Ympyrämallinen (Valk Welding 2013) -ja lineaarinen (Direct Industry 2016) laserseuranta.

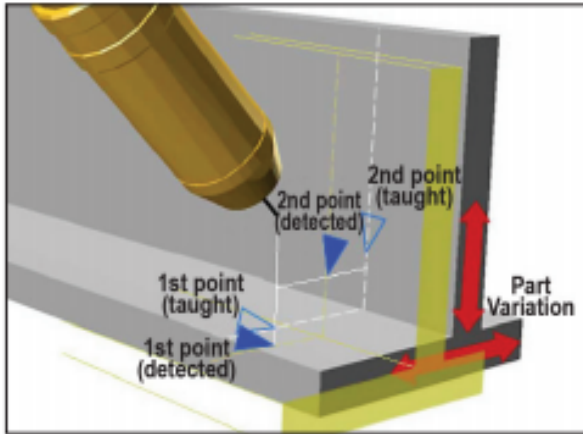
Useimmiten laserseurantaa käytetään ainoastaan pitämään hitsausseama radallaan. Laserseuranta-järjestelmä mahdollistaa kuitenkin huomattavasti monipuolisempia toimintoja, kuten silloitushitsien tunnistuksen ja railotilavuuksien muutoksien huomaamisen. Näin robotin ohjauksesta saadaan adaptiivinen. Hitsausarvoja ja robotin liikkeitä mukautetaan jatkuvasti, jolloin hitsausseamasta saadaan määriteltyjen arvojen mukainen koko matkaltaan. Laserseurannalla on kuitenkin omat ongelmansa. Erityyppiset hitsausrailot aiheuttavat erilaisia heijastumia, jotka on pystyttävä suodattamaan, sekä voimakkaasti peilaavat materiaalit voivat aiheuttaa ongelmia laserseurannalle. Lisäksi seurantalaitte vie tilaa ja johtaa yhden robotin vapausasteen menetykseen. (Pires ym. 2006, 79–80, 82, 84.) Nämä puolestaan asettavat omat vaatimuksensa hitsauspolttimen asennolle ja hankaloittavat robotin liikeratojen ohjelmointia. Tosin myös hitsauspolttimen ympärillä pyöriviä lasersensoreita on myynnissä, jolloin ei menetetä robotin vapausasteita, mutta nämä nostavat jo ennestään tyyriin seurannan hintaa. Koska laserseurantalaitteet ovat suhteellisen kalliita, tulee niiden käyttö perustella esimerkiksi suurilla hitsauksen korjauskustannuksilla. Hitsaus- ja automaatiolaitteita valmistaman Lincoln Electricin mukaan laserseurannalle voi kertyä hintaa jopa 50t \$, niinpä valokaaren läpi tapahtuvaa seurantaa käytetään useimmiten kun vain suinkin on mahdollista. (Lincoln Electric 2016, B; Pires ym. 2006, 82; Scherler 2000, 4.) Toisaalta Esa Hiltunen (2009, 31) toteaa Hitsaustekniikka 6/2009 lehdessä optisen railonhaun hinnan liikkuvan 10t € paikkeilla ja optisen seurannan olevan muutaman tuhannen kalliimpi. Ilmeisesti Lincoln Electricin arvio perustuu adaptiiviselle laserseurannalle, sillä Konepaja 2016 -messuilla saamani arvion mukaan pelkän laserseurannan hinta on noin 20–25t € ja adaptiivisella seurannalla noin tuplasti kalliimpi.

4.5.3 Valokaaren läpi tapahtuva seuranta

Valokaaren läpi tapahtuva seuranta keksittiin 1980-luvulla, ja se soveltuu valokaarihitsausprosesseihin. Kyseistä menetelmää käytetään railon varsinaiseen seurantaan, mutta itse railon hakuun vaaditaan erilliset toimenpiteet, jotka on selitetty myöhempanä. Seuranta perustuu hitsausvirran muutoksiin, jotka muodostuvat polttimen ja hitsausrailon välisen etäisyyden muutoksista. Polttimen ja railon välisen etäisyyden kasvaessa hitsausvirta laskee ja puolestaan etäisyyden lyhetessä virta nousee. (Pires ym. 2006, 38, 84–85.) Tätä käytetään hyväksi vaaputtamalla hitsauspoltinta, jolloin hitsausvirrasta muodostuu U-mallinen kuvio. U:n pohja muodostuu hitsausrailon keskellä, kun reunat kuvaavat vaaputuksen jompaakumpaa ääripäätä. Muutokset kuvaajassa viittaavat hitsauspolttimen karkaavan railosta, jolloin polttimen asentoa korjataan. Hitsausvirran seuranta sisältää kuitenkin huomattavan määrän häiriöitä, jonka vuoksi signaali on suodatettava oikeiden arvojen löytämiseksi. (Scherler 2000, 1-2.) Kokemuksen perusteella on havaittu, että hitsausvirran seurannalla voidaan havaita 0,25mm muutokset etäisyydessä. Kyseinen seurantamenetelmä on yleinen, hyvin edullinen ja yksinkertainen. Kuitenkin toimiakseen seuranta vaatii käytettäväksi vaaputusta, joka puolestaan johtaa hie-man leveämpään hitsin muotoon kuin ilman vaaputusta toteutettu hitsi. Lisäksi materiaalin paksuuden on oltava vähintään 2mm. (Pires ym. 2006, 84–85; Scherler 2000, 2.)

4.5.4 Railonhaku kosketuksella

Kosketukseen perustuva railonhaun tarkoituksena on etsiä hitsattava sauma, jota voidaan myöhemmin seurata esimerkiksi valokaaren läpi. Railonhaualla huomataan siis poikkeama ohjelmoidusta hitsausradasta ja saadaan näin siirrettyä hitsausrataa tarpeen mukaan. (Scherler 2000, 4-5.) Poikkeama ohjelmoidusta radasta voi railonhaun ansiosta olla esimerkiksi 15mm luokkaa (Aalto ym. 1999, 39).



Kuva 11. Railonhaun toteutus ja railon sijainnin muutosten kompensointi (Motoman 2016).

Hitsausrailon haku perustuu sähköiseen kosketukseen, joka tapahtuu joko kaasusuuttimen tai lisääinlangan kosketuksella. Jotta kosketukseen perustuva railonhaku toimisi, tulee kappaleessa olla sopivat vähintään 2mm suuruiset kulmat, joita voidaan käyttää saumojen paikantamiseen. Menetelmä on hyvin edullinen ja luotettava, haun suorittaminen tosin vie Lincoln Electricin mukaan aikaa noin 3-5 sekuntia, joka nostaa valmistusaikoja. Scherler puolestaan toteaa railon haun vievän aikaa vain 1.5 sekuntia. (Lincoln Electric 2016, B; Scherler 2000, 4-5.) Joka tapauksessa voidaan sanoa, että railonhaakuun kuluu aikaa joitain sekunteja. Itse olen sitä mieltä, että 3-5 sekuntia olisi realistisempi aika, sillä itse hakuliikkeet tulee kuitenkin toteuttaa hitaalla nopeudella törmäysvaaran vuoksi. Kuvassa 11 on esitetty railonhaku kahden kosketuksen (1.piste ja 2.piste) avulla pienaliitoksessa. Kyseisessä kuvassa näkyy, kuinka vaihtelut railon sijainnissa ohjelmoidun ja todellisen tilanteen välillä kompensoidaan.

Alla oleva taulukko on Scherlerin esittämä yhteenveto valokaarenläpi (TAST), jännitteen seurannan (AVC, lähes vastaava kuin TAST), laseriin (Laser) ja kosketukseen (Touch Sense) perustuvasta railonhausta ja –seurannasta. Usein valokaaren läpi tapahtuvaa seurantaa tuetaan kosketukseen perustuvalla railonhaulla, kun taas laserseuranta itsessään mahdollistaa myös railonhaun laserin avulla.

Taulukko 3. Yhteenvedo railon seuranta ja -haku menetelmistä (Scherler 2000, 6).

	TAST	AVC	Laser	Touch Sense
Seam Finder	N	N	Y	Y
Seam Tracker	Y	Y	Y	N
Adaptive capabilities	Y	N	Y	Limited
Joint types	Lap, Fillet, Butt, Ridge	Lap, Fillet	All	Lap, Fillet, Ridge
Material types	All Steels	All Steels, Aluminum	Non-reflective material	All
Min. Lap thickness	2mm	4mm	.8mm	2mm
Additional cycle time	none	none	< 1 sec per search	1.5 sec per search
Programming complexity 1-5	4	3	4	2
Maintenance requirement 1-5	4	3	3	1
Welding processes	GMAW, Pulsed GMAW, Sub Arc	GTAW, PAW	Most Welding Processes	Most Welding Processes

5 INVESTOINNIT

Investointeina pidetään menoeriä, jotka ovat kooltaan suuria, sekä siitä saatavien tulojen odotetaan muodostuvan pitkän ajan kuluessa. Yrityksen kannattavuus on pitkälti seurausta tehdyistä investoinneista. Investoinnit voidaan jakaa finanssi- ja reaali-investointeihin. Finanssi-investoinneilla tarkoitetaan muun muassa obligaatioiden ja muiden rahoitusinstrumenttien hankkimista. Reaali-investoinnit puolestaan kohdistuvat tuotannon-tekijöiden, kuten koneiden tai toimitilojen hankkimiseen. Myös markkinointikanavien luominen, tuotekehitysprosessit sekä työntekijöiden kouluttamiset nähdään usein investointeina. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2009, 195; Malmi & Ikonen 2005, 131–132.)

Investointipäätökset ovat erittäin tärkeitä yrityksen menestymisen kannalta. Investoinneilla turvataan ja parannetaan yrityksen tulevaisuuden toimintaedellytyksiä. (Vilkkumaa 2010, 216.) Investointipäätökset ovat siis kokonaisuudessaan hyvin merkittäviä yritykselle. Tehdyt investoinnit sitovat usein valtavasti yrityksen rajallisia voimavaroja, eikä jo toteutetusta investoinnista pystytä kannattavasti perääntymään. (McLaney & Atrill 2012, 542.) Näin ollen yritys investoi valittuun teknologiaan ja sitoutuu siihen pitkäksi aikaa. Tämä investoitu teknologia määrittää hyvin pitkälti siis yrityksen tulevat valmistuskustannukset. Esimerkiksi pienessä yrityksessä jo koneinvestointi on hyvin merkittävä päätös selviytymisen kannalta. (Riistamo & Jyrkkiö 1999, 295,297.) Niinpä väärä investointipäätös voi johtaa valtaviin seuraamuksiin (McLaney & Atrill 2012, 542).

Investoinnit luovat työpaikkoja, sekä säilyttävät niitä kilpaillussa ympäristössä. Ne modernisoivat ja nostavat tuotantoa, siirtävät vaarallisia ja epämiellyttäviä töitä koneille. Investoinnit luovat pohjan kasvumahdollisuuksille ja ylipäätään tukevat yhteiskuntaa. (Haverila ym. 2009, 195)

5.1 Investointilaskennat

Investointilaskennan tarkoituksena on auttaa päätöksentekijää tekemään riittävän hyviä päätöksiä. Kaikki mahdolliset investointiin liittyvät seikat pyritään muuttamaan euroiksi laskelmia varten. Laskennan tuloksena saadaan laskennallinen tieto siitä, onko suunniteltu investointi taloudellisesti kannattavaa. (Vilkkumaa 2010, 217.) Laskennat eivät kuitenkaan anna suoraa vastausta siihen tulisiko investointi toteuttaa vai ei. Investoinnit

liittyvät pitkälti tulevaisuuden ennakoimiseen, johon sisältyy aina epävarmuutta. Investointilaskennat tulisikin nähdä päätöksentekoa tukevana ja epävarmuutta vähentävänä toimena. (Malmi & Ikonen 2005, 131) Merkittävin tekijä kaikissa investointilaskelmissa on aika. Investointi tehdään tietyssä ajankohtana, jolloin tämän investoinnin odotetaan tuottavan investoijalle tuloja joskus tulevaisuudessa. Käytännössä investoinnin tulot jakautuvat kuitenkin pieneen eriin investoinnin pitoaikana, kun taas itse investointi aiheuttaa suuret menot heti alussa. (McLaney & Atrill 2012, 542.) Tämä aiheuttaa arvostusongelman, joka on otettava huomioon laskuissa. Joissain tapauksissa investointikustannukset eivät kuitenkaan kata siitä saatavaa hyötyä. Investointilaskennan ongelmia ovat vaikeus ennustaa tulevaa, tarkka mittaaminen sekä kassavirran muodostuminen pitkällä aikavälillä. (Joronen 2013, 63.) Päätöksiä tehdessä tulee käyttää hyödyksi kaikkea sitä kokemusperäistä tietoa jota yrityksellä on tai jota se voi saada ulkopuoliselta taholta (Vilkkumaa 2010, 216). Investointi voidaan ajatella useana eri vaiheena, jotka jakautuvat esimerkiksi seuraavan listan mukaisesti. Lista on koottu Haverilan ja muiden esittelemästä listasta, sekä Jorosen kurssimateriaalin investointilistan pohjalta.

1. Investointitarpeen toteaminen
2. Investointivaihtoehtojen kartoitus ja kehitys
3. Faktojen määrittely
 - a. investoinnin hankintakustannus
 - b. käyttöpääoman muutos
 - c. tuleva kassavirta (Juoksevat tulot)
 - d. lähtevä kassavirta (Juoksevat kulut)
 - e. investoinnin pitoaika
 - f. jäännösarvo
 - g. laskentakorkokanta
4. Investointilaskelmien suorittaminen yllä olevien faktojen perusteella
5. Vaihtoehtolaskelmien vertailu (eri vaihtoehtojen vertaaminen)
6. Rahoituskuvioiden suunnitleminen
7. Vaikeasti mitattavien ja arvioitavien seikkojen tarkastelu, ns. harkinnanvaraiset tekijät
8. Päätöksen tekeminen
9. Toteuttaminen ja seuranta

(Haverila ym. 2009, 196; Joronen 2013, 63.)

5.1.1 Investointitarve ja -vaihtoehtojen kartoitus

Investointitarve voi johtua useasta syystä. Tarve voi syntyä esimerkiksi koneiden vanhentumisesta, aktiivisesta kasvupolitiikasta, toimitilojen ahtaudesta, hyvästä markkinatilanteesta tai hyvästä tuloksesta. Havaittu tarve ohjaa aina kulloisenkin mahdollisen investoinnin tutkimiskohteen ja kartoituksen. (Haverila ym. 2009, 196.)

5.1.2 Investoinnin hankintakustannus

Perushankintakustannuksella tarkoitetaan kaikkia kustannuksia jotka muodostuvat pitkävaikutteisen tuotannon tekijän hankkimisesta ja toimeenpanosta (Riistamo & Jyrkkiö 1999, 305). Hankintakustannuksella tarkoitetaan siis esimerkiksi ostettavan koneen hintaa, sekä mahdollisia koneenkäyttöön liittyviä koulutuskustannuksia (Vilkkumaa 2010, 217). Robottijärjestelmässä tulee perushankintakustannukseen vielä näiden lisäksi suunnittelu-, asennus-, käyttöönotto- ja oheislaitteiden hankinnasta aiheutuneet kustannukset (Aalto ym. 1999, 110). Perushankintakustannus ajoittuu lähimmäksi päätöksentekohetkeä, jolloin myös sen kustannuksiin liittyy vähemmän epävarmuutta, kuin muihin investoinnin kuluihin ja tuottoihin (Riistamo & Jyrkkiö 1999, 305).

5.1.3 Käyttöpääoman muutos

Käyttöpääoma on rahoitus ja vaihto-omaisuus vähennettynä lyhytaikaisella vieraalla pääomalla (Riistamo & Jyrkkiö 1999, 312). Tällä tarkoitetaan siis yrityksen juoksevaan toimintaan sitoutuvaa rahamäärää (Balance Consulting 2016). Niinpä mittavissa investoinneissa, jotka kasvattavat merkittävästi toiminnan volyymia, aiheutuu yleensä kasvua juuri kassaan, myyntisaamisiin, varastoon ja ostovelkoihin, mikä puolestaan kasvattaa käyttöpääoman tarvetta. Myös tämä kasvanut käyttöpääoman tarve on pystyttävä rahoittamaan toiminnasta saatavilla tuloilla. Niinpä käyttöpääoma nähdäänkin rahoitusongelmana. Kuitenkin joidenkin investointien tavoitteena on esimerkiksi valmiste- ja puolivalmisteverastojen pienentäminen. Tällöin käyttöpääoman tarve laskee. (Riistamo & Jyrkkiö 1999, 312–313.) Laskelmissa käyttöpääoman muutos voidaan lähtökohtaisesti huomioida kahdella tavalla. Ensimmäisessä tavassa investointiin sitoutuva käyttöpääoma huomioidaan kokonaisuudessaan perushankintakustannuksiin. Tällöin investoinnin pito-

ajan lopussa toimintaan sitoutunut käyttöpääoma vapautetaan viimeisen vuoden tulokseen. Toisessa tavassa sitoutunut käyttöpääoma otetaan huomioon vuotuisena korkokustannuksena valitulla korkokannalla. (Haverila ym. 2009, 200)

5.1.4 Tuleva -ja lähtevä kassavirta

Tulevan ja lähtevän kassavirran erotusta kutsutaan nettotuotoksi. Joissain tapauksissa investoinnista aiheutuu nettotuoton sijaan kustannussäästöjä. Tällöin esimerkiksi uuden koneen hankinnan edullisuus määräytyy syntyvistä kustannussäästöistä vanhaan menetelmään verrattuna. Jotta syntyvät tuotot saadaan määritettyä, joudutaan usein tukeutumaan kysyntäennusteisiin tai markkinatutkimuksiin. Lisäksi voi olla hyödyllistä selvittää missä vaiheessa tuotteen elinkaarta investointihetkellä ollaan. Pitkällä aikavälillä juuri menekki on ratkaisevaa. (Haverila ym. 2009, 201; Riistamo & Jyrkkiö 1999, 304.)

Kustannuksien määrittelyssä on kannattavaa lähteä liikkeelle menekin ja tuottojen ennusteista, sillä niistä saadaan johdettua syntyvät kustannukset. Esimerkiksi menekkienusteen pohjalta saadaan ennakoitua syntyvät muuttuvat kustannukset. (Haverila ym. 2009, 201; Riistamo & Jyrkkiö 1999, 304.) Kustannusten arviointi on usein hankalaa ja työlästä, sillä esimerkiksi erilaiset kustannuslisät ovat usein sidottuja nykyiseen kapasiteettiin, joka puolestaan juuri saattaa muuttua investoinnin ansiosta (Riistamo & Jyrkkiö 1999, 304).

Yksittäisen investoinnin aiheuttamien tulojen ja kulujen ennustaminen ei aina ole kovinkaan helppoa. Esimerkiksi koneen päivitys uuteen versioon mahdollistaa usein uusien tuotteiden valmistamisen, joka puolestaan vaikuttaa useisiin kustannus- ja tuloeriin. Niinpä onkin kannattavaa määrittää muutokset kassavirrassa, mikäli investointi tehdään tai jätetään tekemättä. (Riistamo & Jyrkkiö 1999, 305.)

5.1.5 Investoinnin pitoaika

Investoinnin pitoaika tarkoittaa sitä arvioitua aikaa jona investointia käytetään (Jyrkkiö & Riistamo 2000, 209). Pitoaikaa määritettäessä on tärkeää osata määrittää aika riittävän todenperäisesti, koska jos pitoaika määritetään todellista pitoaikaa paljon lyhemmäksi johtaa se turhan koviin tuottovaatimuksiin ja päinvastoin (Vilkkumaa 2010, 235). Pitoajalla voidaan tarkoittaa useaa eri ajanjaksoa, kuten fyysistä ikää tai ajanjaksoa jona

kone on käyttökelpoinen suunniteltuun tehtävään (Haverila ym. 2009, 201). Kuitenkin esimerkiksi fyysinen ikä ei aina ole luonteva vaihtoehto investointilaskennan pitoajaksi, sillä laitteen fyysistä ikää voidaan jatkaa periaatteessa äärettömiin korjauksilla ja tekniikan uusimisella (Riistamo & Jyrkkiö 1999, 306). Usein investointilaskelmissa käytetäänkin ajanjaksona koneen teknistaloudellista käyttöikä. Tällä tarkoitetaan aikaa, jonka kuluessa on odotettavaa, että markkinoilla on uusi taloudellisempi vaihtoehto laitteelle. (Yritystulkki 2016; Haverila ym. 2009, 201.) Lisäksi pitoaikaa määriteltäessä tulisi kiinnittää huomiota koneen tuleviin huoltokustannuksiin, sekä korjauksien aiheuttamiin tuotannon katkoksiin (Vilkkumaa 2010, 217). Koneen pitoaikana voidaan myös pitää verottajan hyväksymää poistoaikaa koneelle. Koneiden, kaluston ja rakennusteknisten laitteiden kohdalla se on perinteisesti 4-6 vuotta. (Yritystulkki 2016.) Pitoaikaa määriteltäessä on kuitenkin oltava rehellinen, eikä perustaa laskelmia vain sallituille poistoaajoille (Malmi & Ikonen 2005, 134).

5.1.6 Jäännösarvo

Jäännösarvolla tarkoitetaan odotettua koneesta saatavaa myyntihintaa pitoajan päättyessä. Jäännösarvon huomioiminen laskelmissa riippuu paljolti investointikohteesta. Mikäli koneella on jälkimarkkina-arvoa voi se vaikuttaa investoinnin kannattavuuteen. (Haverila ym. 2009, 202.) Mikäli jäännösarvon oletetaan olevan vähintään 10 % perushankintakustannuksesta, on kannattavaa ottaa se huomioon laskelmissa (Vilkkumaa 2010, 218). Haverila ja muut (2009, 202) toteavat kuitenkin investoinnin jäännösarvo olevan usein nolla.

5.1.7 Laskentakorkokanta

Laskentakorkokantaa pidetään investoinnille asetettuna tuottovaatimuksena (Haverila ym. 2009, 200). Usein investoinnin laskentakorkokantana käytetään yrityksen keskimääräistä investointien tuottoa (Jyrkkiö & Riistamo 2000, 210). Taulukossa 4 on esitetty eräitä investoinnin tuottovaateita. Vilkkumaa (2010, 218) kuitenkin huomauttaa, että yritys valitsee aina lopulta itse käytettävän tuottovaatimuksen. Yritys ei tosin saa pääomaa ilmaiseksi vaan siitä on aina maksettava. Vieraspääoma, kuten pankkilaina, edellyttää koron maksua lainalle. Puolestaan omalla pääomalla rahoitetulle investoinnille odottavat osakkeenomistajat korvauksena rahasta osinkoja. (Jyrkkiö & Riistamo 2000, 210.)

Niinpä investoinnille on aina asetettava vähintään yleisen lainan korkotason mukainen tuottovaade (Yritystulkki 2016). Lisäksi investointeihin liittyy lähes aina riskejä, vertailun vuoksi riskittömän valtion obligaation vuosituotto on noin 2-4 %. Tuottovaade tuleekin asettaa investoinnin riskipitoisuuden mukaan. Yleensä yrityksille riittää, että tuottovaade on määritelty ”suurin piirtein” oikein, eli joidenkin prosenttien tarkkuudella. (Koski 2012, 25, 28–29.) Käytettävän laskentakoron on oltava kuitenkin realistinen yrityksen toiminnan kanssa, sillä liian korkealla tuottovaateella yritys voi hylätä järkeviä investointeja, koska investoinnit näyttävät laskennallisesti kannattamattomilta. Puolestaan liian matala laskentakorko voi johtaa useisiin kannattamattomiin investointeihin. (Vilkkumaa 2010, 218.)

Taulukko 4. Mahdollisia investointien tuottovaateita (Yritystulkki 2016).

Tärkeys	Investoinnin kuvaus	Tuottovaatimus
1.	Lakiin tai määräyksiin perustuvat investoinnit	Ei tuottovaatimusta
2.	Markkina-aseman turvaaminen investoinnein	6 %
3.	Koneiden ja laitteiden uusinta tai peruskorjaus	10-12 %
4.	Kustannusten alentaminen investoinnin avulla	12-15 %
5.	Tuottojen lisääminen investoinnilla	15-20 %
6.	Uusien markkina-alueiden valtaaminen tai uusien tuotteiden valmistaminen riskinalaisin investoinnein	+20 %

Taulukoiden ja arvioiden sijaan tuottovaade voidaan myös haluttaessa määrittää matemaattisesti. Tähän käytetään pääomakustannusten painotettua keskiarvoa (WACC = Weighted Average Cost of Capital). (Koski 2012, 30.)

$$WACC = \frac{OPO}{OPO + VPO} * i_{OPO} + \frac{VPO}{OPO + VPO} * i_{VPO} * (1 - T)$$

Kaava 3. Matemaattinen tuottovaade (Koski 2012, 30).

Jossa,

- OPO = oman pääoman määrä hankkeen rahoituksessa (tai yrityksen rahoituksessa)
- VPO = vieraan pääoman määrä hankkeen rahoituksessa (tai yrityksen rahoituksessa)
- i_{OPO} = oman pääoman tuottovaade
- i_{VPO} = vieraan pääoman tuottovaade
- T = yhteisöveroaste % / 100
- $(1-T)$ = velan korkojen verovähennyksen huomiointi

Laskentakorolla saadaan myös eri aikana muodostuvat kulut ja tulot vertailukelpoisiksi keskenään. Tämä toteutetaan diskonttaamalla ennustetut tulevaisuuden rahavirrat nykyhetkeen valitulla korkokannalla. (Haverila ym. 2009, 200–201.) Diskonttaustekijä voidaan esittää muodossa:

$$V^n = \frac{1}{(1 + i)^n}$$

Kaava 4. Diskonttaustekijä (Haverila ym. 2009, 201).

Jossa,

- i = valittu laskentakorkokanta
- n = rahavirran aika

Diskonttaustekijälle on olemassa valmiita taulukoita, joissa on huomioitu eri laskentakorkokannat sekä rahavirran ajat. Näitä voidaan käyttää esimerkiksi nettonykyarvo laskelmissa. (McLaney & Atrill 2012, 559.) Opinnäytetyön liitteenä on esitetty kyseinen taulukko.

5.1.8 Investointilaskelmien tekeminen

Tunnettuja investointilaskentamenetelmiä ovat:

- nykyarvomenetelmä
- annuiteettimenetelmä
- sisäisen korkokannan menetelmä
- yksinkertaistettu sisäisen korkokannan menetelmä
- takaisinmaksuajan menetelmä

Haverilan ja muiden (2009, 199) mukaan kolme ensimmäistä menetelmää kuuluvat niin sanottuihin peruslaskentamenetelmiin, kun taas kaksi viimeisintä yksinkertaistettuihin menetelmiin. Investoinnin kannattavuutta tulisikin arvioida vähintään kahdella edellä mainitulla menetelmällä (Yritystulkki 2016).

5.1.9 Vaihtoehtolaskelmien tekeminen

Usein yrityksillä on meneillään useita investointihankkeita joista jokainen vaatisi rahoitusta. Kuitenkaan yrityksillä ei ole varaa toteuttaa kaikkia investointisuunnitelmia. Investointilaskelmien avulla pystytäänkin vertailemaan eri investointihankkeita keskenään ja löytämään se ”kannattavin” hanke. Vaikka investointilaskentamenetelmiä on useita, niin eri vaihtoehtojen arvioinnin tarvitsee perustua samojen laskentamenetelmien käyttöön (Haverila ym. 2009, 196). Vaihtoehtojen edullisuutta vertailtaessa tulee ottaa huomioon myös investointien erot muun muassa perushankinta- ja pääomakustannuksissa. Sillä vaihtoehtoja vertailtaessa tulee ottaa huomioon tuotto, joka voidaan saada edullisemmissä vaihtoehtoissa vapaaksi jäävälle pääomalle. (Riistamo & Jyrkkiö 1999, 321.)

5.1.10 Harkinnanvaraisten tekijöiden huomiointi

Investointipäätöksiin vaikuttaa myös huomattavasti harkinnanvaraiset tekijät. Näitä tekijöitä on vaikea muuttaa laskelmien vaatimaan rahalliseen muotoon, mutta ne tulee kuitenkin ottaa huomioon päätöksenteossa. Tällaisia ovat esimerkiksi erilaiset sosiaaliset, tekniset, juridiset tai ekologiset näkökohdat. (Riistamo & Jyrkkiö 1999, 313.)

5.1.11 Rahoituskuvioiden suunnittelu

Pääsääntönä pidetään, että rahanlähteen ja – käyttötarkoituksen tulee vastata luonteeltaan toisiaan. Mikäli ryhdytään pitkäaikaiseen hankkeeseen, niin tulee se myös rahoittaa pitkävaikutteisella rahoituksella. Eli esimerkiksi tuotantokoneiston investoinnit tulee katkaa joko omalla pääomalla tai pitkäaikaisella vieraalla pääomalla. (Haverila ym. 2009, 196, 213.)

5.2 Nykyarvomenetelmä (NPV)

Nykyarvomenetelmässä kaikki investoinnista saatavat tuotot sekä menot diskontataan nykyhetken käyttämällä valittua laskentakorkoa (Haverila ym. 2009, 202). Eli kaikki investoinnin aiheuttamat positiiviset ja negatiiviset rahavirrat siirretään samaan hetkeen, huomioimalla haluttu tuottovaade (Joronen 2013, 64). Perushankintakustannusta ei kuitenkaan tarvitse diskontata sillä laskelmissa se on jo nykyhetken arvossaan. Mahdollinen jäännösarvo kuitenkin puolestaan diskontataan pitoajan päättyessä. (Vilkkumaa 2010, 228.) Nettonykyarvo huomioi siis rahan aika-arvon, jolloin eriaikaiset rahavirrat saadaan arvostettua oikein (McLaney & Atrill 2012, 560; Vilkkumaa 2010, 227). Lisäksi se ottaa huomioon investoinnin tuotto vaatimuksen (Vilkkumaa 2010, 229). Niinpä tätä menetelmää pidetään teoreettisesti oikeana tapana arvioida tuotantokoneiston hankinnan kannattavuutta (McLaney & Atrill 2012, 561; Malmi & Ikonen 2005, 133). Nettonykyarvo voidaan laskea esimerkiksi alla esitetyllä kaavalla.

$$NPV = -C_0 + \frac{C_1}{1+i} + \frac{C_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+i)^n} = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} - C_0$$

Kaava 5. Nettonykyarvo (Koski 2012, 27).

Jossa,

- $-C_0$ = alkukustannus
- $C_{1,2,3,\dots,n}$ = ennustetut nettotuotot vuosina 1,2,3,...n
- i = valittu laskentakorkokanta

Nettonykyarvo voidaan laskea myös käyttämällä valmiita diskonttaustaulukoita, joissa on huomioitu haluttu laskentakorkokanta sekä rahavirran ajat, kuten jo laskentakorkokantaa käsittelevässä kappaleessa todettiin. Diskonttaus taulukko on esitelty opinnäytetyön liitteessä 3, taulukko 1. Käyttämällä diskonttaustaulukoita voidaan nettonykyarvo määrittää seuraavasti:

$$NPV = V^1 * C_1 + V^2 * C_2 + \dots + V^n * C_n - C_0$$

Kaava 6. Nettonykyarvo diskonttaustaulukolla (Vilkkumaa 2010, 228).

Jossa,

- $V^{1,2,3,\dots,n}$ = taulukosta löytyvä diskonttaus tekijä kullekin vuodelle 1, 2,3...n, valitulla laskentakorolla
- C_0 = alkukustannus
- $C_{1,2,3,\dots,n}$ = ennustetut nettotuotot vuosina 1,2,3,...n

Mikäli investoinnin aikaansaamien nettotuottojen odotetaan olevan vuosittain samansuuruisia, niin voidaan nettonykyarvo määrittää jaksollisten maksujen nykyarvotaulukon avulla (Haverila ym. 2009, 203). Kyseinen taulukko on esitetty opinnäytetyön liitteenä 3, taulukossa 2. Tällöin nykyarvo määritetään seuraavasta kaavasta:

$$NPV = C * A_n + V^n * SV - C_0$$

Kaava 7. Nettonykyarvo, kun vuotuinen tuotto vakio.

Jossa,

- C = vuotuiset nettotulot
- A_n = jaksollisten maksujen nykyarvotekijä investointi ajalle ja laskentakorolle
- V^n = diskonttaustaulukosta löytyvä tekijä halutulle vuodelle (pitoajan päättymisen)
- SV = jäännösarvo, pääoman vapautuminen tms. pitoajan päätyttyä
- C_0 = alkukustannus

Investoinnin nykyarvo muodostuu siis siirrettyjen rahavirtojen summasta. Ainoastaan positiivisen nykyarvon saavat investoinnit ovat kannattavia ja negatiivisen nykyarvon saavat tulee laskennan mukaan hylätä. (McLaney & Atrill 2012, 558.) Mikäli vertaillaan useampaa investointikohdetta keskenään, niin suurimman netto nykyarvon saava investointi on kannattavin valinta, sillä suurempi netto nykyarvo merkitsee pääomalle parempaa tuottoa. (McLaney & Atrill 2012, 558; Riistamo & Jyrkkiö 1999, 321.)

5.3 Herkkyysanalyysi

Herkkyysanalyysin tarkoituksena on syventää yritysjohton näkemystä investoinnin toteutuksen edellytyksistä (Vilkkumaa 2010, 237). Analyysillä saadaan selvitettyä kuinka herkkiä investointi- tai kustannuslaskennan tulokset ovat eri lähtöarvojen muutoksille. Sen avulla saadaan siis selville kuinka investoinnin kannattavuus muuttuu, mikäli jokin lähtöarvo poikkeaa suunnitellusta. (Haverila ym. 2009, 206; Stenbacka 2011, 101.) Lisäksi analyysin avulla saadaan selville merkittävimmät investoinnin kannattavuuteen vaikuttavat parametrit (Stenbacka 2011, 104). Vilkkumaa (2010, 236) kuitenkin huomauttaa, että herkkyysanalyysi kannattaa tehdä vain yrityksen mittapuulla suurten ja merkittävien investointien kohdalla, koska niiden teko on melko vaivalloista. Vaikka analyysin teko ei ole aina kovin tavallista, antaa se silti erittäin arvokkaita suuntaviivoja siihen, mitkä tekijät vaativat tarkkaa huomiota, sekä mitkä voidaan puolestaan jättää huomiotta. Näin kustannustekijät saadaan järjestettyä tärkeysjärjestykseen, joka mahdollistaa tarkemman jatkotarkastelun. Kolme keskeistä herkkyysanalyysissä esiin nousevaa kysymystä ovat "Tunnetaanko merkittävimmät kustannustekijät riittävän hyvin?", "Miten tarkkoja syötetyt tiedot ovat?", "Mihin kustannustekijään tai kustannustekijöihin pitää ensin keskittyä?" (Stenbacka 2011, 101,104.)

Herkkyysanalyysiä tehdessä on syytä pohtia Vilkkumaan mukaan esimerkiksi seuraavia asioita.

- Myyntimäärät
Paljonko tuotteiden kysyntä voi realistisesti laskea ennakoidusta? Voiko tuotevariaatioiden suhteelliset osuudet muuttua merkittävästi? Osataanko asiakkaiden ostoperusteet arvioida luotettavasti?
- Myyntihinta
Mitkä tekijät voivat laskea merkittävästi tuotteista saatavaa hintaa? Kuinka

hyvin tuotteiden myyntihinta osataan ennakoida? Miten yritys voi vaikuttaa hintatasoon?

- Kustannukset

Voiko jonkin yksittäisen tuotannon tekijän hinta kallistua niin, että se tekee investoinnista kannattamattoman? Onko työvoimaa saatavissa oletetulla kulu-
tasolla? Vaikuttaako raaka-aineiden hinta investoinnin kustannuksiin?

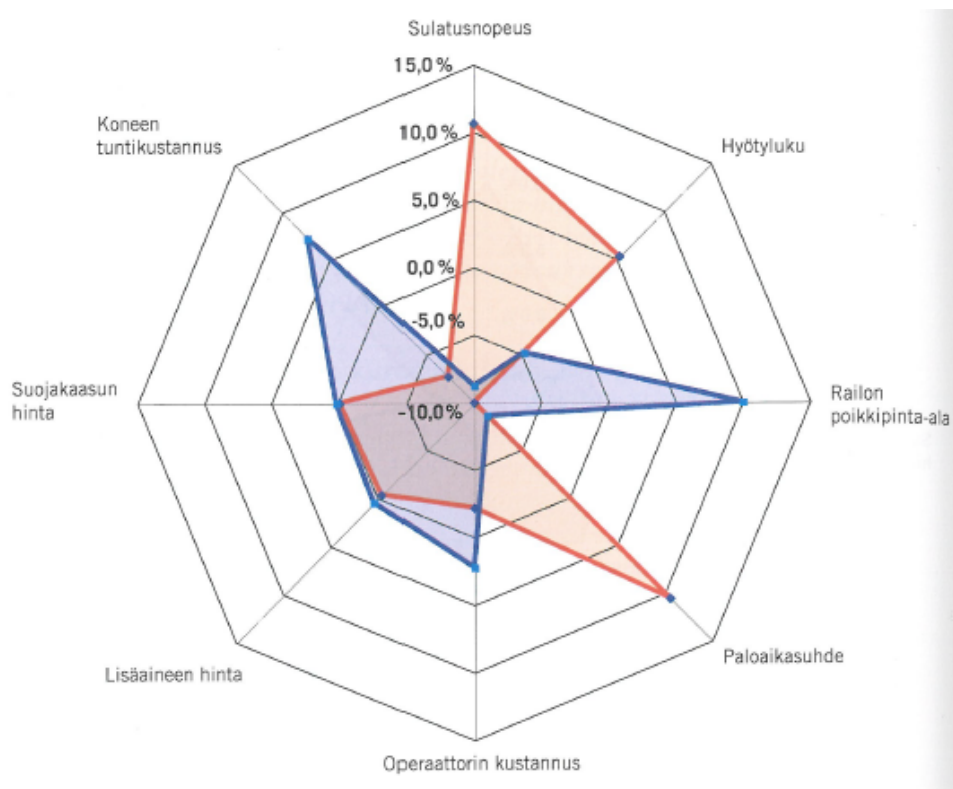
- Käyttöaika

Onko investoinnin suunniteltu käyttöikä realistinen? Entä jos käyttöikä jääkin lyhemmäksi kuin suunniteltu?

- Jäännösarvo

Mikäli jäännösarvon vaikutus on merkittävä, niin onko sen arvo realistinen?

(Vilkkumaa 2010, 236–237.)



Kuvio 3. Herkkyysanalyysi robottihitsauksessa (Stenbacka 2011, 106).

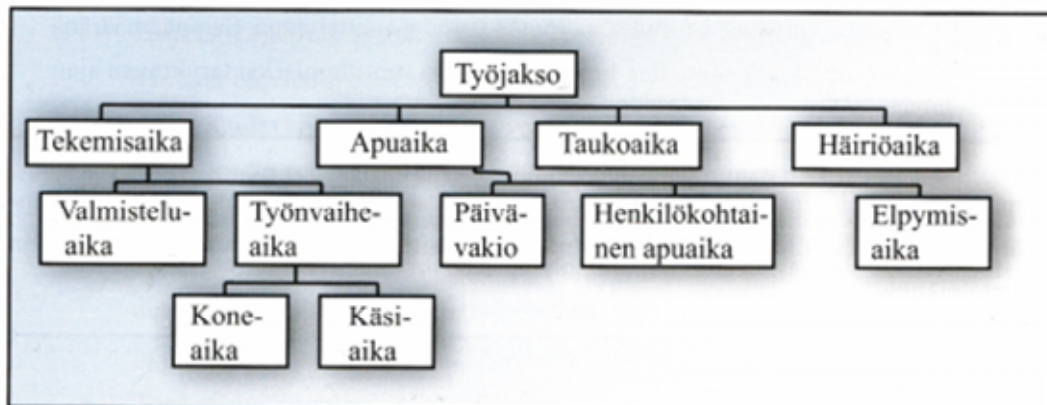
Kuviossa 3 on esitetty tandem-MAG-robottijärjestelmän hitsauskustannusten herkkyysanalyysi kokonaiskustannusasteikolla -10 - +15 prosenttiin. Kuvassa punainen suunta-
viiva osoittaa 10 prosentin vähennyksen vaikutuksen hitsauksen kokonaiskustannuksiin

prosentteissa. Vastaavasti sininen viiva kuvaa 10 prosentin lisäyksen vaikutusta kustannusten muutokseen prosentteissa. (Stenbacka 2011, 106–107.) Kuvasta nähdään esimerkiksi, että 10 prosentin lasku sulatusnopeudessa nostaa hitsauksen kokonaiskustannuksia yli 10 prosentilla. Sekä puolestaan 10 prosentin kasvu railon poikkipinta-alassa aiheuttaa 10 prosentin kasvun hitsauskustannuksissa. Koneen tuntikustannuksen lasku puolestaan 10 prosentilla laskee kokonaiskustannuksia noin 7,5 prosentilla.

6 TYÖNTUTKIMUS

Työntutkimuksen avulla saadaan parannettua tuottavuutta, työhyvinvointia, kannattavuutta, sekä työturvallisuutta (Ahokas ym. 2011, 4). Yleisesti työntutkimuksella tarkoitetaan kaikkia työn tuottavuuden kehittämiseen tarkoitettuja tutkimuksia (Haverila ym. 2009, 490). Perinteisesti työntutkimus on nähty prosessina kerätä tietoa määrätystä työstä, keskittyen teknisiin ja työprosessin ongelmiin kysymyksiä mitä, miten ja milloin avulla. Työntutkimuksen historia on hyvin pitkä, ulottuen jopa 1100eKr.-luvun Kiinaan. 1900-luvun alussa Munsterberg kehitti ensimmäisiä systemaattisia menetelmiä työn suunnitteluun, sekä työnvaatimusten määrittelyyn henkilövalintojen tekemisen perustaksi. Suuremmissa määrin tutkimuksia ja analyysejä on tehty 1940-luvulta eteenpäin. (Morgeson & Dierdorff 2011, 3,5.) Työntutkimusta voidaan soveltaa koko tuotantoon, tavallisimmillaan tutkimusta käytetään työnmittaukseen, ajankäyttö- ja menetelmätutkimuksiin (Haverila ym. 2009, 490).

Työjakso jakautuu useisiin eri aikalajeihin, jotka on esitetty kuvassa 12. Jaon tarkoituksena on helpottaa tutkimusten toteutusta ja käyttöä. Mitä tarkempaa jakoa käytetään, niin sitä tarkempia johtopäätöksiä tutkimustuloksista voidaan tehdä. (Ahokas ym. 2011, 11.)



Kuva 12. Työjakson aikalajit (Haverila ym. 2009, 491).

Tekemisajalla tarkoitetaan varsinaista tuotetta jalostaviin toimenpiteisiin kuluvaan aikaan. Ne edistävät suoraan tuotteen valmistumista. Tekemisaika jakautuu vielä valmistelu- ja työvaihe-ajaksi. Valmisteluajana toteutetut tehtävät toteutuvat vain kerran valmistetta-

vaa erää kohden, esimerkiksi koneen asetusten luominen sisältyy valmistelu-aikaan. Työ-vaiheaika puolestaan riippuu valmistettavan erän tai sarjan suuruudesta, se siis toteutuu aina jokaista valmistettavaa yksikköä kohde. Esimerkiksi vaiheaikaan kuuluvat tuotteen vaatimat työvaiheet, kappaleen käsittelyt ja tarkistukset. (Ahokas ym. 2011, 11.) Työ-vaiheaika huomioi vielä erikseen kone- ja käsiajan. Koneaika on koneen suorittamaa työtä, jonka suoritusnopeuteen työntekijä ei voi suoranaisesti vaikuttaa. Käsiaikaan puolestaan työntekijä voi omalla toiminnallaan vaikuttaa. Käsiaikaan kuuluu tehdyn työn lisäksi esimerkiksi kappaleiden syöttö työkoneelle. Apuajalla tarkoitetaan välttämättömien aputoimien toteuttamista. Päivävakioita ovat esimerkiksi koneiden vaatimat huollot ja siivoamiset. (Haverila ym. 2009, 492.) Henkilökohtainen apuaika on varattu työntekijän henkilökohtaisiin tarpeisiin, kuten ennalta sovittuihin taukoihin. Elpymisaika koostuu puolestaan työn rasittavuudesta johtuvista elpymistauoista. Tauko-aika koostuu ylimääräisistä tauoista, joita ei ole jo huomioitu edellä oleviin aikoihin. Tauko-aikaan kuuluu esimerkiksi töiden lopettaminen jo hieman ennen vuoron loppua. Häiriö-aikaan kuuluvat ennakoimattomat keskeytykset työssä, kuten koneen toimintahäiriöt, materiaalin toimituskatkokset tai laatuvirheiden korjaukset. (Ahokas ym. 2011, 12.)

6.1 Työnmittaus

Työnmittauksella tarkoitetaan tuotteen valmistusprosessin jossain työvaiheessa käytetyn työmäärän tutkimista tai koko tuotteen läpimenoprosessin aika suoritetun työmäärän tutkimista (Ahokas ym. 2011, 24). Tätä selvitettyä työmäärää voidaan käyttää muun muassa työmenetelmien vertailussa, koneinvestointien - ja layouttien suunnittelussa, tuotteiden hinnoittelussa, valmistusmenetelmien kehittämisessä, sekä urakkapalkkauksessa. (Ahokas ym. 2011, 8, 21; Haverila ym. 2009, 492).

Työnmittausmenetelmiä ovat:

- Kelloaikatutkimus

Normaaliaikatutkimusta käytetään toistuvien käsin tehtävien töiden ja työvaiheiden kohdalla. Tällöin työvaihe jaetaan pienempiin osiin, joihin kulunut aika mitataan erikseen kellolla.

Ajankäyttötutkimusta käytetään pidempikestoisten - ja vaihtelevien töiden ja työvaiheiden määrittämiseen. Tällöin työvaiheessa tehtävien töiden tarkkaa järjestystä ei tiedetä ennakkoon. Ajankäyttötutkimuksessa tapahtumat

erotellaan tekemis-, apu-, tauko- ja häiriöaikoihin, sekä tarvittaessa tutkimuksen vaatimiin pienempiin kokonaisuuksiin.

- Havainnointitutkimus

Havainnointitutkimuksessa tarkastellaan tapahtumien ja aikalajien suhteellista esiintymistä. Tutkimuksessa havainnoidaan määrääjoin meneillään oleva työtapahtuma. Työaika erotellaan tekemis-, apu-, tauko- ja häiriöaikoihin, sekä tarvittaessa tutkimuksen vaatimiin pienempiin kokonaisuuksiin. Tutkimus on nopea, helppo ja monikäyttöinen.

- Liikeaikatutkimus

Työ jaetaan hyvin pieniin osiin. Jokaiselle työn osalle on ennakkoon määritetty suorittamiseen kuluva standardiaika. Työhön kuluva kokonaisaika saadaan summaamalla kaikki muodostuneet ajat yhteen.

- Aikalaskelma

Aikalaskelmaa käytetään automaattisten koneiden työkiertoon kuluvan ajan määrittelyssä, aika lasketaan koneen suoritusarvojen pohjalta.

- Standardiaikajärjestelmä

Standardiaikajärjestelmässä työhön kuluva aika määritellään laskennallisesti. Standardiaikajärjestelmä sisältää käyttöalueen mukaisia, pienempien työnosien muodostamia aikakokonaisuuksia. Menetelmää käytetään muun muassa tarjouslaskelmissa.

- Haastattelu

Haastatteluiden avulla kerätään karkeita aika-arvioita eri työtehtäville.

(Ahokas ym. 2011, 24–25; Haverila ym. 2009, 492–493.)

Työnmittauksen sijaan työhön kulunut aika voidaan määrittää myös toiminnanohjausjärjestelmän kirjausten perusteella tai kokemusperäisesti. Usein toiminnanohjausjärjestelmästä saatava aika on riittävän tarkka, eikä erillistä työnmittausta tarvitse toteuttaa. (Ahokas ym. 2011, 21,24.)

Työmittauksen toteutus

Työmittaukset on tehtävä avoimesti ja luotettavin menetelmin. Työntekijälle, jonka suoritusta tutkitaan, on kerrottava tehtävästä tutkimuksesta, sekä sen käyttötarkoituksesta. Halutessaan työntekijällä on oikeus nähdä laadittu tutkimus. Yleensä on suositeltavaa toteuttaa menetelmätutkimus ennen varsinaista työmittausta, jotta varmistutaan menetelmän taloudellisuudesta, turvallisuudesta ja tehokkuudesta. Työmittauksen kuvaus tulee tehdä riittävällä tarkkuudella, jotta jälkeinpäin voidaan jäljittää missä tilanteeseen mittaus on toteutettu, sekä selvittää menetelmässä tapahtuneet muutokset ja niiden vaikutus tutkimustulosten käyttökelpoisuuteen. Kuvauksiin voidaan liittää esimerkiksi videoita, valokuvia tuotteesta ja työpisteestä, jotka helpottavat tutkimuksen jäljitettävyyttä jälkeinpäin. Tutkimusta varten työ jaotellaan sopivan suuruisiin osiin huomioimalla tutkimusmenetelmä sekä tutkimuksen käyttötarkoitus. Mittaus tulee suorittaa normaalissa työtilanteessa työntekijää häiritsemättä. Apuna voidaan käyttää teknisiä välineitä, kuten kameroita, videokameroita, sekä työntutkimusohjelmia. Kaikki tarpeelliset merkinnät kirjataan mittauspöytäkirjaan tai apulomakkeelle. Mittauksen jälkeen laaditaan johtopäätökset. Käyttötarkoituksen mukaan on kannattavaa tehdä erilaisia erittelyjä, jotta saatuja tuloksia voitaisiin jatkossa hyödyntää mahdollisimman tarkkaan. (Ahokas ym. 2011, 7, 19–20, 25-26.)

6.2 Menetelmä- ja ajankäyttötutkimus

Ajankäyttötutkimuksessa työaika jaetaan tehokkaaseen työhön ja eri aikahäviöihin. Tavoitteena on määrittää aikahäviöiden suuruus, sekä niiden aiheuttajat. Näitä puolestaan pyritään kehittämään menetelmätutkimuksin. Lisäksi ajankäyttötutkimuksella pyritään määrittämään apuaika, eli ajat jotka ovat välttämättömiä työn suorittamiselle, mutta jotka eivät suoranaisesti kuulu tekemisaikaan. Apuaika huomioidaan työmittauksessa yleensä prosenttiosuutena. (Haverila ym. 2009, 491.) Menetelmätutkimuksessa pyritään siis kehittämään työvaiheen taloudellisuutta, tehokkuutta, turvallisuutta, sekä ergonomiaa. Menetelmätutkimusta sovelletaan kaikkiin tuotannon tekijöihin itse tuotannosta, koneista ja laitteista aina raaka-aineisiin ja näiden yhteistoimintaan. Yksinkertaisuudessaan tutkimuksen tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman alhaiset tuotantokustannukset, parempi tuottavuus unohtamatta työn ergonomiaa ja turvallisuutta. (Ahokas ym. 2011, 6, 31.)

7 CASE – HITSAUSROBOTTISOLUN KANNATTAVUUS

Seuraavana on esitetty vaiheet, jotka jouduttiin toteuttamaan hitsausrobottisolun kannattavuuden määrittämiseksi. Aluksi käsitellään alkuselvitykset, kuten käsin- ja robottihitsausajat, jotka toimivat alkuarvoina investointilaskennassa. Tämän jälkeen esitetään robottisolu-suunnittelun kulku ja kolme erityyppistä robottisolua, joilla toteutettiin simuloinnit solun toiminnan varmistamiseksi. Seuraavana selvitetään tarjouspyynnöt suunnitelluista soluvaihtoehdoista. Tämän jälkeen käsitellään investointilaskenta, hyödyntäen robottisoluille saatuja tarjouksia. Opinnäytetyössä käsitellään yhden kannattavimman robottisolutyypin investointilaskenta. Osa selvityksistä ja laskennassa käytetyistä tiedoista on poistettu, tai muutettu fiktiivisiksi arvoiksi yrityksen avaintietojen suojelemiseksi. Esityksessä on kuitenkin pyritty kuvaamaan kaikki tarvittava tieto riittävällä tarkkuudella.

7.1 Alkuseelvitys

Alkuseelvityksessä pyrittiin selvittämään robottisolun vaatimukset, sekä alkuarvojen muodostuminen investointilaskennan toteuttamiseksi. Näiden tekijöiden määrittäminen on hyvin tärkeää, sillä itse investointilaskelma on juuri niin tarkka ja paikkansapitävä, kuin mitä on siihen käytettyjen alkuarvojen tarkkuus (Riistamo & Jyrkkiö 1999, 303). Niinpä kyseiset alkuarvot on pyritty määrittämään niin huolellisesti kuin mahdollista.

7.1.1 Hitsattavien tuotteiden määrä

Jotta robotisoinnin kannattavuutta voidaan arvioida, niin odotettava vuotuinen volyyymi tulee tietää. Tässä vaiheessa tiedettiin jo mitä tuotteita robotille kannattaisi tarjota. Yrityksen tietokannoista ei kuitenkaan suoraan löytynyt tarkkoja valmistus- tai tilausmääriä, vaan ainoastaan suuntaa antavia arvioita kunkin tuotteen menekistä. Niinpä tarkat valmistusmäärät jouduttiin hakemalla hakea. Avuksi otettiin Excel-listat, joista löytyi kaikki vuodessa valmistetut tuotteet. Tämän pohjalta tuotteet eriteltiin sopivan kokoisiin ryhmiin ja kerätiin kaikki valmistusmäärät viimeiseltä kymmeneltä vuodelta. Tämä ei kuitenkaan vielä mahdollistanut tiedon käyttöä suoraan, sillä tiedoista ei ilmennyt tuotteiden fyysisiä mittoja. Niinpä luotuun listaan eriteltiin vielä tarkemmin, että minkä kokoisella rungolla kyseinen tuote on valmistettu. Tämän jälkeen jokaiselle mahdolliselle runkovaihtoehdolle

laskettiin hitsausmetrit. Tämä toteutettiin hyödyntämällä luotuja 3D malleja, sekä teknisiä piirustuksia. Saadut runkokohtaiset hitsausmetrit jaoteltiin vielä neljään osioon, jotta robotille soveltuvat hitsausmetrit voidaan myös jälkikäteen määrittää ja tarkistaa helpommin. Taulukko 5 esittää saadun listan tyylin. Kokonaisuudessaan lista on huomattavasti tarkempi ja laajempi, sisältäen 40:n eri koneikkotyyppin tiedot, rungon tyylistä vuosittaisiin menekkeihin.

Taulukko 5. Esimerkki menekkitaulukosta.

Koneikko tyyppi	10 vuoden menekki					Hitsausmetrit/koneikko				
	Yhteensä	Ka.	Mediaani.	Minimi	Maksimi	Allas	Kansi	Seinä	Muut	yht
A	122	12,2	10	3	25	11	20	25	2	58
B	150	15	15	6	17	16	15	10	5	46
C	70	7	5	1	10	8	1	4	8	21
D	22	2,2	4	1	6	100	70	20	10	200
E	660	66	74	45	100	55	30	10	11	106

7.1.2 Tuotteiden nykyinen käsinhitsaus

Kaikki yrityksen valmistamat koneikkojen rungot hitsataan tällä hetkellä käsin. Työssä ei myöskään käytetä apuna minkäänlaisia pyörityslaitteistoja tai mekaanisia käsittelypöytiä. Tämä merkitsee sitä, että kappaleiden käännöt joudutaan toteuttamaan siltanostureiden avulla, kuva 13, mikä omalta osaltaan hankaloittaa ja hidastaa hitsaajien työtä. Koska lähes kaikki kappaleet ovat kooltaan melko kookkaita ja sisältävät useita kymmeniä metrejä hitsisaumaa, niin tarjoavat ne käsin hitsaajille töitä useiksi tunneiksi.



Kuva 13. Koneikon runko käsinhitsattavana.

Hitsaajat saavat työmääräimen työnjohdolta, jonka perusteella he aloittavat työn. Yleensä muototeräksiset tulevat hitsausosastolle sahaajalta määrämittäisiin sahattuna. Tällöin hitsaajille jää tehtäväksi levyaihioiden leikkaukset ja särmäykset. Tämän jälkeen he pääsevät aloittamaan runkojen heftaus-, eli silloitushitsauksen. Osa hitseistä joudutaan heti alkuun hitsaamaan kokonaan, jotta tuote kestää kappaleen kääntelyn siltanosturin avulla. Tuotetta hitsataan ja tarvittavia muototeräksiä lisätään hitsaajan sopivaksi katsomassa järjestyksessä, jotta hitsaustyö saataisiin toteutettua mahdollisimman mukavasti. Lisäksi hitsaaja poraa -tai polttoleikkaa tarvittavat reiät sopivaksi katsomassaan järjestyksessä. Niinpä työn toteuttamiseen ei ole olemassa tarkkoja valmistusohjeita, vaan hitsaaja saa vapaasti valita kokoamis- ja hitsausjärjestykset.

7.1.3 Robotisoinnin vaikutus esivalmisteisiin

Mikäli koneikkojen rungot päädytään hitsaamaan robotisoidusti, niin asettaa se esivalmistukselle korkeammat tarkkuusvaatimukset. Vaikka railonhaun ja – seurannan avulla saadaankin paikattua eroavaisuuksia ohjelmoidun hitsausradan ja todellisen radan sijainnissa, niin on lähtökohtaisesti kuitenkin lähes aina helpompaa ja edullisempaa kiinnittää huomiota esivalmisteiden laatuun. Tässä tapauksessa tällä tarkoitetaan sitä, että ennen robotisoitua hitsausta olevat työvaiheet tulee toteuttaa huolella. Esimerkiksi muotorautojen pituudet tulee olla oikein, jottei jouduta robotin kanssa taistelemaan ylimääräisten ilmarakojen kanssa. Sama perustelu pätee myös särmättyihin osiin. Myös silloitushitsauksessa tulee toimia huolellisesti ja paikoittaa osat tarkasti suunniteltuihin paikkoihin – vaikkakin railonhaulla saadaankin kompensoitua muutaman sentin heitot sijainneissa. Perustuen edelliseen toteamaan, niin olen sitä mieltä, että mikäli jonkin muotoraudan virheellinen pituus voidaan kompensoida silloittaessa, joko ilmaraon kasvattamisella tai vastaavan kokoisella sijainnin muutoksella, niin tulisi kompensointi toteuttaa sijaintia muuttamalla. Myös teräksen pinnan on oltava puhdas, sillä esimerkiksi ruoste voi aiheuttaa ongelmia valokaaren aikaansaamisessa. Lisäksi tuotteiden valmistus vaatisi ohjeet silloitushitsaukseen, joista tulisi ilmetä esimerkiksi käsinhitsattavat saumat, sekä silloitushitsien sijoitusperiaatteet.

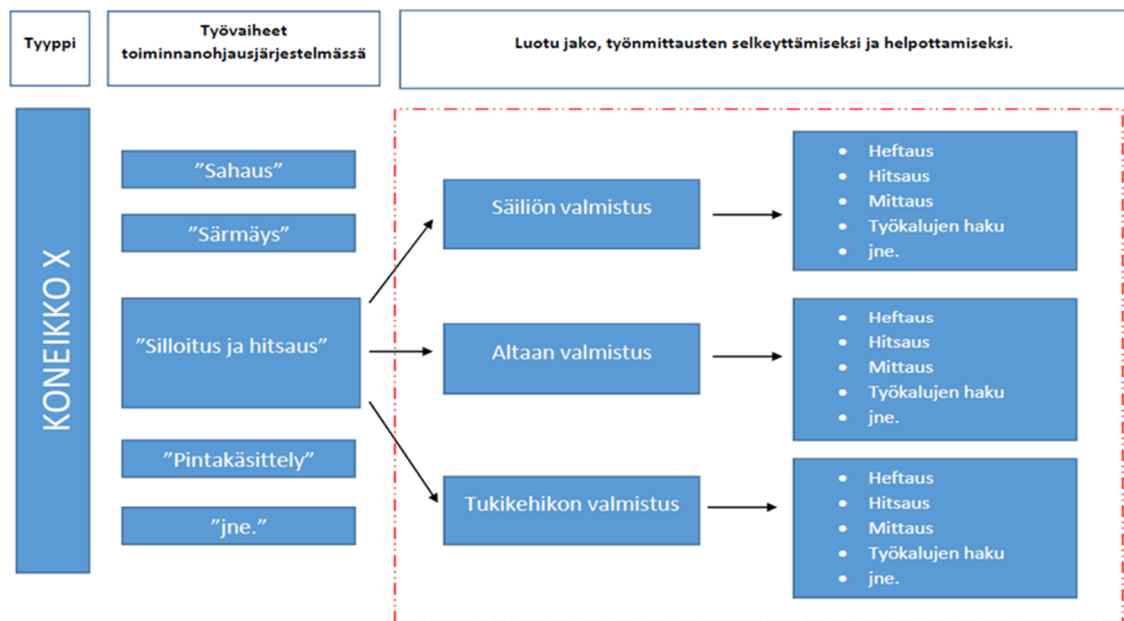
7.1.4 Työnmittaus

Työnmittauksessa tutkittiin erään rungon valmistamiseen kuluva aikaa. Työvaiheiksi valittiin muotorautojen sahaus, levyaihioiden leikkaus, särmäys ja rungon silloitus että-varsinainen hitsaus. Silloitus ja rungon hitsaus pitää sisällään myös reikien poraamista tai leikkaamista käsiplasmalla. Muotorautojen sahaukseen, levyaihioiden leikkaukseen ja särmäykseen kuluvat ajat saatiin riittävällä tarkkuudella määritettyä toiminnanohjausjärjestelmään kirjattujen toteutuneiden työtuntien perusteella. Toiminnanohjausjärjestelmän ilmoittamiin tunteihin voitiin luottaa riittävästi, koska kyseiset työvaiheet kirjataan erikseen ajanseurantajärjestelmään. Lisäksi kyseiset työvaiheet eivät ole riippuvaisia siitä, että hitsataanko rungot käsin vaiko robotisoidusti.

Sen sijaan rungon silloitus ja itse hitsaus on kirjattuna ajanseurantajärjestelmään yhtenä kokonaisuutena. Niinpä toiminnanohjausjärjestelmästä saatavat tunnit eivät erottele silloitusta tai hitsausta erikseen. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä, että runkojen hitsaaja

toteuttaa työn haluamassaan järjestyksessä, välillä reikiä poraten, heftaten tai puolestaan hitsaten. Siirryttäessä robotisoituun hitsaukseen, hoitaa hitsaaja kuitenkin enää ai-noastaan rungon silloituksen, sekä muutamia lyhyitä hitsauksia, jotta runko kestää siirron robottiasemaan.

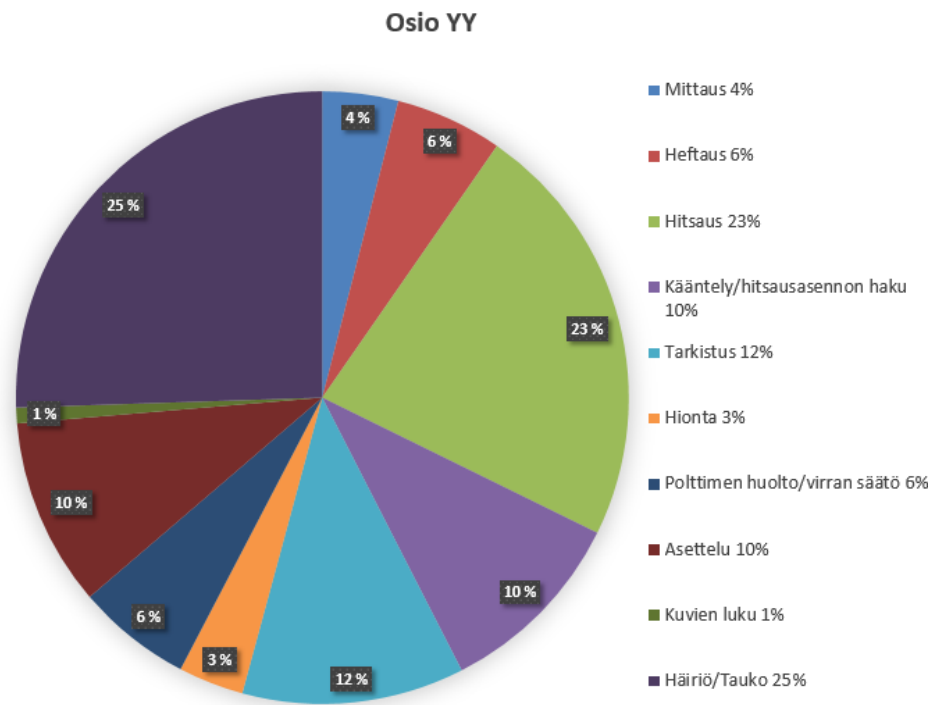
Työnmittaus toteutettiin kahdella eri menetelmällä. Ensimmäisenä toteutetussa yksinker-taisessa menetelmässä tarkkailtiin väliajoin (n.1h) työn edistymistä, sekä lopuksi haas-tateltiin työntekijää ja kysyttiin hänen mielipidettä työhön kuluneesta kokonaisajasta, sekä mahdollisista esiintyneistä poikkeamista ajankäytössä.



Kuvio 4. Runkovalmistuksen työvaiheet ja osioihin jako.

Toisena tutkimuksena toteutettiin kelloaikatutkimus. Tätä varten rungon kokonaistyö-vaihe "silloitus ja hitsaus" jaettiin vielä eri osioihin, kuten säiliön, altaan ja tukikehikon valmistukseen. Lisäksi itse mittauksessa eri osioissa kuluva aika jaettiin useaan, ha-vainnollistavaan pieneen osaan, kuten heftaukseen, hitsaukseen, mittaukseen ja niin edelleen. Kuvio 4 havainnollistaa luotua jakoa. Mittaus toteutettiin käyttäen sekuntikelloa ja kirjaamalla ajat muistiin. Lopuksi kerätyt tiedot syötettiin Exceliin, jonka avulla saatiin havainnollistava kuvio osiossa kuluneesta työstä. Taulukossa 6 on esitetty erään osion työajan jakautuminen.

Taulukko 6. Osion YY työnmittauksella määritetty työajan jakautuminen.



7.1.5 Hitsausajan määrittäminen nykyisessä käsinhitsauksessa

Tehtyjen työnmittausten avulla voitiin määrittää hitsaukseen kuluva aika, joko metriä kohden tai vaikka syötettyä lisäainekiloa kohden. Koska pääasiassa jokaisen rungon hitsit hitsataan a-mittaan 4mm alapienana, niin päätettiin hitsausaika määrittää hitsausmetriä kohden. Taulukossa 6 hitsaukseen kuluva aika, joka voidaan siirtää siis robotille, muodostuu "Hitsaus"-, "Kääntely/hitsausasennon haku"-, "Polttimen huolto/virransäätö"- , sekä tietyiltä osin myös "Häiriö/Tauko" ajasta. Häiriö ja tauko ajasta päätettiin laskea hitsausaikaan $\frac{3}{4}$, koska lepotauot muodostuvat pitkälti tauoista hitsauksessa. Niinpä robotille siirrettävä hitsausaika metriä kohden on kyseisessä osiossa:

$$H_A = \frac{X * (0,23 + 0,1 + 0,06 + (\frac{3}{4} * 0,25))}{H_M}$$

Kaava 8. Osion hitsausaika metriä kohden.

Jossa,

- H_A = Hitsausaika metriä kohden m/h
- H_M = Osiossa hitsatut metrit m
- X = Osiossa kulunut kokonaistyöaika h

Laskemalla yllä esitetty aika kaikille ”Koneikossa X” oleville osioille, niin voitiin määrittää hitsaukseen kuluva aika koko työvaihetta ”Silloitus ja hitsaus”-kohden. Tästä saatiin kokonaisuudessaan ”Koneikon X” hitsaukseen kuluva aika, josta voitiin johtaa myös hitsausnopeus m/h, kun tiedettiin koneikon hitsatut metrit. Tätä saatua aikaa m/h voidaan hyödyntää arvioitaessa hitsaukseen kuluva aika erityyppisten runkojen kohdalla. Jokaiselle runkotyypille määritettiin siis nykyiseen käsin hitsaukseen kuluva aika, rungossa olevien hitsausmetrien pohjalta.

7.1.6 Toteutuneet a-mitat

Robotisoidussa hitsauksessa päästään tasaiseen ja varmaan tunkeumaan. Tämä tarkoittaa sitä, että hitsausten a-mitat voidaan optimoida mahdollisimman pieniksi, koska tunkeuma voidaan ottaa tällöin huomioon a-mitoissa. (Stenbacka 2011, 80.) Pääsääntöisesti käsinhitsaajat hitsaavat hieman suurempaa a-mittaa kuin mitä pyydetään. Tämä johtuu yleisesti ainakin seuraavista syistä. Ensinnäkin hitsaajat lisäävät oman ”turvakertoimensa” hitsaukseen, sekä täysin tasaisen a-mitan aikaansaaminen on käsinhitsauksessa vaikeaa, koska muun muassa kuljetusnopeuden tulisi pysyä täysin vakiona tasaisen a-mitan aikaansaamiseksi. (The Welding Institute 2016.) Esimerkiksi 10 prosentin kasvu a-mitassa kasvattaa hitsin tilavuutta 20 prosentilla. Mikäli ylisuuria a-mittoja hitsataan jatkuvasti voivat ne aiheuttaa vuositasolla suuriakin lisäkustannuksia niin lisäaine- kuin kaasukustannuksiin. (Stenbacka 2011, 77–78.)

Edellä mainituista syistä tutkittiin noin 50 hitsisauman a-mitat mahdollisten ylisuurten hitsausten selvittämiseksi. Kaikki saumat oli pyydetty hitsaamaan 4mm a-mitalla. Mittaukset osoittivat, että keskimääräinen a-mitta oli tarkalleen pyydetty 4mm. Mittaustulokset vaihtelivat kuitenkin jopa 5,9mm ja 3mm välillä. Mittausten mediaani kuitenkin asettui myös tarkalleen 4mm kohdalle. Alikokoiset, 3mm a-mitat, sijaitsivat paikoissa, joissa hitsiltä ei vaadita voimien välitystä, joten pienistä a-mitoista ei tarvitse huolestua kestävyyskannalta. Mikäli mittaustuloksista karsitaan suurimmat (5,9mm) ja pienimmät (3mm) a-mitat, asettuu keskiarvo 4,2 ja mediaani 4,1mm kohdalle. Joten voitaneen todeta, että hitsatut saumat keskimäärin osuvat hyvin pyydettyihin mittoihin. Eli tämänhetkisestä käsinhitsauksesta ei voida karsia lisäaine tai kaasukustannuksia robotisoimalla hitsaus, ellei robottihitsauksella saatavaa tasaista ja varmaa tunkeumaa huomioida hitsien mitoituksessa.

7.1.7 Robotin hitsausajat

Hitsausnopeus

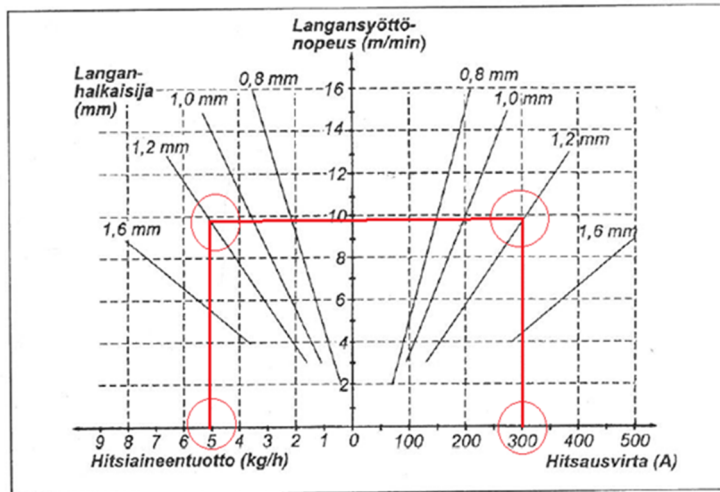
Robotin hitsausaikoja suunniteltaessa käytettiin oletuksena hitsausnopeutta 0,5m/min. Tähän päädyttiin oletuksella, että hitsausvirta liikkunee noin 300A paikkeilla, joka on realistinen arvio 1,2mm umpilangalla hitsattaessa. Nämä arvot antavat hitsiaineen tuotoksi noin 5kg/h. Kyseiset arvot voidaan lukea taulukosta 7. Kuten aiemmin on mainittu, niin pääosa runkojen hitseistä ovat 4mm pienahitsejä. Taulukko 2 antaa 4mm alapienahitsin lisäainemääräksi arvon 0,16kg/m. Jakamalla hitsiaineen tuotto 5kg/h vaadittavalla lisäainemäärällä 0,16kg/m, saadaan hitsausnopeudeksi,

$$\frac{5}{0,16} = 31,25 \text{ m/h}$$

, joka on siis 52cm/min eli noin 0,5m/min.

Taulukko 7. Hitsiaineentuotto MAG-hitsauksessa (Esab 2003, 292).

Hitsiaineentuotto MAG-hitsauksessa umpilangalla: seostamaton teräs



Oheistoiminta

Kosketukseen perustuva railonhaku vie aikaa noin 5 s/haku, kuten esitettiin railonseurantaa ja -hakua käsittelevässä kappaleessa. Yhden pienikokoisen rungon hitsaus vaatii enimmillään vajaat 60 railonhakuja, mikä tarkoittaa ajassa noin 5 minuuttia. Oletetaan railonhakujen jakautuvan runkojen kesken niin, että silmämääräisesti arvioidaan rungot kolmeen luokkaan, joista pienimmässä railonhakuun varataan 5 minuuttia, keskimmissä 10 ja monimutkaisemmissa 15 minuuttia. Samaten kappaleiden pyörittelyyn ja muuhun oheistoimintaan, kuten polttimenhuoltoyksiköllä käyntiin varataan aikaa jokaista edellä mainittua luokkaa kohden vastaavat 5, 10 ja 15 minuuttia. Runkojen kiinnittämiseen jigiin, siitä irrottamiseen ja robottiohjelman käynnistämiseen oletetaan kuluvan aikaa kokonaisuudessaan jokaisessa runkotyypissä 15 minuuttia.

Ohjelmointi

Heikki Aallon Hitsaustekniikka 1/2009 lehdessä esittämä nyrkkisääntö opettamalla ohjelmointiin kuluvaksi ajaksi on seuraava: kokeneilla ohjelmoijilla 20 minuuttia ohjelmointia vastaa yhtä hitsausminuuttia. Vastaavasti kokemattomilla kyseinen suhde voi olla jopa 1/40. (63.) Niinpä ohjelmointiin kuluvaksi ajaksi lasketaan tässä tapauksessa 0,5h/hitsausminuutti.

7.1.8 Robottihitsaus- ja käsinhitsausaikojen vertailu

Robottihitsaus- ja käsinhitsausaikojen vertailu toteutettiin, jotta saatiin selvitettyä kustannussäästöt jotka robotilla saataisiin lyhentyneen hitsausajan muodossa. Taulukko 8 esittää kustannussäästöt vuositasolla keskiarvio -, maksimi -ja minimimenekeillä. Taulukossa näkyvät käsinhitsausajat ja tuntikustannukset ovat keksittyjä, koska todellisia arvoja ei haluttu luovuttaa yrityksen ulkopuolelle. Myös taulukossa näkyvät tuotteiden menekit ovat keksittyjä. Esitetty taulukko selvittää kuitenkin sen, kuinka vuotuiset kustannussäästöt hitsauksessa saatiin määritettyä.

Taulukko 8. Esimerkki robotilla saatavista säästöistä.

	Tuote A			Tuote B			Tuote C			YHTEENSÄ
	Säiliö	Runko	Allas	Säiliö	Runko	Allas	Säiliö	----	Allas	
Hitsimetrit	25,8	10,0	19,7	13,7	7,2	17,0	13,7		17,0	
Hitsi kg	4,1	1,6	3,2	2,2	1,2	2,7	2,2	0,0	2,7	
Hitsausaika käsin (h)	129,0	20,0	39,4	68,5	14,4	34,0	68,5	0,0	34,0	
Hitsausaika robotilla (h)	0,9	0,3	0,7	0,5	0,2	0,6	0,5	0,0	0,6	
Asetus, railonhaku (h)		0,8			0,6			0,4		
Ohjelmointiaika 1/30 (h)	25,8	10	19,7	13,7	7,2	17	13,7	0	17	1 241 €
10v keskiarvo		27			9			5		
Käsin kustannukset		50 868 €			10 521 €			5 125 €		66 514 €
Robotti kustannukset		702 €			166 €			72 €		940 €
Erotus		50 166 €			10 355 €			5 053 €		67 454 €
10v maksimi		47			29			15		
Käsin kustannukset		88 548 €			33 901 €			15 375 €		137 824 €
Robotti kustannukset		1 222 €			536 €			216 €		1 974 €
Erotus		87 326 €			33 365 €			15 159 €		139 798 €
10v minimi		13			2			3		
Käsin kustannukset		24 492 €			2 338 €			3 075 €		29 905 €
Robotti kustannukset		338 €			37 €			43 €		418 €
Erotus		24 154 €			2 301 €			3 032 €		30 323 €

Alapiena 4mm	0,16	kg/m
Hitsausaika käsin 1	0,5	m/h
Hitsausaika robotilla	30	m/h
Hitsausaika käsin 2	0,2	m/h
Käsinhitsaus kustannus	10	€
Operaattori kustannus	10	€

7.2 Robottisolun suunnittelu

Seuraavana on esitetty robottisolun suunnitteluun kuuluneet vaiheet, sekä tarkemmin kolme erityyppistä robottisolua. Kyseiset solut luotiin ja simuloitiin ABB:n RobotStudiolla. Kyseinen ohjelmisto on tarkoitettu ABB:n robottien offline-ohjelmointiin. Siitä oli saatavana kuukauden ilmaislisenssi, jonka aikana solut saatiin suunniteltua ja simuloitua. Koska kyseinen ohjelmisto on vain ABB:n roboteille, niin jouduttiin simuloinnissa tekemään pieniä kompromisseja, jotta tarvittavat tiedot saatiin selvitettyksi. Tämän johtui pääasiassa siitä, ettei ABB:n valikoimissa ollut simulointiin tarvitun kokoluokan hitsausrobotteja.

7.2.1 Tuotteiden 3D mallinnus

Osa yrityksessä valmistettavista tuotteista perustuu omaan suunnitteluun ja osa tuotteista valmistetaan puolestaan asiakkaan toimittamilla teknisillä piirustuksilla. Oma suunnittelu tapahtuu samassa rakennuksessa toimivassa Tekninen Toimisto MV Oy:ssä. Omaan suunnitteluun perustuvat tuotteet on kuitenkin mallinnettu vain 2D-formaatissa, joita ei suoraan voida käyttää simulointiohjelmissa. Asiakkaan kuvilla valmistettavat tuotteet puolestaan on suunniteltu 3D:nä, joten niistä olisi teoriassa saatavilla 3D-mallit.

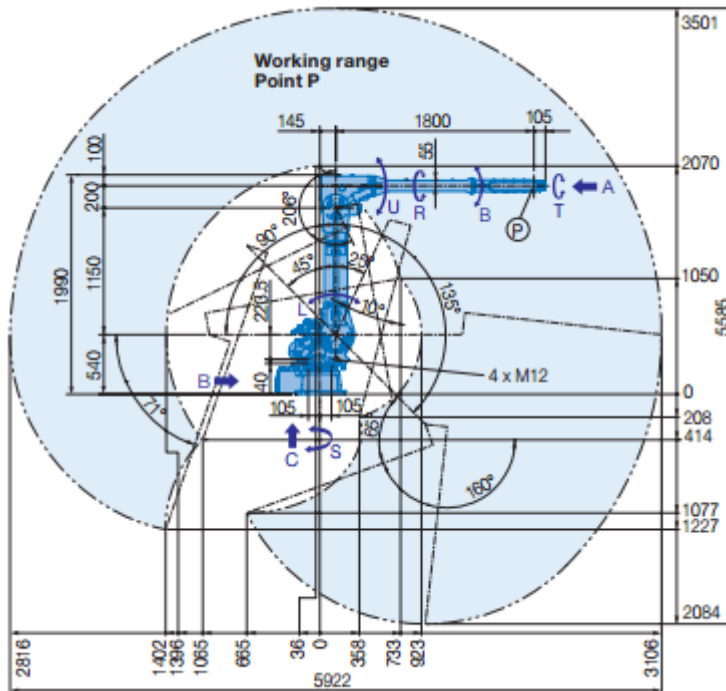
Koska simulointiohjelmisto vaatii toimiakseen 3D-mallit tuotteista, niin päätettiin osa valmistettavista tuotteista mallintaa tarvittavilta osin SolidWorksillä. Sain koululta opiskelijalisenssin kyseiseen ohjelmistoon, jonka avulla loin 3D-mallit 2D-kuvien pohjalta. Myös asiakkaan kuvilla valmistettuja tuotteita mallinnettiin itse 3D:nä, vaikka niistä olisikin todennäköisesti saatu pyytämällä 3D-mallit step.-tiedostomuodossa tai vastaavassa. SolidWorksiin ladattiin myös ”weldments-paketit”, jotka sisältävät tuotteiden mallinnuksessa vaadittavat muototeräokset, kuten muun muassa U-palkit, RHS-palkit ja kulmaraudat. Muototerästen lisäksi yrityksessä valmistettavat tuotteet koostuvat särmätyistä levyosista.

Yhteensä SolidWorksillä mallinnettiin viisi tuotetta, joista jokainen on alustavasti suunniteltu robottiasemalla hitsattaviksi. Mallinnettavat tuotteet valittiin niin, että ne kattaisivat päämuodoiltaan mahdollisimman ison osan yrityksessä valmistettavista tuotteista. Näin voitaisiin simulointi- ja layoutin luontivaiheessa olla varmoja tuotteiden sopivuudesta

suunnitellulle robottiasemalle. Tuotteiden valmistuspiirustukset saatiin Tekninen Toimisto MV:ltä ja asiakkaan kuvilla valmistettavat tuotteet jo toteutetuista projekteista. Tuotteiden mallinnuksessa ei pyritty täydelliseen tarkkuuteen, vaan pikemminkin pyrittiin luomaan riittävän tarkat mallit, jotta robottisolun suunnittelu ja -simulointi voitaisiin toteuttaa todenmukaisesti. Esimerkiksi särmättyjen osien taivutussäteisiin ei kiinnitetty liikaa huomiota, eikä hitsausrobotille tarpeetonta tietoa mallinnettu. Tuotteista jätettiin pois reikiä ja muita vastaavia tarpeettomia tietoja, lisäksi joitain pienempien osien muotoja yksinkertaistettiin todellisesta.

7.2.2 Robottisolun alkusuunnittelu

Hitsattavien kappaleiden painot yltävät noin kolmeen tuhanteen kiloon. Lisäksi kappaleet ovat kooltaan melko suuria, joten robotilta vaaditaan riittävää ulottumaa. Kappaleiden ääriimitat alkavat (leveys x pituus) 1,4 x 1,8 metristä ja jatkuvat aina 2,4 x 5,8 metriin. Robotilta vaaditaan siis kohtalaisen suurta ulottumaa. Tätä korostaa vielä osassa valmistettavia tuotteita oleva noin 1 metrin syvyinen "säiliö-rakenne". Mikäli kaikki tuotteet pyritään hitsaamaan suunnitellulla robottiasemalla, niin on työskentelyalueen siis oltava hyvin laaja. Edellä mainitut seikat käytännössä puoltaisivat gantry-järjestelmän suuntaan, tätä korostaa vielä "säiliö-rakenne". Konepaja 2016-messuilta saaman hinta-arvion pohjalta gantry-järjestelmä tulisi kuitenkin huomattavasti kalliimmaksi kuin lineaariradalla oleva malli. Kuitenkin markkinoilla on olemassa yli 3 metrin ulottumalla, kaarihitsaukseen hyvin soveltuvia pitkäkäsvartisia malleja, kuva 14. Niinpä soluja lähdettiin ensisijaisesti suunnittelemaan ajatuksella, että robotti olisi reilun 3 metrin ulottumalla varustettu, sekä liikkuisi lineaariradalla.



Kuva 14. Yaskawa MH50-20 II ulottuvuus (Motoman 2016, B).

7.2.3 ABB RobotStudio robotit

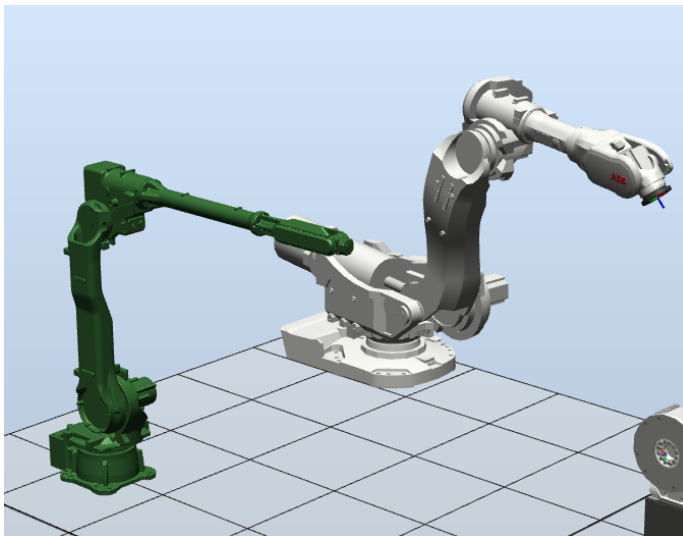
RobotStudio ja ABB:n valikoimista ei valitettavasti suoraan löytynyt kaarihitsaukseen suunniteltua 3 metrin ulottumalla varustettua robottia. Muilta suurilta robottitoimittajilta, kuten Yaskawalta, Fanucilta ja KUKalta löytyy suoraan kaarihitsaukseen suunnitellut 3 metrin ulottumalla olevat robotit (Motoman 2016, B; Fanuc 2016; KUKA 2016). Niinpä ABB:n tuotevalikoimista haettiin suurin piirtein vastaavalla ulottumalla olevaa mallia. Kuvassa 15 on ABB:n sivuilta löytyvät kaikki yli 2,5 metrin ulottumalla olevat robottimallit.

Products

Name	Payload	Reach
IRB 5400	25 kg	3.1 m;15 m
IRB 5500-22 - FlexPainter	13 kg	2.7
IRB 5500-25 - Elevated rail	13 kg	2.7
IRB 580	10 kg	2.2 m;2.6 m
IRB 660	180 kg;250 kg	3.15 m
IRB 6640	130 - 235 kg	2.55 - 3.2 m
IRB 6650S	125 kg;200 kg	3.0 m;3.5 m
IRB 6660 for press tending	130 kg	3.10 m
IRB 6660FX	40 kg	3.10 m + 1.40 m
IRB 6700	235 kg	2.65 m
IRB 760	450 kg	3.18 m
IRB 7600	150 - 500 kg	2.3 - 3.5 m
IRB 8700	550-800 kg	3.5 m, 4.2 m

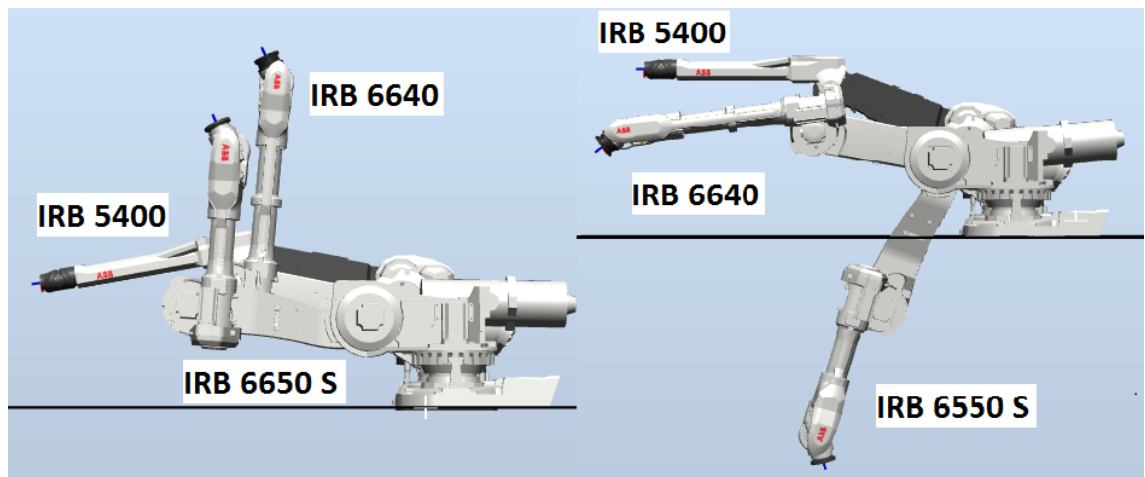
Kuva 15. RobotStudion yli 2,5 metrin ulottumalla olevat robotit (ABB 2016, C).

Käytännössä robotin kuormankantokykyyn ei tarvitsisi olla kovinkaan suuri, koska hitsauspoltin ei paljoa paina. Lisäksi kantokyvyn noustessa myös robotin käsivarren rakenne kasvaa ja tulee halkaisijaltaan suuremmaksi, kuin mitä kevyemmille kuormille suunnitelluissa malleissa. Mikä tietenkin vaikeuttaa robotin käyttöä ahtaissa väleissä. Kuvassa 16 näkyvät erot käsivarren halkaisijassa hitsaussovelluksiin suunnitellun Yaskawa MH50-20 II ja kappaleiden käsittelyyn suunnitellun ABB IRB 6650S välillä.



Kuva 16. MH50-20 ja IRB 6650S vertailu.

ABB:n roboteista 3 metrin ulottumaan yltävät IRB 5400, IRB660, IRB6640-6660, IRB 7600, IRB 8700. Jotkut näistä roboteista ovat kuitenkin hyvin rajoittuneita nivelten liikkeiltään, eivätkä vastaa lainakaan esimerkiksi kuvassa 14 esitetyn Yaskawan MH50-20 ulottumaa. Niinpä ABB:n internet sivuilta on kerätty liitteeseen 2 vain parhaimmilla ulottumilla olevat 3 metrin robottimallit. Parhaiten 3 metrin kaarihitsausrobotin ulottumaa vastasi IRB 5400 (3,1m), IRB 6640 (3,2m) ja IRB 6650 S (3m). Näille suoritettiin rinnastusten RobotStudiassa ulottuman -ja liikkeiden vertailu. Tämä on esitetty kuvassa 17, kahdesta eri ääriasennosta. IRB 5400 on suunniteltu maalaukseen ja ainakin RobotStudiassa sen nivelten liikkeet ovat hyvin rajoittuneita, niinpä kyseinen malli karsiutui lähes heti pois vaihtoehtoista. IRB 6640 toisen nivelen liike on puolestaan hyvin rajoitettu, koska liike on vain $+85^{\circ}/-65^{\circ}$ (ABB 2016, B). Yaskawan 3 metrin ulottumalla varustetussa MH50-20 II kyseisen nivelen liike on $+135^{\circ}/-90^{\circ}$, samoin kuin myös Fanucin M-710iC/12L:ssa (Motoman 2016, B; Fanuc 2016). IRB 6640:ssä tämä tarkoittaa sitä, ettei ulottuma ole hyvä vaakatason alapuolella. Tämä näkyikin oikeanpuolimmaisessa kuvassa 17. Tämä saatiin korjattua asettamalla robotti noin 20 asteen kulmaan jalustalle. Lopulta kuitenkin päädyttiin IRB 6650S-robottiin, koska kokonaisuudessaan se oli lähimpänä kaarihitsausrobotin ominaisuuksia, sekä simulointi onnistui luontevasti, koska robottia ei tarvinnut asettaa jalustalla eri kulmiin.



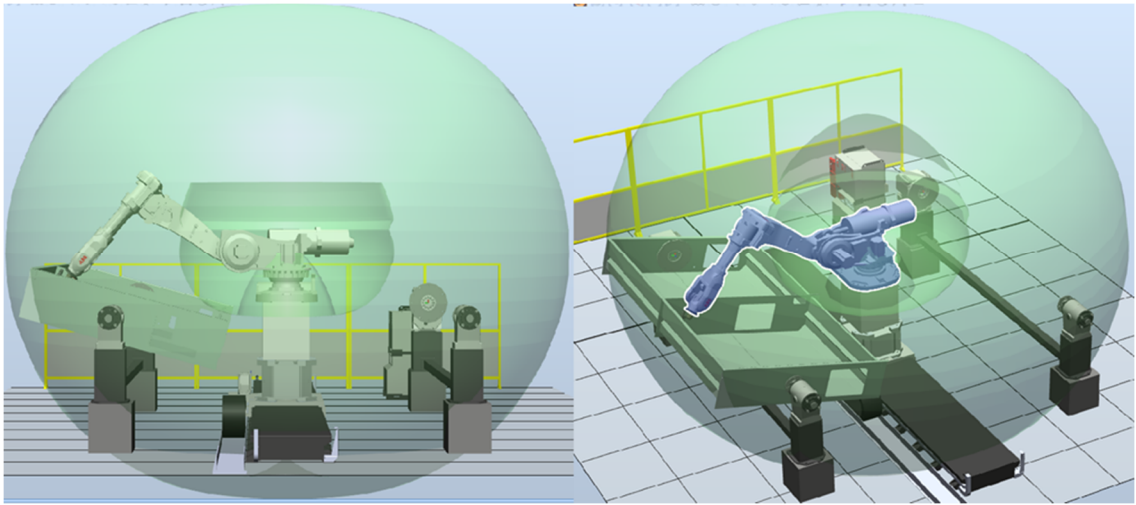
Kuva 17. ABB robottien ulottuvuusvertailu.

7.2.4 Soluvaihtoehto 1

Ensimmäistä solua lähdettiin hahmottamaan idealle, jossa olisi noin 8 metrin lineaarirata ja reilun 6 metrin grilli-käsittelypöytä. Grilli-käsittelypöydät on varustettu yhdellä vapausasteella, eli grillin välissä voidaan kappaletta pyörittää vain yhden akselin ympäri. Tällä solulla pystyttäisiin siis ainakin teoriassa hitsaamaan kaikki robotille tässä vaiheessa suunnitellut tuotteet. RobotStudion kirjastosta löytyi kuitenkin käsittelypöydäksi vain maksimissaan 4 metrin kärkivälillä varustettu grilli. Tämä ei kuitenkaan haitannut solun suunnittelua ja ulottuvuuden simulointia, sillä suurin 3D mallinnettu tuote on pituudeltaan reilut 4 metriä. Suurin robotilla hitsattavaksi suunniteltu tuote noudattaa muuten täysin pienemmän mallin dimensioita, paitsi pituudeltaan se on noin 2 metriä pidempi. Eli voidaan täysin varmasti olettaa, että se mikä toimii 4 metrin pituisella rungolla, toimii myös suuremmassa 6 metrin rungossa. Soluun valittiin edellisessä luvussa laadituin perustein robotiksi IRB 6650S. Tämä asennetaan lineaariradalle noin metrin korkuiselle jalustalle, jolloin ulottuvuus säiliörakenteen pohjalle paranee, eikä säiliön pohjan hitsaus aiheuta käsivarren törmäyksiä.

Soluun päätettiin valita kaksi käsittelylaitteistoa. Tällöin operaattori voi robotin yhä hitsatessa purkaa edellisen valmiin tuotteen pöydältä, sekä ladata seuraava hitsattava tuote valmiiksi robotille, mikä parantaa solun tuottavuutta. Mikäli käsittelypöydät asennettaisiin peräjälkeen, niin tulisi suunnitellusta asemasta hyvin pitkä. Esimerkiksi mallinnuksessa käytetty käsittelypöytä ABB IRB-L 4000 on kokonaispituudeltaan reilut 5 metriä. Tällöin vaadittava noin 6 metrin kärkivälillä varustettu grilli-käsittelypöytä veisi tilaa noin 7 metriä. Mikäli nämä asennettaisiin peräkkäin, niin tulisi solulle varata pituussuunnassa vähintään 15 metriä tilaa. Nykyiset tuotantotilat eivät kuitenkaan suosi kyseistä ratkaisua, sillä solulle kertyisi kokoa noin 4x15 metriä. Lisäksi kyseisessä ratkaisussa lineaariradalle kertyisi myös pituutta kyseiset 15 metriä, mikä luonnollisesti nostaisi lineaariradan investoinnin hintaa. Edellä olevin perusteluin päätettiin suunnitella solu niin, että lineaarirata ja robotti sijaitsevat käsittelypöytien välissä. Koska soluun suunniteltujen robottien ensimmäisen nivelen liike on +/-180° niin tämä mahdollistaa toimimisen lineaariradan molemmin puolin täysmääräisesti. Kyseinen ratkaisu on esitetty kuvassa 18. Tällöin solun vaatimat ulkoiset mitat ovat karkeasti noin 8x8 metriä. Käsittelypöydät varataan noin 3 metrin pyörityshalkaisijalle, jolloin tuotteita voidaan hyvin pyöritellä laitteilla. Halkaisijassa oleva vara antaa myös jigin suunnitteluun hieman vapauksia. Lisäksi saadaan

hieman pelivaraa, mikäli kappaleiden halkaisijat jostain syystä kasvaisivatkin, niin ei asemasta tulisi käyttökelvoton.



Kuva 18. Soluvaihtoehto 1, layout ja ulottuvuus.

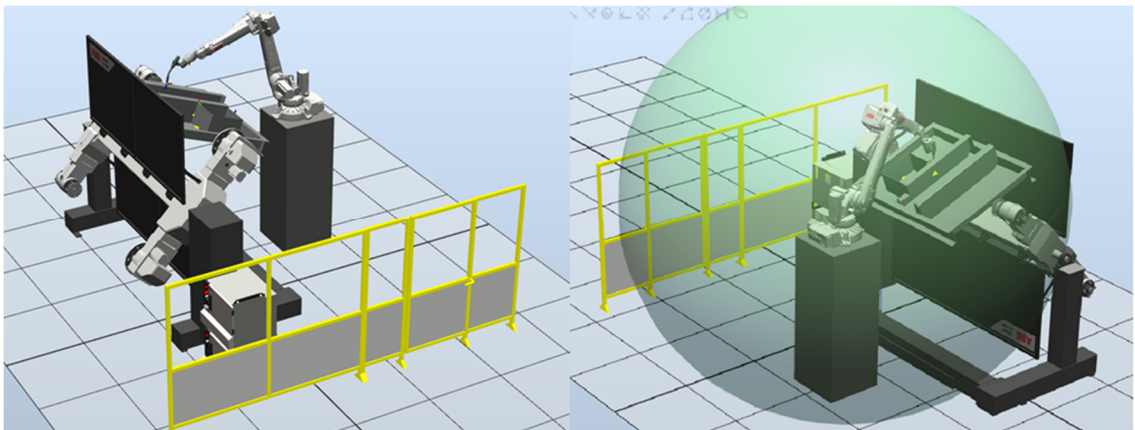
Kuvassa 18 on toteutettu yksinkertainen ulottuvuustarkastelu. Pallon mallinen muoto kuvaa robotin työkalun ulottumaa, tummemmat kohdat muodostelman sisällä puolestaan näyttävät asemat, joihin robotin nivelet eivät taivu. Kyseinen ulottuvuustarkastelu on nopea ja helppo toteuttaa. On kuitenkin tärkeää huomata, ettei tarkastelu kuitenkaan takaa ulottuvuutta jokaiseen tuotteessa olevaan saumaan, vaikka ne sijaitisivatkin pallon sisällä. Tämä johtuu siitä, että kyseinen menetelmä ei ota huomioon tuotteessa olevia muotoja, jotka voivat estää pääsyn joihinkin saumoihin. Esimerkiksi osa koneikkojen saumoista joudutaan hitsaamaan lähes pystysuoraan, mutta suurin osa saumoista päästään kuitenkin hitsaamaan joko jalkoasennossa tai alapienana. Sivulta oleva kuva havainnollistaa hyvin, kuinka robotilla yletään myös toiselle käsittelypöydälle. Esitetty ulottuvuustarkastelu on tehty robotin ollessa keskellä lineaarirataa, joten todellisuudessa robotin ulottuma on pituussuunnassa huomattavasti suurempi.

Solulla saataisiin valmistettua suuri osa koko yrityksen tuotannosta. Tämän ansiosta robotille tulisi kohtuullisesti työkuormaa, joka tukisi operaattoreiden motivaatiota ja kehittymistä. Lisäksi solu on melko joustava tuotteiden kohtalaisille muutoksille, eikä se ole riippuvainen vain yhdestä tuotteesta. Näin riskiä saadaan hajautettua laajemman tuotepohjan ansiosta. Solun koko, niin pyörytshalkaisijan, pituuden kuin myös kantokyvyn puolesta ovat melko joustavia jopa kokonaisille tuotevariaatioiden muutoksille. Tätä tukee suuri lineaarirata, joka tarjoaa robotille melko paljon joustavuutta asentojen suhteen.

Solu vie kuitenkin melkoisesti tilaa – tilaa jota ei koskaan ole liikaa. Toisaalta mahdollinen robotti-investointi vapauttaa tilaa runkotuotannosta jonkin verran.

7.2.5 Soluvaihtoehto 2

Toinen RobotStudiolla simuloitu vaihtoehto on kaksiasemainen grilli-käsittelypöytä ratkaisu, esitetty kuvassa 19. Solun suunnittelun ideana on kartoittaa pienin mahdollinen robotti-investointi. Eli kyseinen solu on suunniteltu vain kaikkein pienimmän tuotteen hitsaukseen. Kyseinen tuote vaatii noin 1,4 metrin pyörityshalkaisijan ja 2 metriä grillin kärkivälinä, käsittelypöydän kantavuudeksi riittää 750kg. Tähän kokoluokkaan löytyy jo kaksiasemaisia grilli-käsittelypöytiä jonkin verran, joten ylimääräistä räätälöintiä ei tarvitse miettiä. Esimerkiksi simuloinnissakin käytetty ABB IRBP K 1000/1400, jonka kantavuus on siis 1000kg ja pyörityshalkaisija 1,4 metriä. Simulointi ABB:llä IRB 2600ID-robotilla osoitti, että solu toimii hyvin ilman minkäänlaista lineaarirataa, tämän avulla saadaan solun investointikustannuksia laskettua kymmenillä prosenteilla.



Kuva 19. Soluvaihtoehto 2, layout ja ulottuvuus.

Kyseinen ratkaisu vaatii todella minimaalisesti tilaa, vain noin 5 x 4 metriä. Lisäksi soluun käy hyvin siis 2 metrin ulottumalla varustettu robotti, joka on kooltaan pieni ja näppärä, ja jolla päästään hyvin ahtaisiin ja pieniin väleihin. Toisaalta asemalla on mahdollista hitsata vain yhtä robotille pääasiassa suunnitelluista tuotteista. Vaikka kyseinen tuote onkin menekiltään suurin, niin asettaa se melkoisen riskin investoinnille. Sillä mikäli tuotteen leveys kasvaa muutamilla prosenteilla, niin ei pyöritys enää onnistu 1,4 metrin pyörityshalkaisijalla. Lisäksi pahimpana vaarana on, että tuotteen valmistus lakkautetaan.

Molemmat tilanteet kuitenkin johtavat siihen, että robottisolu on vaarana jäädä työttömäksi, ellei korvaavaa tuotetta löydy robotille. Kuitenkin muutamia suurempien runkojen osioita voidaan hitsata myös tällä asemalla, kuten pientä kuutiomaista säiliötä, sekä sylinterin mallista säiliötä.

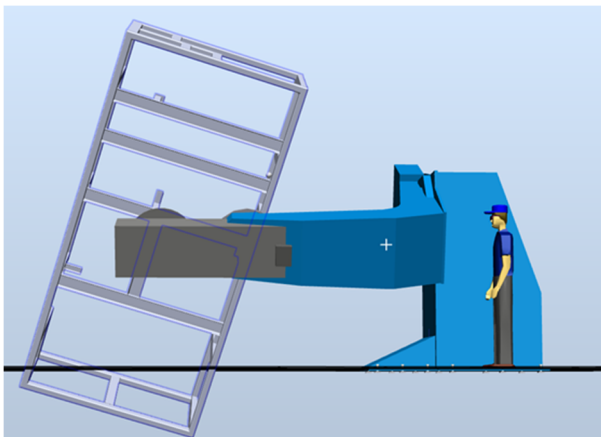
Robotilla on siis vähemmän hitsattavia tuotteita, kuin muissa ratkaisuissa. Onko työtä kuitenkaan tarpeeksi, jotta operaattorin työ pysyy mielekkäänä, sekä hän kokee kehittymismahdollisuuksia työssään. Toisaalta kyseinen investointi voi olla hyvä ratkaisu ensimmäiseksi automaatiosovellukseksi yrityksessä, koska investointihinta on kohtalainen muihin verrattuna. Kyseisellä solulla saataisiin siis hankittua pienemmällä riskillä kokemusta robotisoidusta hitsauksesta. Esimerkiksi on varmasti helpompaa suunnitella ja valmistaa vain yhtä tuotetta robotilla hitsattavaksi, kuin vaihtoehtoisesti vähintään viiden tuotteen variaatiota. Tällöin olisi helpompaa tulevaisuudessa kasvattaa mahdollisesti robotisoitua hitsausta myös muihin suurempiin tuotteisiin.

7.2.6 Soluvaihtoehto 3

Kolmantena soluvaihtoehtona päätettiin kokeilla ratkaisua, jossa käsittelylaitteena toimisi kahdella vapausasteella varustettu L-mallinen käsittelypöytä, robotin liikkuesssa lineaariradalla. Kyseinen ratkaisu kuitenkin karsii hitsattavien tuotteiden valikoimaa huomattavasti, sillä kyseiset standardi käsittelylaitteet vaativat melko pienen pyöryshalkaisijan. Kuitenkin pieninkin robotilla hitsattava tuote vaatii jo 2,4 metrin pyöryshalkaisijan – ilman minkäänlaista varausta jigille. Esimerkiksi Yaskawan valikoimista löytyy kyseisiä laitteita 1,2–3,6 metrin pyöryshalkaisijoille, ja käsittelykyvyltään aina 5000 kg asti. Toki suuremmalla pyöryshalkaisijalla olevia tuotteita voidaan varmasti räätälöidä. Ongelmaksi kuitenkin suurempien käsittelylaitteiden kohdalla tulee se, että laitetta kallisteltaessa myös hitsattava tuote siirtyy pöydän keskilinjasta melko kauas, jolloin robotin ulottuma tulee helposti ongelmaksi.

Kyseistä L-pöytä ratkaisua päätettiin kuitenkin kokeilla. Käsittelypöydältä vaaditaan noin viiden metrin pyöryshalkaisijaa ja reilun 2000 kg käsittelykykyä, jotta mahdollisimman moni tuotteista voitaisiin hitsata robotilla. Kuvassa 20 on esitetty RobotStudiolla luotu käsittelypöytä, viiden metrin pyöryshalkaisijoille. Kyseinen tuote on muokattu Yaskawan järeimmästä MT1 käsittelypöydästä. Kuten kuvasta nähdään, niin kyseinen pöytä vaatisi korkeamman jalustan, tai vaihtoehtoisesti lattiaan tulisi luoda noin metrin syvyinen

kuoppa, jotta tuotteita päästäisiin pyörittämään ilman rajoituksia asennon suhteen. Kyseinen käsittelypöytä mahdollistaa tuotteiden pyörittelyn kahdella vapausasteella, joka mahdollistaa sen, että periaatteessa kaikki hitsattavat saumat saadaan asemoitua tuot-toisimpaan jalkoasentoon. Nopeat kokeilut kuitenkin osoittivat välittömästi, ettei kolmen metrin ulottumallakaan varustettu robotti yllä riittävästi saumoihin, vaikka se asennettaisiin lineaariradalle. Kyseinen pöytä toimisi toisaalta hyvin yhdessä gantry-järjestelmän kanssa, mikäli gantryn korkeus on riittävä, mutta muutoin en näe sen käyttöä mahdolliseksi.



Kuva 20. Soluvaihtoehto 3, L-käsittelypöytä.

7.2.7 Tarjouspyynnöt

Suunnitelluista soluista lähetettiin tarjouspyynnöt seitsemään robottisovelluksia tarjoavaan yritykseen. Mahdolliseksi toimittajiksi pyrittiin saamaan mahdollisimman laaja kattaus eri robottimerkkien edustajia. Kaikkiaan nämä seitsemän tarjouspyyntöä edustavatkin vastaavaa määrää robottimerkkejä. Lisäksi tarjoukset pyrittiin suuntaamaan yrityksiin, joilta todennäköisimmin löytyy referenssejä vastaavanlaisista hitsaussovelluksista. Lisäksi itse tarjouspyynnössä pyydettiin mahdollista toimittajaa ilmoittamaan muutama referenssikohde. Lähetetty tarjouspyyntö on esitetty liitteessä 4.

Tarjous pyydettiin yhteensä viiteen ratkaisuun, joista kaksi oli gantry-järjestelmiä. Näihin kahteen gantry-ratkaisuun pyydettiin kuitenkin vain hinta-arviota, jotta voidaan varmistaa gantry-järjestelmien hintataso. Kaikki mahdolliset soluvaihtoehdot pyydettiin avaimet käteen toimituksena. Eli tarjous, sisältäen koko solun hitsauslaitteistoja myöden, asennet-

tuna ja käyttövalmiina, sekä muutama henkilö koulutettuna solun käyttöön. Hitsauslaitteisto pyydettiin mitoittamaan oletuksella, että hitsausvirta liikkuu 300A alueella, kuten on esitetty robottihitsausaikoja käsittelevässä kappaleessa. Lisäksi kaikkiin tarjouksiin pyydettiin sisällyttämään polttimen huoltoyksikkö, sekä hitsausrailon haku kosketuksella, että seuranta valoakaan läpi. Lisäksi erikseen toivottiin ilmoitettavan offline-ohjelmoinnin hinnan, sekä siitä aiheutuvat mahdolliset vuotuiset lisenssimaksut. Jatkoa ajatellen pyydettiin myös laserseurannalle hinta-arviota.

Tarjouspyynnössä kysellyt vaihtoehdot on esitelty taulukossa 9. Ensimmäinen tarjouksessa kysely ratkaisu on esitetty kuvassa 18, eli kyseessä on suunniteltu soluvaihtoehto 1. Toinen kysely ratkaisu on vastaava kuin edellä mainittu, paitsi että se on varustettu vain yhdellä käsittelypöydällä. Tällöin saadaan selvitettyä käsittelypöydän vaikutus kokonaishintaan. Tämä haluttiin tietää, koska robotin hitsausajat tulevat olemaan melko pitkiä. Tällöin kahdesta käsittelypöydästä ei välttämättä saada suurinta hyötyä irti robotin hitsausajan ollessa korkeassa suhteessa tuotteen vaihtoon ja käsittelyyn kuluvaan aikaan nähden. Yhdellä käsittelypöydällä varustettu ratkaisu edellyttää kuitenkin tuotteiden riittävän joutuisaa kiinnitystä ja irrotusta jigistä, kuin myös itse jigin kiinnitystä käsittelypöytänsäkin. Kolmas pyydetty ratkaisu on esitetty kuvassa 19, suunnitellun soluvaihtoehto 2 kohdalla. Kyseinen ratkaisu olikin odotusten mukaisesti ylivoimaisesti edullisin investointihinnan puolesta. Loput kaksi ovat siis gantry-järjestelmiä.

Kaikkiaan viiden viikon kuluessa tarjouspyyntöjen lähettämisestä oli tarjous saatu kolmelta mahdolliselta toimittajalta. Näiden tietojen pohjalta toteutettiin investointilaskennat.

Taulukko 9. Robottisolujen tarjouspyynnöt.

Ratkaisu	Robotti	Rata	Käsittelypöytä			
	Ulottuma	Tyyppi/ pituus	Käsittelykyky	Pyöritys Ø	Asemia	Tyyppi
Kuva 18	n. 3m	Lineaari 8m	3,5t Kg / 6m	3m	2	Grilli
Ei kuvaa	n. 3m	Lineaari 8m	3,5t Kg / 6m	3m	1	Grilli
Kuva 19	n. 2m	Kiinteä alusta	750 kg / 2m	1,6m	2	Grilli
Ei Kuvaa	Gantry	Gantry 8m	3,5t Kg / 6m	3m	1	Grilli
Kuva 20	Gantry	Gantry 4m	3t Kg	5m	1	L

7.3 Investointilaskenta

Vuotuiset robotti-investoinnilla saatavat tuotot laskelmissa perustuvat pääasiassa kustannussäästöihin, jotka saavutetaan investoinnilla. Nämä säästöt muodostuvat lyhentyneen hitsausajan muodossa. Kuten aiemmin mainittu, niin jokaiselle tuotteelle on määritetty nykyinen käsinhitsaamiseen kuluva aika, sekä vastavuoroisesti robotilla hitsaamiseen kuluva aika. Käsinhitsausaikojen määrittäminen on esitetty kappaleessa 7.1.5 ja robotin hitsausaika puolestaan kappaleessa 7.1.7.

Laskelmissa ei huomioida mahdollisia uusia aluevaltauksia yrityksen valmistusrepertuaarissa. Laskelmat perustuvat siis aikasäästöön nykyisellä tuotantovolyymillä, joka robotilla saadaan. Mikäli yritys siis hankkisi robotin, eikä lainkaan lisävolyymiä myyntiin, niin miten investointi voisi olla kannattava? Osa hitsaajista voitaisiin ehkä siirtää toisiin tehtäviin... Mutta kyseisessä tapauksessa robotin hankinnalla voidaan luopua vuokrahitsaajasta, sekä vähentämään suoria alihankintana ostettuiden runkojen määriä. Tällä hetkellä siis normaalityökuormassa osa rungoista tuotetaan vuokratyövoimalla, sekä suorina alihankintaostoina toisesta yrityksestä.

Investointilaskenta toteutettiin nettonykyarvomenetelmällä. Alla on selvitetty laskentaan kuuluneet vaiheet, sekä perusteltu lähtötietojen valintaa.

7.3.1 Laskennan alkuarvot

Investoinnin hankintakustannus

Hankintakustannus investoinnille saatiin solujen tarjouksista. Koska tarjoukset pyydettiin avaimet käteen toimituksena, niin sisälsivät tarjoukset itse robotin, soluun liittyvät oheislaitteet, kuin myös hitsauslaitteistotkin ja koulutukset. Hieman tarkemmin tarjouksien sisältö on selitetty tarjouspyyntöjä käsittelevässä kappaleessa. Perushankintakustannukseen tarjouksista saatujen hintojen lisäksi tulee lisätä siis vain jigisuunnittelun ja -valmistelun hinta. Kyseinen hinta saatiin eräältä yritykseltä, joka lupautui suunnittelemaan ja valmistamaan tarvittavat jigat.

Eli perushankintakustannus muodostuu

$$C_0 = X + 20\,000$$

Kaava 9. Perushankintakustannus.

Jossa,

- C_0 = Perushankintakustannus €
- X = Valitun käyttövalmiin robottisolun tarjous €
- $20\,000$ = Jigin hinta €

Käyttöpääoman muutos

Kuten aiemmin on selitetty, niin laskelmissa ei oleteta tuotantovolyymien kasvua. Niinpä myöskään käyttöpääoman tarve ei kasva investoinnin myötä. Pikemminkin käyttöpääoman tarve laskee, koska tuotteiden läpäisyajat lyhenevät. Tätä ei kuitenkaan oteta huomioon laskelmissa, koska vaikutuksen ei oleteta olevan merkittävä investointipäätökselle.

Pitoaika

Robottijärjestelmän pitoajaksi laskelmissa päätettiin 6 vuotta. Tämä on teknisensuorituskyvyn puolesta ainakin hyvin maltillinen. Ventä ja muut (2016, 12) toteavatkin robotin käyttöiän Suomessa olevan keskimäärin 15–20 vuotta.

Laskentakorkokanta

Laskentakorkokantaa arvioitaessa otettiin huomioon investoinnin luonne. Kyseisellä investoinnilla pyritään paitsi parantamaan yrityksen kannattavuutta, mutta samalla investointi takaa tulevaisuuden edellytykset ja ennen kaikkea kilpailukyvyn tulevaisuudessa. Mikäli investointeja ei ylipäätään toteutettaisi, johtaisi se tulevaisuuden toimintakyvyn rappeutumiseen. Tällöin lopputuloksena on todennäköisesti töiden menettäminen, mikäli historiallisesti saavutetuista tuottovaatimuksista pidetään edelleen tiukasti kiinni (kuten

todennäköisesti tehtiin ratkaisevissa investointilaskelmissa), koska yrityksen vanhan aikaiset valmistustekniikat eivät mahdollista vastaavia tuottovaatimuksia. Toisaalta robotteja ei ole aiemmin käytetty yrityksen tuotannossa, jolloin joudutaan tekemisiin uuden valmistustekniikan kanssa, johon ei löydy yrityksestä tällä hetkellä paljoakaan tietämystä. Edellä mainituin perustein valitaan laskentakoroksi kohtuullinen 7 prosenttia.

Tulevan ja lähtevän kassavirran erotus

Kuten on aiemmin selitetty, niin robotti-investoinnin pohjana ovat aikasäästöt, jotka muodostuvat robottihitsauksen käytöllä. Niinpä tulevaksi kassavirraksi valitaan oletetut säästöt hitsauskustannuksissa. Muodostuvien kustannussäästöjen laskennan pohjana on käytetty kerättyä tietoa viimeisen 10 vuoden menekeistä. Laskentojen ensisijaiseen toteutukseen valittiin runkokohtaisten menekkien keskiarvo viimeiseltä 10 vuodelta. Kuitenkin myös historiallisille minimi- ja maksimi menekeille laskettiin vuotuiset kustannussäästöt robotti-investoinnilla. Suoranaiset aikasäästöt saadaan siis määritettyjen käsinhitsausaikojen, sekä robotin hitsausaikojen erotuksesta. Näiden muodostuminen on selvitetty aiempaan. Näiden lisäksi tulee laskelmissa ottaa huomioon ohjelmointiin kuluva aika, ohjelmoinnin odotetaan tapahtuvan investointivuotena. Myös ohjelmointiajan muodostuminen on selvitetty robottihitsausaikoja käsittelevässä kappaleessa. Jigistä muodostuva hinta on otettu huomioon jo perushankintakustannuksessa.

Koska investoinnin pitoaika on melko pitkä, niin on laskelmissa syytä ottaa huomioon muutokset työvoimakustannuksissa. Vuosien 2008 ja 2012 välillä työvoimakustannukset nousivat Suomessa peräti 15,9 prosenttia (Talouselämä 2014). Nykyisten työsopimusneuvottelujen pohjalta odotetaan investointilaskelmissa työvoimakustannuksiin kuitenkin hyvin maltillista prosentin vuosittaista kasvua. Taulukossa 10 on esitetty säästöt, jotka robottisolulla saataisiin työvoimakustannuksissa vuosittain, perustaen arviot 10 viime vuoden keski-, maksimi-, ja minimi menekeille. Kyseiset arvot huomioivat vain säästöt suorissa hitsausaikakuluissa. Luvut eivät siis sisällä robotin ohjelmoinnista tai muusta oheistoiminnasta aiheutuvia kustannuksia. Kyseiset säästöt syntyisivät solulla, jolla onnistuu käsittelykyvyn puolesta kaikkien suunniteltujen tuotteiden hitsaus. Eli kyseessä on esimerkiksi kuvassa 18 esitetty soluvaihtoehto.

Taulukko 10. Todelliset soluvaihtoehto 1:llä saatavat vuosittaiset kustannussäästöt keskiarvo-, maksimi -ja minimi menekeillä. Työvoimakustannusten nousu (1%) huomioitu.

Vuosi	10 viime vuoden		
	Keskiarvo	Maksimi	Minimi
0	58 638 €	117 655 €	25 557 €
1	59 224 €	118 832 €	25 813 €
2	59 817 €	120 020 €	26 071 €
3	60 415 €	121 220 €	26 331 €
4	61 019 €	122 432 €	26 595 €
5	61 629 €	123 657 €	26 861 €
6	62 245 €	124 893 €	27 129 €
7	62 868 €	126 142 €	27 401 €
8	63 497 €	127 404 €	27 675 €
9	64 132 €	128 678 €	27 951 €
10	64 773 €	129 964 €	28 231 €

Työvoimakustannusten vuotuinen nousu	1,0 %
---	-------

Jäännösarvo

Robottijärjestelmän jäännösarvoksi laskennallisen pitoajan päätyttyä oletettiin olevan 20 000€. Arvio perustui yrityksen omakohtaiseen kokemukseen muiden tuotantokoneistojen myynneistä.

7.3.2 Nettonykyarvolaskenta

Robottisolu toteutettiin kannattavuuslaskenta nettonykyarvomenetelmällä. Alla on esitetty taulukko 11, jonka avulla investoinnin nettonykyarvo määritettiin valittujen lähtötietojen perusteella.

- Käsinhitsauslaitteisto 15 000€
 - Huolto 250€/a
- Robottilaitteisto xxxx€
 - Huolto 1500€/a

- Jigit 20 000€
- Ohjelmointi 17 690€
- Laskentakorko 7 %
- Pitoaika 6 v.
- Jäännösarvo 20 000€

Diskonttaustekijä on saatu liitteenä olevasta taulukosta 7 prosentin laskentakorolle. Koska kyseisessä investointilaskennassa verrataan käsin- ja robottihitsauksen kustanuseroja, niin tuli myös käsinhitsauslaitteistolle määrittää hinta. Hintaa valittaessa päädyttiin 15 000€:n. Taulukossa esitetyt huoltokustannukset ovat arvioita. Muiden laskennassa käytettyjen arvojen tarkka muodostuminen on selvitetty aiempina. Robotin hankintakustannus on piilotettu laskelmista. Jäännösarvo otetaan huomioon lisäämällä se viimeisen vuoden bruttosäästöihin.

Taulukko 11. Nettonykyarvolaskenta robottisolulle.

NETTONYKYARVO ROBOTISOLULLE 1; 10v. MENEKKI KESKIARVOLLA

Vuosi	Käsinhitsaus		Robottihitsaus					Vuotuinen erotus kuluissa		
	Kustannus		Säästöt	Kustannus				Brutto	Diskonttaus tekijä	Netto
	Perushank.	Huolto	Hitsausaika	Perushank.	Jigit	Ohjelmointi	Huolto			
0	15 000 €	0 €	0 €	20 000 €	20 000 €	17 690 €	0 €	-	1	-
1	0 €	250 €	58 638 €	0 €	0 €	0 €	1 500 €	57 388 €	0,9346	53 634 €
2	0 €	250 €	59 224 €	0 €	0 €	0 €	1 500 €	57 974 €	0,8734	50 637 €
3	0 €	250 €	59 817 €	0 €	0 €	0 €	1 500 €	58 567 €	0,8163	47 808 €
4	0 €	250 €	60 415 €	0 €	0 €	0 €	1 500 €	59 165 €	0,7629	45 137 €
5	0 €	250 €	61 019 €	0 €	0 €	0 €	1 500 €	59 769 €	0,7130	42 614 €
6	0 €	250 €	61 629 €	0 €	0 €	0 €	1 500 €	80 379 €	0,6663	53 560 €

Jäännösarvo: 20 000 €

Taulukossa ”netto” sarakkeen viimeinen rivi – investoinnin nettonykyarvo, kertoo onko investointi kannattava kyseisillä alkutiedoilla. Positiivisella arvolla investointi tulisi toteuttaa, kun taas negatiivinen arvo kertoo investoinnin olevan kannattamaton. Tässä tapauksessa investoinnille saatu nettonykyarvo on positiivinen. Joten tämän perusteella investointi tulisi toteuttaa.

7.3.3 Herkkyysanalyysi

Yllä esitetyn laskennan tuloksista tehtiin myös herkkyysanalyysi, jotta tiedetään mitkä laskennan alkuarvot vaikuttavat merkittävimmin investoinnin kannattavuuteen. Analyysissä kiinnitettiin huomiota yhdeksään laskennassa käytettyyn alkuarvoon. Nämä alkuarvot ovat käsinhitsaus- ja robotihitsausnopeus, tuntikustannus, robotin oheistoiminta, robotin ohjelmointi, perushankintakustannus, menekki, investoinnin pitoaika, sekä laskennassa käytetty korkokanta. Robotin oheistoiminnalla tarkoitetaan robotin hitsausaikoihin varattuja kappaleen kääntöjä, railonhakua, polttimen huoltoa, sekä tuotteiden latausta ja irrotusta jigistä. Jokaiselle kyseiselle arvolle toteutettiin laskelma +/-10 prosentin muutoksilla alkuperäiseen arvoon, ja verrattiin sen vaikutusta investoinnin kannattavuuteen, eli käytännössä nettonykyarvoon. Kuvio 5 luotiin näiden toteutettujen herkkyyslaskelmien pohjalta. Kuviossa sininen viiva kuvaa kyseiseen alkuarvoon tehdyn 10 prosentin lisäyksen vaikutusta investoinnin kannattavuuteen, kyseisessä tapauksessa nettonykyarvoon. Vastaavasti oranssi viiva kuvaa 10 prosentin vähennyksen vaikutusta. Mitä ulompana kuviossa ollaan, niin sitä suurempi positiivinen vaikutus 10 prosentin muutoksella on investoinnin nettonykyarvoon. Kuvioista on piilotettu akselien asteikot toimeksiantajan pyynnöstä.

Kuvion ja laskelmien perusteella merkittävimmät investoinnin kannattavuuteen vaikuttavat alkuarvot ovat tuntikustannus, sekä käsinhitsausnopeus. Lisäksi menekki vaikuttaa myös merkittävästi investoinnin kannattavuuteen. Näihin arvoihin tulee siis kiinnittää erityisesti huomiota ja varmistaa kyseisten arvojen paikkansapitävyys. Kuitenkin huomionarvoista on se, ettei laskelmien valossa 10 prosentin muutos kriittisimmässä käsinhitsausnopeudessa muuta investointia kannattamattomaksi. Eli investoinnin kääntyminen kannattamattomaksi vaatii käsinhitsausnopeuden muutosta X prosentilla (arvo poistettu), laskennassa käytetystä arvosta. Investointi voi myös kääntyä kannattamattomaksi, mikäli useampi alkuarvo poikkeaa riittävästi laskennassa käytetyistä arvoista.



Kuvio 5. Herkkyysanalyysi

Käsinhitsausnopeuden paikkansapitävyys voidaan varmistaa toteuttamalla muutamia vastaavia työnmittauksia kuin opinnäytetyössä. Tuntikustannus perustuu toimeksiantajalta saatuun arvoon. Kyseinen tuntikustannus voidaan tarvittaessa tarkistaa laskemalla se yrityksen viimeisimmistä toimintaluvuista. Menekin ennustaminen on hyvin vaikeaa, yrityksen toiminta on hyvin syklistä ja kuormitustilanteet vaihtelevat voimakkaasti vuodesta toiseen. Luotetaanko laskelmissa 10 vuoden keskiarvoihin vai tuleeko investointipäätös tehdä pessimistisimmän, eli 10 vuoden minimimenekkien mukaan. Toisaalta robotin pitoajaksi on määritetty vain kuusi vuotta. Todennäköisesti robotti tulee kuitenkin palvelemaan vähintään toiset kuusi vuotta.

8 LOPPUARVIOINTI

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää robotisoidun hitsauksen kannattavuus MV-Tuotteet Oy:n runkotuotannossa. Tehtävänannon mukaisesti hitsausrobotisolun alustava rakenne, sekä kannattavuus saatiin määritetyksi. Jotta tästä suoriuduttiin, niin tuli opinnäytetyön edetessä määrittää huomattava määrä erinäisiä alkuarvoja, kuten historialliset menekit, sekä käsinhitsausnopeudet. Nämä tiedot ovat käyttökelpoisia yritykselle myös tulevaisuudessa. Lisäksi teoriaosuus roboteista ja hitsausrobotiikasta toimii hyvänä tietolähteenä yritykselle tehtäessä lopullista päätöstä solun hankinnasta.

Tehtyjen laskelmien valossa robotisoluun kannattaisi ehdottomasti investoida. Päätöstä tehtäessä on kuitenkin syytä muistaa, että investointilaskennan tulokset ovat juuri niin tarkkoja, kuin sen suorittamiseen käytetyt alkuarvot. Niinpä yrityksen johdon tuleekin tarkastella sopivan kriittisesti itse laskelman tuloksia, kuin myös käytettyjä alkuarvoja. Suoritetun herkkyyksianalyysin avulla yrityksen johto näkee mitkä alkuarvot vaativat erityisen huomion. Mikäli yrityksen johto päätyy robotisoituun hitsaukseen, niin neuvotteluja robotisolun toimittamisesta voidaan jatkaa saatujen tarjouksien pohjalta. Tehdyn investointipäätöksen jälkeen tulee tarvittavat hitsauskiinnittimet, eli jiggit, suunnitella valitun solurakenteen mukaisesti. Kiinnittimien suunnitteluun tulee kiinnittää erityistä huomiota, jotta solun käyttö olisi mahdollisimman joustavaa. Mielestäni robotti-investointi olisi satsaus tulevaisuuteen, jonka avulla yrityksen kilpailukyky saadaan säilytettyä. Investoinnilla saataisiin merkittäviä kustannussäästöjä, jotka vaikuttaisivat positiivisesti yrityksen kannattavuuteen ja kilpailukykyyn.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyö oli erittäin mielenkiintoinen ja monialainen. Työmäärältään projekti oli kuitenkin huomattavasti ennakoitua suurempi. Kuten edellä on mainittu, niin muun muassa alkuarvojen määrittämiseen kului huomattavasti aikaa, koska tarvittuja tietoja ei suoraan löytynyt yrityksen tietokannoista. Lisäksi simuloinnissa tarvittujen 3D CAD-mallien laatimiseen kului merkittävästi aikaa. Nämä eivät suoraan liittyneet opinnäytetyön aiheeseen, mutta niiden määrittäminen oli välttämätöntä niin investointilaskennan kuin simuloinninkin suorittamiseksi.

Lopuksi haluan kiittää lähimmäisiäni ja ohjaajiani saamastani tuesta opinnäytetyö-projektin aikana. Investointilaskelmien tekeminen ei myöskään olisi ollut mahdollista ilman saatuja tarjouksia robotisoluille. Niinpä haluankin osoittaa suuret kiitokset robotisoluja tarjonneille tahoille.

LÄHTEET

Aalto H. 2009. Toimitusvarmuuden lisääminen robottihitsauksessa. Hitsaustekniikka 1/2009, 62-63.

Aalto H. Heilala J. Hirvelä T. Kuivanen R. Laitinen M. Lehtinen H. Lempiäinen J. Lylynoja A. Renfors J. Selin K. Siintoharju T. Temmes J. Tuovila T. Veikkonen M. Vihinen J. & Virtanen A. 1999. Robottiikka. Vantaa: Talentum Oyj.

Aaltonen K. & Torvinen S. 1997. Konepaja-automaatio. 1.painos. Porvoo: WSOY.

ABB 2013. Torch Service Center. Viitattu 5.3.2016 https://library.e.abb.com/public/afa4a02296514aeb91f5932a8a7000f7/PR10300EN_R1_TSC_2013.pdf.

ABB 2015. Torch Service Center. Viitattu 5.3.2016 https://library.e.abb.com/public/bda7cacc9c10dd9c125734b00360d4d/TSC_LR.pdf.

ABB 2016, B. IRB 6640 Tekniset tiedot. Viitattu 28.3.2016 <http://new.abb.com/products/robotics/fi/teollisuusrobotit/irb-6640/irb-6640-tekniset-tiedot>

ABB 2016, C. Tuotevalinta. Viitattu 20.2.2016. <http://new.abb.com/products/robotics/robot-selector>.

ABB 2016. IRB 4400 Technical Data. Viitattu 24.2.2016 <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-4400/irb-4400-data>

Abicor Binzel 2003. Common gun and torch questions for robotic arc welding. Robotics Industries Association. Case Studies. Viitattu 5.3.2016 http://www.robotics.org/content-detail.cfm?content_id=162.

AGT Robotics 2016. Images. Viitattu 24.4.2016. <http://agtrobotics.com/images/>.

Ahokas, Tiihonen, Neuvonen & Suikki 2011. Työntutkimuksen käsitteitä, menettelytapoja ja käyttökohteita. EK-SAK tuottavuustyöryhmä. Teknologiateollisuus Ry. Viitattu 30.3.2016 http://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/tyomarkkinat_kannustava_palkkaus_palkkaustapoja_tyontutkimuksen_menettelytavat.pdf.

Anandan T. M. 2014. Robots Fill the Welding Gap. Robotics Industries Association. Industry Insights. Viitattu 11.4.2016 http://www.robotics.org/content-detail.cfm?content_id=5162.

AZO Robotics 2016. Welding Robotics. Viitattu 10.4.2016 <http://www.azorobotics.com/equipment-details.aspx?EquipID=116>.

Balance Consulting 2016. Tunnuslukuopas. Viitattu 13.3.2016 <http://www.balanceconsulting.fi/tunnusluvut/kayttopaaoma>.

Berge J. 2008. A 'Case' for agility - Case New Holland keeps robotic welding flexible. Artikkel. Viitattu 24.4.2016. <http://www.thefabricator.com/article/automationrobotics/a-case-for-agility>.

British Automation & Robot Association 2016. Robot Programming Methods. Viitattu 20.2.2016 <http://www.bara.org.uk/robots/robot-programming-methods.html>.

Brumson B. 2005. Melded Together: Welding Robotics. Robotics Industries Association. Industry Insights. Viitattu 5.3.2016 http://www.robotics.org/content-detail.cfm?content_id=1068.

Delfoi 2016. Viitattu 16.12.2015 http://www.delfoi.com/web/products/delfoirobotics/fi_FI/off-line_1/ ja <http://www.delfoi.com/web/solutions/robotiikka/>

Direct Industry 2016. Laser vision system for weld seam tracking. Viitattu 20.4.2016 <http://www.directindustry.com/prod/quelltech-ug/product-64584-1608311.html>.

Esab 2003. Esab hitsauslisäaineet. Helsinki.

Eurometalli 1-2 2016. VTT:n robotti-innovaatio automatisoi lyhyet tuotantosarjat. Eurometalli 1-2, 49.

Fanuc 2016. M-710iC/12L Tekniset tiedot. Viitattu 16.5.2016 <http://www.fanuc.eu/fi/fi/robotit/robottisuodatinsivu/m-710-sarja/m-710ic-12l?returnurl=http%3A%2F%2Fwww.fanuc.eu%2Ffi%2Ffi%2Frobotit%2Frobottisuodatinsivu%23%3Ft%3Dd6ca5396dba14fe2a141ccd4de0ed490%2C8eae3d9d089e416b91dce58863eb7730>

Fassi I. Tirloni L. & Legnani G. 2012. Robot in Industrial Applications: State of the Art and Current Trends. Julkaisussa: Robotics: State of the Art and Future Trends. Toimittanut. Fassi I. & Legnani G. New York: Nova Science Publishers Inc. Viitattu 16.12.2016 <http://site.ebrary.com.ezproxy.turkuamk.fi/lib/turkuamk/reader.action?docID=10683193&ppg=9>

Finnrobotics 2016. Hitsausrobottijärjestelmä. Viitattu 20.2.2016 <http://finnrobotics.fi/tuotteet/hitsaus/>.

Groover M.P. 2014. Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing. 3. Harlow: Pearson Education

Hall E.L. Golnazarian W. 2000. Intelligent Industrial Robots. Julkaisussa: Handbook of Industrial Automation. 1. Toim. Shell R.L. & Hall E.L. New York: Marcel Dekker Inc. Viitattu 11.12.2015 <http://site.ebrary.com.ezproxy.turkuamk.fi/lib/turkuamk/reader.action?docID=10051256>

Haverila M. J. Uusi-Rauva E. Kouri I. & Miettinen A. 2009. Teollisuustalous. 6. painos. Ylöjärvi: Infacts Oy

Hiltunen E. 2006. Nordic Welding Conference 2006 – Automaatio ja robotit. Hitsaustekniikka 6/2006, 25-26.

Hiltunen E. 2009. Robottihitsaus Essenissä. Hitsaustekniikka 6/2009, 29-31.

International Federation of Robotics 2012. History of Industrial Robots. Viitattu 3.3.2016 <http://www.ifr.org/history/>

International Federation of Robotics 2016. Industrial Robot Statistics - World Robotics 2015 Industrial Robots. Viitattu 26.12.2015 <http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>.

Jyrkkiö E. & Riistamo V. 2000. Laskentatoimi päätöksenteon apuna.13., uudistettu painos. Porvoo: WS Bookwell Oy

Kauppalehti. Sitaatti. Kauppalehti 6.4.2016

Kemppi 2016, A. Hitsauksen ABC – MIG/MAG-hitsaus. Viitattu 20.2.2016. <http://www.kemppi.com>.

Kemppi 2016, B. Hitsauksen ABC – Hitsausautomaatio. Viitattu 20.2.2016. <http://www.kemppi.com>.

Kihl M. & Mononen A. 2015. Teollisuusroboteilla on monenlaisia käyttökohteita. PRO Metall 5/2015, 28-33.

Koski T. 2012. Pk-Yrityksen strateginen talousjohtaminen. Helsinki: Helsingin seudun kauppamari.

- KUKA 2016. KR 30 L16-2 Tekniset tiedot.. Viitattu 16.5.2016 http://www.kuka-robotics.com/usa/en/products/industrial_robots/medium/kr30_l16_2/start.html.
- Lamb F. 2013. Industrial Automation: Hands-On. 1. painos. USA: McGraw-Hill Professional.
- Lapinleimu L. Kauppinen V. & Torvinen S. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. 1. Porvoo: WSOY.
- Lempiäinen J. 2013. Teollisuusrobottitilasto 2012. Viitattu 29.12.2015 http://www.roboyhd.fi/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=168&Itemid=66.
- Lempiäinen J. 2015. Teollisuusrobottitilasto 2013. Viitattu 29.12.2015 http://www.roboyhd.fi/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=182&Itemid=66.
- Lepola P. & Makkonen M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Toimittanut Wacklin T. 1.painos. Helsinki: WSOY.
- Lincoln Electric 2005. Justifying Robotic Welding System Cost. Viitattu 23.2.2016 <http://www.lincolnelectric.com/en-us/support/process-and-theory/Pages/robotic-welding-cost-detail.aspx>.
- Lincoln Electric 2016, A. Reducing Your Welding Costs. Viitattu 23.2.2016 <http://www.lincolnelectric.com/en-us/support/process-and-theory/Pages/reducing-welding-costs-detail.aspx>.
- Lincoln Electric 2016, B. Robotics: Joint Sensing Technologies. Viitattu 23.2.2016 <http://www.lincolnelectric.com/en-us/support/process-and-theory/Pages/intelligent-robotic-detail.aspx>.
- Lukkari J. 1998. Hitsaustekniikka – Perusteet ja kaarihitsaus. Toimittanut Stenman P. 3., tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.
- Lukkari J. 2011. Hitsauskustannukset ja tuottavuus – Osa 2. Esab Hitsausuutiset 4/2011. Viitattu 20.3.2016 <http://www.esab.fi/fi/fi/news/hitsausuutiset/upload/hu-4-11.pdf>.
- Malmi & Ikonen. 2005. Toimitusjohtajan käsikirja. Toimittanut Reinikainen. Helsinki: Tietosanoma Oy.
- Mattila R. 2015. Robotiikka- ja automaatioteollisuus kasvaa maailmalla – Suomi jarruttaa. YLE uutiset. Viitattu 23.12.2015. http://yle.fi/uutiset/robotiikka- ja_ automaatioteollisuus_kasvaa_maailmalla_suomi_jarruttaa/7912148.
- McLaney E. & Atrill P. 2012. Accounting An Introduction. 6. painos. Harlow: Pearson Education.
- Mechatronic 2016. Programming Robot Arm - Teach a Robot by Hand-Guiding. Viitattu 11.4.2016 <http://mechatronic.me/automation/55-programming-robot-arm-teach-a-robot-by-hand-guiding>.
- Midwest Engineered Systems Inc. 2016. Modern Concepts for Implementing Robotic Arc Welding Automation. Viitattu 20.20.2016 <http://mwes.com/free-white-paper-on-robotic-arc-welding-automation/>
- Morgeson F. P. & Dierdorff E. C. 2011. Work Analysis – From Technique to Theory. Julkaisussa Handbook of Industrial and Organizational Psychology - Volume 2: Selecting and Developing Members for the Organization. Toimittanut Zedeck S. Washington DC: American Psychological Association/APA Books. Viitattu 30.3.2016 https://msu.edu/~morgeson/morgeson_dierdorff_2011.pdf.
- Motoman 2016, A. Tuoteinfo – Gantry. Viitattu 25.2.2016 http://www.motoman.co.uk/en/products/gantry/?no_cache=1.
- Motoman 2016, B. MH50-20 II Catalog. Viitattu 16.5.2016. http://www.motoman.fi/index.php?elD=tx_nawsecuredl&u=0&file=uploads/tx_catalogrobot/Flyer_Robot_MH50-

[20_II_E_05.2015_03.pdf&t=1463637318&hash=9e63309b76c01fa75ec97f7164c5aa78b1315090.](#)

Motoman 2016. Com Arc. Viitattu 19.4.2016 <https://www.motoman.com/datasheets/ComArc.pdf>.

Pemamek 2016. Robotisoidut hitausjärjestelmät. Viitattu 4.3.2016 <http://www.pemamek.com/fi/hitsausautomaatio/robottihitsaus/robotisoidut-hitsausjarjestelmat>.

Pires J.N. Loureiro A. & Böllmsjo G. 2006. Welding Robots – Technology, System Issues and Applications. 1. painos. Lontoo: Springer.

Riistamo V. & Jyrkkö E. 1999. Operatiivinen laskentatoimi. 16. painos. Porvoo: WSOY

Robert G. 2013. Teaching Welding Robots by Demonstration at FABTECH 2013! Blogikirjoitus, Robotiq. Viitattu 1.5.2016 <http://blog.robotiq.com/bid/68594/Teaching-Welding-Robots-by-Demonstration-at-FABTECH-2013>.

Robot Welding 2016. Robots for Welding. Viitattu 20.4.2016 <http://www.robotwelding.co.uk/welding-robots.html>.

Ryan R. 2012. Choosing the Right Robotic Gun for GMAW Applications. Robotics Industries Association. Industry Insights. Viitattu 5.3.2016 http://www.robotics.org/content-detail.cfm?content_id=3194.

Scherler M. 2000. Survey of Robotic Seam Tracing Systems for Arc Welding. Robotics Industries Association. Viitattu 23.2.2016 http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Tech-Papers/Survey-of-Robotic-Seam-Tracking-Systems-for-Arc-Welding/content_id/956.

SFS-EN ISO 10218-1. 2011.

Stenbacka N. 2011. Hitsaustalous ja tuottavuus. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys. Alkuperäisteos 2009. Ruotsi

Talouselämä 2014. Meilläkö liikaa liksaa? Suomen työvoimakustannukset ovat kaukana Euroopan kärjestä. Viitattu 19.4.2016 <http://www.talouselama.fi/uutiset/meillako-liikaa-likjaa-suomen-tyovoimakustannukset-ovat-kaukana-euroopan-karjesta-3468444>.

Teknologiateollisuus Ry. 2007. Menestyvä alihankkija 2015 – Visio ja toimenpiteet. Toimittanut. Hernesniemi H. Helsinki: Teknologiateollisuus Ry.

The Welding Institute 2016. Fillet welded joints - a review of the practicalities. Technical Knowledge. Viitattu. 10.4.2016 <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/fillet-welded-joints-a-review-of-the-practicalities-066/>.

Valk Welding 2013. Welding Seam Tracing With ARC Eye. Viitattu 20.4.2016 http://arc-eye.com/ArcEye/PDF/Arc_Eye_EN_2013.pdf.

Vandeloo M. 2015. Kinetiq Teaching for Robotic Welding - How to Make Robotics a More Feasible and Economical Welding Technology for Your Small to Mid-Sized Shop. Versatech. Blogikirjoitus Viitattu 11.4.2016 <http://www.versatech1.com/blog/2015/03/24/kinetiq-teaching-robotic-welding#sthash.MCqL3Ldpuf>.

Ventä O. Lehtinen H. Lempiäinen J. Kyrki V. Röning J. Siren A. & Latokartano J. 2016. Robotiikkatiekartta. Julkaisussa: Robotiikan taustaselvityksiä. Liikenne ja viestintäministeriö. Viitattu 18.2.2016 <http://www.lvm.fi/documents/20181/877203/Robotiikan+taustaselvityksi%C3%A4/b1b9f5d6-4f1f-436a-84c9-eb42da4f81e2>

Vilkumaa M. 2010. Yrityksen menestyksen mittarit. Helsinki: Yrityskirjat Oy.

YLE 2015. Robottiikka- ja automaatioteollisuus kasvaa maailmalla – Suomi jarruttaa. YLE uutiset. Viitattu 23.12.2015. http://yle.fi/uutiset/robotiikka- ja_ automaatioteollisuus_ kasvaa_ maail- malla_ suomi_ jarruttaa/7912148.

Yritystulkki 2016. Investoinnin laskenta. Viitattu 19.3.2016 <http://www.yritystulkki.fi/fi/alue/ko- sek/toimiva-yrittaja/investoinnin-laskenta/>.

Hitsauskustannusten laskentakaavoja

Hitsauslisäainekustannukset:

$$K_L = M * \frac{H_L}{N}$$

jossa,

- M = hitsiainemäärä kg/h
- H_L = lisäaineen ostohinta €/kg
- N = lisäaineen hyötyluku, (MIG/MAG 95%)

Energiakustannukset:

$$K_E = M * E * H_E$$

jossa,

- M = hitsiainemäärä kg/h
- E = energian kulutus kWh/kg
- H_E = energian ostohinta €/kWh

Suojakaasukustannukset:

$$K_S = \frac{M}{T} * V * H_S * k$$

jossa,

- M = hitsiainemäärä kg/h
- T = hitsiaineentuotto kg/h
- V = kaasun virtaus l/min, yleensä noin 0,5m³ sulatettua lisäainekiloa kohden
- H_S = kaasun ostohinta €/m³
- k = kerroin, hiilidioksidille 0,12 ja seoskaasulle 0,06

Konekustannukset:

$$K_K = \frac{M}{T} * \frac{1}{e} * H_K$$

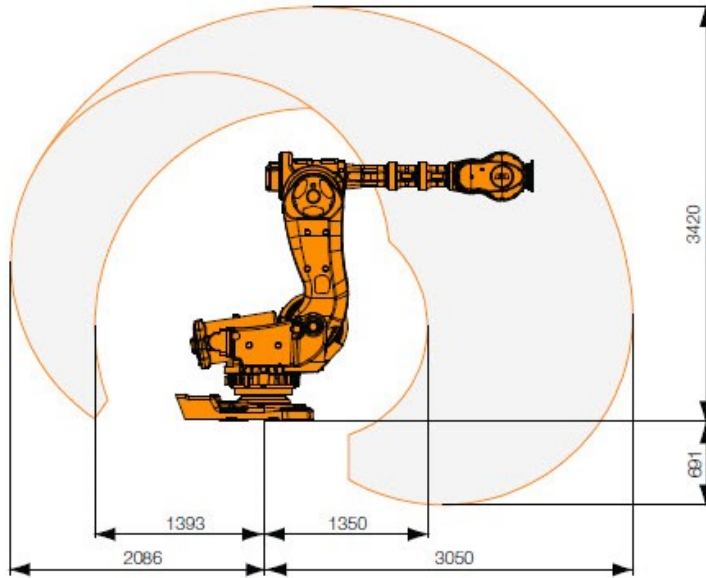
jossa,

- M = hitsiainemäärä kg/h
- T = hitsiaineentuotto kg/h
- e = paloaikasuhte
- H_K = koneen tuntihinta €/h

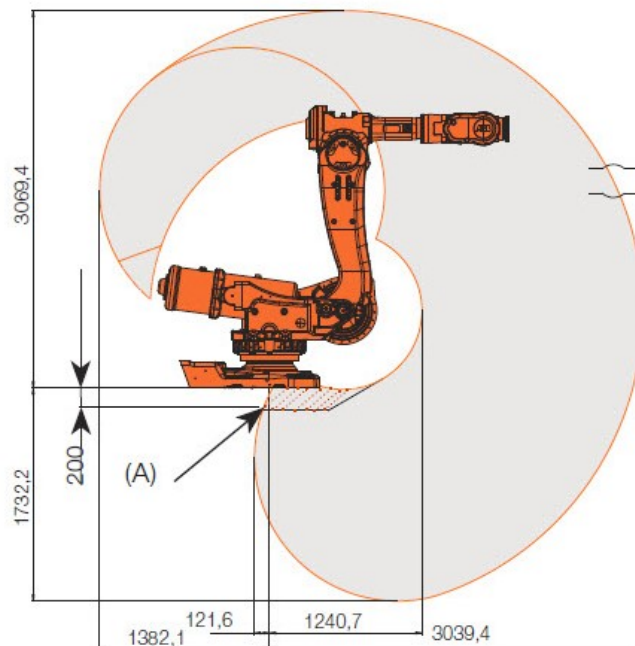
Kaikki eo. laskentakaavat ovat Lukkarin (1998) "Hitsaustekniikka – Perusteet ja kaarihitsaus" – kirjasta. Muuttujien marka (mk) yksiköt on päivitetty euroiksi (€), poiketen lähteen merkinnöistä.

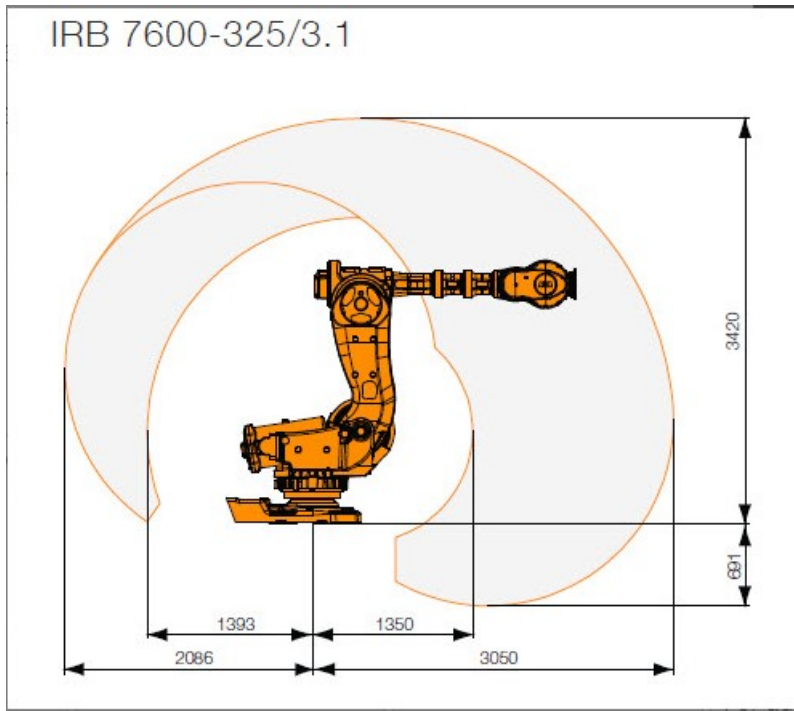
ABB-Robottien ulottumat

IRB 7600-325/3.1

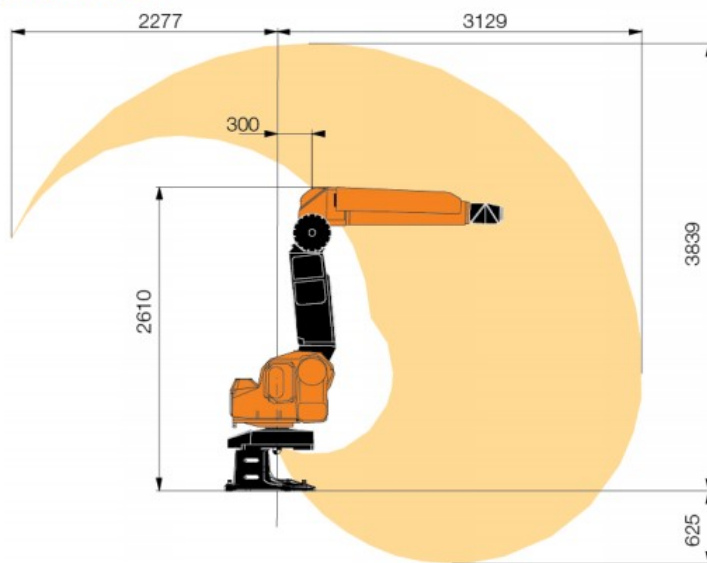


IRB6650S-200/3.0



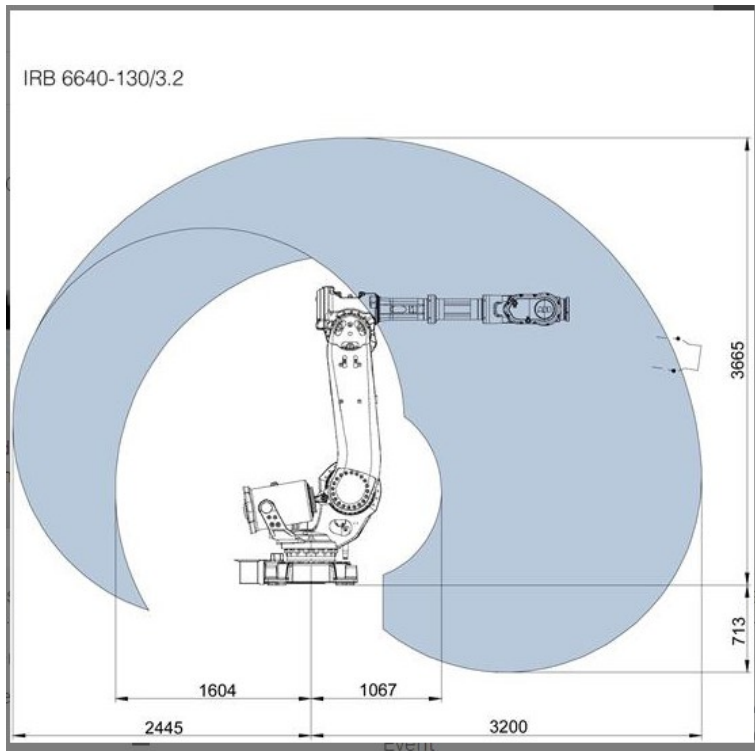


Work envelope



Physical

PR10269EN_D Copyright © ABB January 2010



Diskonttaustekijät ja maksujen nykyarvo

1. Diskonttaustekijä: $1/(1+i)^n$

	5%	6%	7%	8%	10%	12%	15%	20%
1	0,9524	0,9434	0,9346	0,9259	0,9091	0,8929	0,8696	0,8333
2	0,9070	0,8900	0,8734	0,8573	0,8264	0,7972	0,7561	0,6944
3	0,8638	0,8396	0,8163	0,7938	0,7513	0,7118	0,6573	0,5787
4	0,8227	0,7921	0,7629	0,7350	0,6830	0,6355	0,5718	0,4823
5	0,7835	0,7473	0,7130	0,6806	0,6209	0,5674	0,4972	0,4019
6	0,7462	0,7050	0,6663	0,6302	0,5645	0,5066	0,4323	0,3349
7	0,7107	0,6651	0,6228	0,5835	0,5131	0,4523	0,3759	0,2791
8	0,6768	0,6274	0,5820	0,5403	0,4665	0,4039	0,3269	0,2326
9	0,6446	0,5919	0,5439	0,5002	0,4241	0,3606	0,2843	0,1938
10	0,6139	0,5584	0,5083	0,4632	0,3855	0,3220	0,2472	0,1615
11	0,5847	0,5268	0,4750	0,4289	0,3505	0,2873	0,2149	0,1346
12	0,5568	0,4970	0,4440	0,3971	0,3186	0,2567	0,1869	0,1122
13	0,5303	0,4688	0,4150	0,3677	0,2897	0,2292	0,1625	0,0935
14	0,5051	0,4423	0,3878	0,3405	0,2633	0,2046	0,1413	0,0779
15	0,4810	0,4173	0,3624	0,3152	0,2394	0,1827	0,1229	0,0649
20	0,3769	0,3118	0,2584	0,2145	0,1486	0,1037	0,0611	0,0261
30	0,2314	0,1741	0,1314	0,0994	0,0573	0,0334	0,0151	0,0042
40	0,1420	0,0972	0,0668	0,0460	0,0221	0,0107	0,0037	0,0007
50	0,0872	0,0543	0,0339	0,0213	0,0085	0,0035	0,0009	0,0001

2. Jälkeenpäin suoritettujen jaksollisten maksujen nykyarvo: $((1+i)^n-1)/(i(1+i)^n)$

	5%	6%	7%	8%	10%	12%	15%	20%
1	0,952	0,943	0,935	0,926	0,909	0,893	0,870	0,833
2	1,859	1,833	1,808	1,783	1,736	1,690	1,626	1,528
3	2,723	2,673	2,624	2,577	2,487	2,402	2,283	2,106
4	3,546	3,465	3,387	3,312	3,170	3,037	2,855	2,589
5	4,329	4,212	4,100	3,993	3,791	3,605	3,352	2,991
6	5,076	4,917	4,767	4,623	4,355	4,111	3,785	3,326
7	5,786	5,582	5,389	5,206	4,868	4,564	4,160	3,605
8	6,463	6,210	5,971	5,747	5,335	4,968	4,487	3,837
9	7,108	6,802	6,515	6,247	5,759	5,326	4,772	4,031
10	7,722	7,360	7,024	6,710	6,144	5,650	5,019	4,193
11	8,306	7,887	7,499	7,139	6,495	5,938	5,234	4,327
12	8,863	8,384	7,943	7,536	6,814	6,194	5,421	4,439
13	9,394	8,853	8,358	7,904	7,103	6,424	5,583	4,533
14	9,899	9,295	8,745	8,244	7,367	6,628	5,724	4,611
15	10,380	9,712	9,108	8,599	7,606	6,811	5,847	4,676
20	12,462	11,470	10,594	9,818	8,514	7,469	6,259	4,870
30	15,372	13,765	12,409	11,258	9,427	8,055	6,566	4,980
40	17,159	15,046	13,332	11,925	9,779	8,244	6,642	4,997
50	18,256	15,762	13,801	12,233	9,915	8,304	6,660	5,000

(Haverila ym. 2009, taulukot.)

Robottisolun tarjouspyyntö

Tarjouspyyntö hitsausrobottisolulle

Kyrössä 5.4.2016

MV-Tuotteet Oy

Niko Virtanen

Hei,

Opiskelen Turun Ammattikorkeakoulussa Tuotantotaloutta neljättä vuotta, ja nyt onkin aika suorittaa viimeinen loppurivistus opinnäytetyön parissa. Opinnäytetyössäni selvitän robotisoidun MAG-hitsauksen kannattavuutta MV-Tuotteet Oy:n tuotantoon. Toivoisinkin saavani Teiltä alustavan tarjouksen muutamaa mahdolliseen layoutratkaisuun. Saadun tarjouksen perusteella suoritan investointilaskennat kyseisille ratkaisuille, jonka avulla saan opinnäytetyöni päätökseen. Mikäli suorittamani laskennan tulokset osoittavat investoinnin olevan kannattava, niin tullaan projektia jatkamaan eteenpäin ja toteuttamaan kyseinen investointi. Olen kokeillut eri layout-ratkaisuja ABB:n RobotStudiolla, jonka perusteella olen laatinut kyselyn. Esitetyt ratkaisut ovat siis omia kokeilujani, joten mikäli koette toisenlaisen ratkaisun olevan parempi, niin tarjotkaa myös tämä Teidän esittämäne ratkaisu.

Liitteenä on muutama kuva, josta näkee valmistettavia tuotteita. Tuotteiden kuvat ovat luottamuksellisia, eikä niitä saa luovuttaa kolmansille osapuolille. Pienin robotille suunniteltu tuote on noin 1,4 x 1,8 x 0,5 metriä ja 400kg, suurin puolestaan 5,7 x 2,4 x 1 metriä ja 3000 kg. Osa tuotteista valmistetaan lähes kokonaan RHS ja U-palkeista, jolloin hitsattavia saumoja on paljon, mutta ne ovat melko lyhyitä. Suurin palkkirakenteinen runko on esitetty yhdessä liitteistä. Pääsääntöisesti kaikki tuotteiden saumat hitsataan ympäri, a-mitalla 4mm, joten hitsausvirta liikkunee robotilla alueella 300A +/- (?).

Toivoisin siis tarjousta erikseen jokaiseen alla olevaan positioon (1-5). Positioihin 4 ja 5 voitte vain ilmoittaa hintahaarukan, jotta saan vain kartoitettua gantry-järjestelmän hinnan. Kaikki tarjoukset "avaimet käteen"-periaatteella. Eli sisältäen koko solun hitsauslaitteistoja myöden, asennettuna ja käyttövalmiina, sekä muutama henkilö koulutettuna solun käyttöön. Kaikkiin positioihin kuuluu muun muassa polttimen huoltoyksikkö, sekä hitsausrillon haku kosketuksella, että seuranta valokaaren läpi. Erikseen voi mainita laserhaun ja -seurannan hinnan. Lisäksi toivoisin erikseen mainittuna offline-ohjelmoinnin hinnan ja siitä aiheutuvat mahdolliset vuotuiset lisenssimaksut. Ilmoittakaa myös muutama referenssinne vastaavanlaisista kohteista.

Mikäli tarvitsette lisätietoja tarjousten tekoon, niin olkaa yhteydessä.

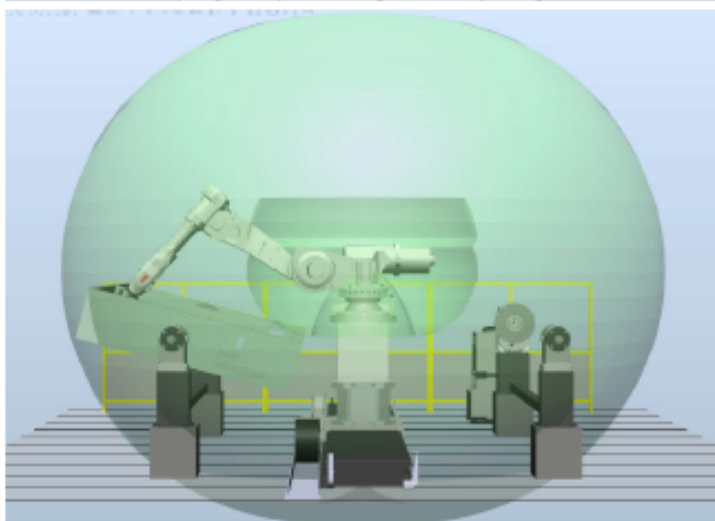
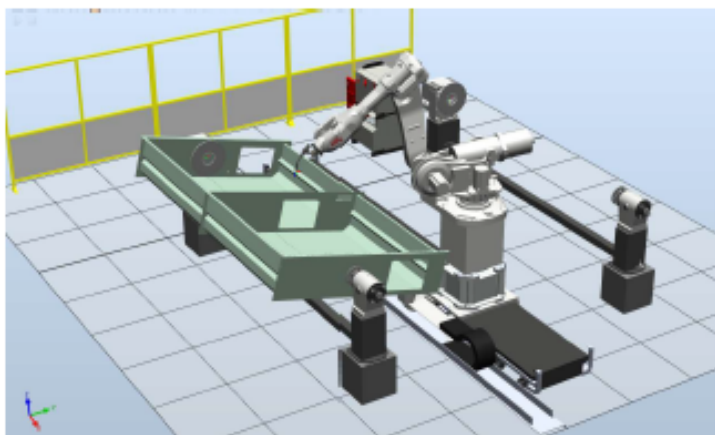
POS.1

- 2xGrillikäsittelypöytä
 - reilulla 6 metrin kärkivälillä
 - pyöriyysäde vähintään 1,5 metriä
 - käsittelykyky noin 3,5t kg
- Lineaarirata
 - pituutena käsittelypöydän kärkiväli + 2 metriä
- Robotti
 - Ulottuvuus reilu 3 metriä (Simulointi on toteutettu ABB IRB 6650S-robotilla)

POS.2

- Sama kuin POS.1a, paitsi ainoastaan yhdellä käsittelypöydällä

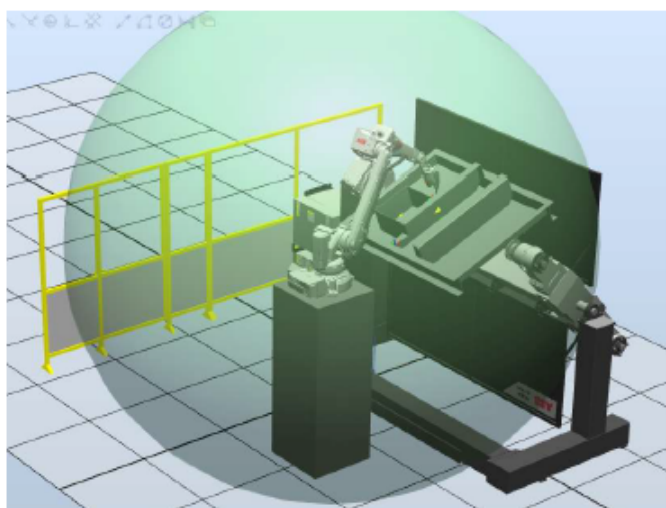
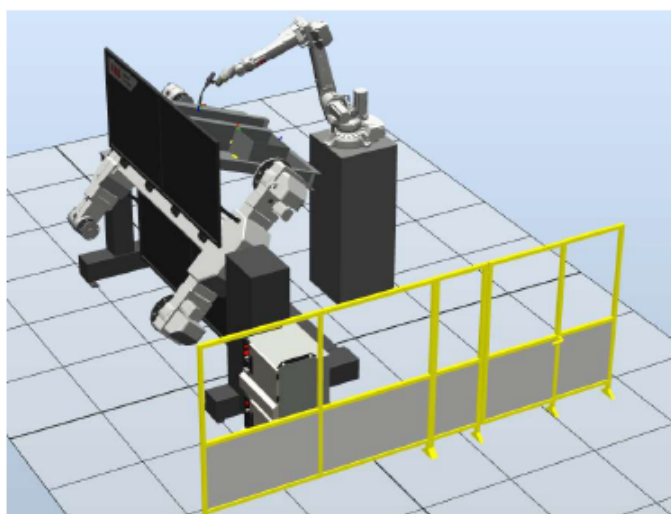
Molempiin soluihin suunniteltu suurin tuote on 5700 x 2400 x 950mm, ja noin 3000 kg. Liitteessä oleva tuote 2 on vastaava, mutta pituutena on reilut 4 metriä. Vastaavasti pienin asemalla hitsattava tuote on 1200 x 800 x 500mm.



POS.3

- Kaksiasemainen grillikäsittelypöytä (Simulointi on toteutettu ABB IRBP K 1000/1400)
 - Kärkiväli vähintään 2 metriä
 - Pyörittysäde vähintään 80 cm
 - Käsittelykyky vähintään 500 kg
- Robotti
 - Ulottuvuus noin 2 metriä (Simulointi on toteutettu ABB IRB 2600ID robotilla)

Solu on suunniteltu liitteessä olevalle tuotteelle 1 (1380 x 1730 x 340mm, ja 350kg)

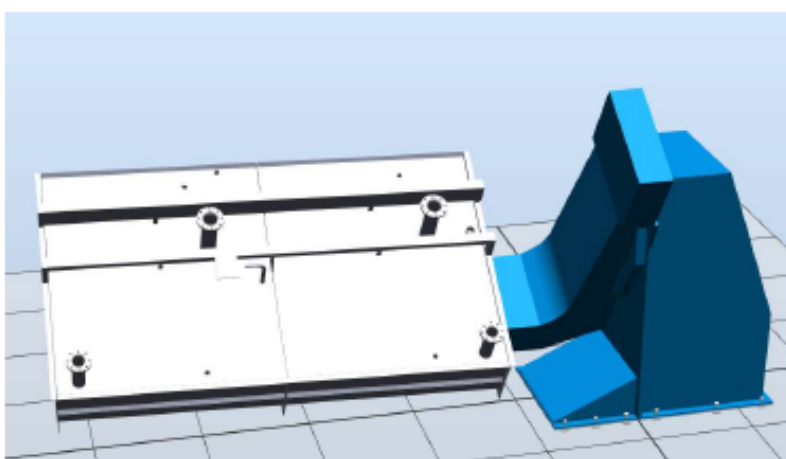


POS.4

- Gantry-järjestelmä (Ei ole simuloitu)
- 1xGrillikäsittelypöytä
 - reilulla 6 metrin kärkivälillä
 - pyöriyssäde noin 1,5 metriä
 - käsittelykyky yli 3,5t kg
- Robotti ylösalaisin

POS.5

- Gantry-järjestelmä (Ei ole simuloitu)
- 1 x L-käsittelypöytä
 - 2,5 metrin pyöriyssäteelle räätälöity, jos mahdollista
 - käsittelykyky yli 2t kg
- Robotti ylösalaisin



Ystävällisin Terveisin

Niko Virtanen