

Saku Timonen

Hitsauksen robotisoinnin kannattavuuden tutkiminen Imagon Oy:ssä



Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotek-
niikka

Kevät 2017



KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Timonen Saku

Työn nimi: Hitsauksen robotisoinnin kannattavuuden tutkiminen Imagon Oy:ssä

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikka

Asiasanat: hitsausrobotti, kannattavuus, investointi, hitsauskustannukset, robotiikka

Imagon Oy on kajaanilainen valomainoksia valmistava yritys, joka on perustettu vuonna 1988. Imagon Oy:n päätuotteet ovat led-valaistut irtokirjain-, pylväs- ja kotelovalomainokset. Imagon on mukana Robokai-hankkeessa, jonka tarkoituksena on lisätä robotiikan tietämystä ja luoda oppimisympäristöjä. Tämän hankkeen myötä lähdettiin tutkimaan robotisoinnin mahdollisuutta Imagonin kotelovalomainosten hitsauksessa.

Yleisin teollisuudessa käytettävä robotti on kuusiakselinen käsivarsirobotti. Robotteja käytetään erilaisiin kappaleensiirtotehtäviin, hitsaukseen, liimaukseen, hiontaan ja lukemattomiin muihin sovelluksiin. Tärkeä seikka työn robotisoinnin osalta on robotin ohjelmoitavuus. Ohjelmointi voidaan suorittaa johdattamalla, opettamalla tai offline-ohjelmointina.

Robottihitsaus on yksi yleisimpiä robotin käyttökohteita teollisuudessa. Näissä sovelluksissa robotti varustetaan hitsauslaitteistolla, joka kommunikoi robotin ohjelman kanssa muuttaen hitsausparametrit kohteelle sopiviksi. Robotin lisäksi käytetään usein erilaisia työkalujen paikoituslaitteita ja lineaarirataa, jota pitkin robotti voi liikkua. Jotta hitsauksen robotisointi voidaan suorittaa kannattavasti, on tunnettava hitsauksen kustannukset niin käsinhitsauksen, kuin robottihitsauksenkin osalta. Kustannusten selvittäminen vaatii työntutkimusta kyseisen työkohteen osalta. Kun kustannukset ovat selvillä, voidaan suorittaa investointilaskenta, jota käytetään apuna päätöksenteossa robotin hankintavaiheessa.

Työn käytännön osuus alkoi hitsattavien tuotteiden määrittelyllä. Kun haluttu tuoteryhmä oli selvillä, siirryttiin hitsaussolun suunnitteluun. Suunnitelman perusteella lähetettiin tarjouspyyntöjä useille eri robottijärjestelmätoimittajille. Saatujen tarjousten perusteella voitiin alkaa tutkimaan robotisoidun hitsauksen kannattavuutta kyseisessä kohteessa. Kannattavuuden tutkinta edellyttää hitsauskustannusten määrittelyä niin käsin- kuin robottihitsaukseenkin.

Kyseisessä tapauksessa kannattavuus saavutettaisiin ainoastaan riittävällä ajallisella säästöllä kehysten valmistuksessa. Tutkimuksen edetessä kävi ilmi, että robottihitsauksen saaminen kannattavaksi edellyttäisi huomattavasti nykyistä suurempaa menekkiä kyseisille tuotteille. Keskiwertomekin mukaan robotin käyttöaste olisi niin pieni, että investointi ei tästä syystä olisi kannattava.

ABSTRACT

Author: Timonen Saku

Title of the Publication: Profitability research of robotic welding at Imagon Oy

Degree Title: Bachelor of Engineering

Keywords: robot welding, profitability, investment, welding costs, robotics

Imagon Oy, founded by Arto Okkonen in 1988, manufactures led illuminated commercial signs in Kajaani. The company's main products are led illuminated standalone symbols, led boxes, led pylons and led guides. Imagon is involved in the Robokai project, the main idea of which is to develop knowledge of robotics in local companies and create learning environments for students. Within this project, the research on the profitability of robotic welding for frames of led illuminated boxes and signs was started.

The most common robot type used in industry is a six-axis articulated robot. Robots are used to transfer objects, welding, gluing, grinding and countless other applications. When it comes to robotics, programming plays a big role. It can be done by using guiding, teaching or offline-programming methods.

Robotic welding is one of the most used solution with robots in industry. In these solutions, robots are equipped with welding gear, which communicates with the robot and adjusts the welding parameters according to the target. In addition to robots, many types of workpiece positioners and linear tracks are used to allow a greater working area for the robot. To make robotic welding profitable, the costs of manual and robotic welding have to be known well. The cost of welding can be determined with work analysis. After the costs have been defined, the investment calculation can be done. The result of investment calculation can be used as guidance, when the final decision of investment is made.

The conventional part of this thesis was started by determining the products to be welded. After that, the robot cell layout was planned and requests for quotation were sent to many suppliers. After receiving the quotations, the profitability research was possible – consisting of calculating the costs of both manual and robotic welding.

In the case study, the profitability of robotic welding could have been achieved only if the sales of the products had increased significantly. With average sales, the utilization rate of the robot would be so low that the investment would not be profitable.

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO.....	1
2 ROBOTIT JA ROBOTITYYPIÄ2	2
3 ROBOTISOLUN YLEISIMMÄT KOMPONENTIT	5
3.1 Ohjausyksikkö	5
3.2 Käsivarsi.....	6
3.3 Käsiohjain.....	7
3.4 Turva-alue	8
4 OHJELMOINTI	10
4.1 Johdattamalla ohjelmointi.....	10
4.2 Opettamalla ohjelmointi.....	11
4.3 Offline-ohjelmointi.....	11
5 TYÖKALUT JA LISÄLAITTEET	12
5.1 Työkalut.....	12
5.2 Lisälaitteet	14
6 ROBOTIHITSAUS.....	15
6.1 Perusteet robotisoituun hitsaukseen	15
6.2 Hitsausrobotit ja robotijärjestelmät	15
6.3 MIG/MAG-hitsausvarustelu	17
6.3.1 Virtalähde	17
6.3.2 Langansyöttölaite	18
6.3.3 Poltin	18
7 HITSAUSKUSTANNUSTEN LASKENTA	19
7.1 Syitä hitsauskustannusten laskentaan	19

7.2 Kustannusten muodostuminen MIG/MAG-käsinhitsauksessa	19
7.3 Kustannusten muodostuminen robottihitsauksessa	19
7.4 Avainlukuja kustannusten laskentaan	20
7.4.1 Hitsiaineentuotto	20
7.4.2 Hitsiainemäärä	21
7.4.3 Hyötyluku	21
7.4.4 Paloaikasuhte.....	22
8 MUUTOSTEN VAIKUTUKSEN TARKASTELU HERKKYYSANALYYSILLÄ...	25
9 TEOLLISUUDEN INVESTOINNIT	26
9.1 Pitoaika	26
9.2 Jäännösarvo.....	27
9.3 Laskentakorkokanta ja diskonttaus	27
9.4 Annuiteettimenetelmä.....	28
9.5 Nykyarvomenetelmä.....	29
10 TYÖNTUTKIMUS	30
10.1 Menetelmätutkimus	30
10.2 Työn vakiinnuttaminen	30
10.3 Työnopastus.....	30
10.4 Työnmittaus.....	31
11 SOLUN SUUNNITTELU JA TARJOUSPYYNNÖT	32
11.1 Solussa valmistettavat tuotteet.....	32
11.2 Kappaleenkäsittelylaite ja jigi.....	33
11.3 Robotti ja ohjainyksikkö.....	34
11.4 Lineaarirata	35
11.5 Hitsausvarustelu.....	35

11.6 Turva-alue	36
11.7 Tarjouspyynnöt.....	36
12 HITSAUSKUSTANNUSTEN LASKENTA KÄSINHITSAUKSESSA.....	37
12.1 Tarkastelukohteen määrittäminen	37
12.2 Työntutkimus	38
12.3 Kustannusten laskenta	39
12.4 Robotin ohjelmointi ja käyttöliittymä	39
13 KUSTANNUSTEN LASKENTA ROBOTTIHITSAUKSESSA	41
13.1 Vaihe- ja kaariaika.....	41
13.2 Hitsausparametrien muuttaminen.....	43
14 TULOSTEN VERTAILU HITSAUSPROSESSEISSA	44
15 INVESTOINTILASKENTA	46
15.1 Investointilaskennassa käytetyt arvot	46
15.2 Laskenta annuiteettimenetelmällä	47
15.3 Laskenta nykyarvomenetelmällä	48
15.4 Investointilaskennan tulokset.....	48
16 YHTEENVETO	49
LÄHTEET	50
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Imagon Oy on vuonna 1988 Kajaanissa perustettu yritys, jonka päätuotteet ovat asiakasyrityksille tehtävät valomainokset. Imagonin tuotteisiin kuuluvat myös erilaiset valaistut ja valaisemattomat opasteet ulko- ja sisätiloihin. Päätuotteita ovat led- valaistut irtokirjaimet, kotelot, opasteet ja pylvää. Tällä hetkellä Imagon toimii Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Suurin osa tuotteista päätyy pohjoisen Euroopan yritysten julkisivuihin, mutta toimituksia tehdään myös muualle Eurooppaan ja sen ulkopuolelle. [1.]

Imagonin toiminta perustuu hyvin pitkälle asiakaskohtaisten räätälöityjen tuotteiden valmistamiseen, jonka vaikutuksesta tuotanto vaihtelee hyvin paljon. Yksi toiminnan suurista vahvuuksista onkin sen joustavuus. [2.] Tämä aiheuttaa robotiikan hyödyntämiselle tuotannossa suuren haasteen. Vielä vähän aikaa sitten robotiikan käyttöä ei kannattanut juuri harkita tämäntyyppisessä tuotannossa, mutta robottien ohjelmoinnin helpottuessa ja nopeutuessa yhä pienempien sarjakokojen valmistus robotiikan avulla tulee kannattavaksi.

Imagon on mukana Robokai-hankkeessa, jonka tarkoituksena on nostaa tietämystä robotiikan hyödyntämisestä ja luoda oppimisympäristöjä opiskelijoille. Samalla saadaan hyvä perusta Kajaanin ammattikorkeakoulun projektiopinnoille paikallisissa yrityksissä. Lisäksi aiheeseen liittyen voidaan suorittaa työharjoitteluja ja opinnäytetöitä, joista tämä opinnäytetyö käy yhtenä käytännön esimerkkinä. [3.]

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan robotisoidun hitsauksen kannattavuutta Imagonin valomainosten runkorakenteiden valmistuksessa. Tavoitteena on siis selvittää, kannattaako Imagonin siirtyä robotisoituun hitsaukseen käsinhitsauksen sijaan.

2 ROBOTIT JA ROBOTITYYPI

Käsitys robotista vaihtelee hyvin suuresti eri tahojen välillä. Suuren ihmismassan kesken robotiksi voidaan ymmärtää hyvinkin yksinkertainen mekanismi, joka muistuttaa esimerkiksi tieteiselokuvan hahmoa. Teollisuuden näkökannalta tämä ei kuitenkaan täytä juuri mitään robotin määrittäjäsiä. Voidaan kuitenkin todeta, että 2000-luvun alkupuolella robotiikka on yleistynyt arkipäivässä. Esimerkiksi automaattisten ruohonleikkureiden ja imureiden voidaan ajatella olevan robotteja, koska ne aistivat ympäristöä ja toimivat sen mukaisesti.

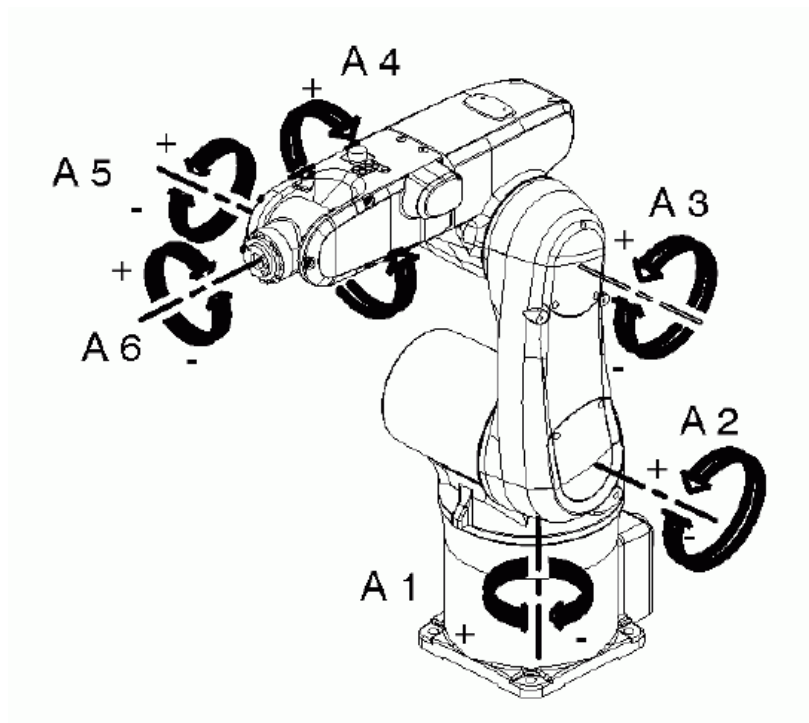
Kansainvälinen robottiyhdistys määrittelee robotin uudelleen ohjelmoitavaksi, vähintään kolmeakseliseksi mekaaniseksi laitteeksi, jolla liikutetaan työhön tarvittavia kappaleita tai työkaluja. Määritelmässä korostetaan uudelleenohjelmoitavuutta ja monikäyttöisyyttä, mutta myös antureiden avulla saatava ohjaustieto on suuressa roolissa. Roboteilta siis vaaditaan yhä enemmän tuotetietoon perustuva automaattista ohjausta. Esimerkiksi hitsauksessa antureiden avulla tehtävä reaaliaikainen liikeradan muuttaminen on hyvin tavallista. [4, s. 13.]

Robottivalmistajia on useita satoja ja niinpä myös erityyppisiä rakenteita on tarjolla hyvin kattava valikoima. Tavallisimmat teollisuudessa nähtävät robottirakenteet ovat suorakulmainen robotti, sylinterirobotti, napakoordinaatistorobotti, scara-robotti, kiertyvänivelinen- ja rinnakkaisrakenteinen robotti. Kuvassa 1 näkyvät yleisimpien robottirakenteiden rakenne, kinemaattinen kaavio ja työalueen muoto. [4, s. 12.]

Nimitys pääakseleiden mukaan	Rakenne	Kinemaattinen kaavio	Työalue
Suorakulmainen robotti			
Sylinterirobotti			
Napa-koordinaatisto-robotti			
Scara-robotti			
Kiertyvänivelinen robotti			
Rinnakkaisrakenteinen robotti			

Kuva 1. Yleisimmät robottirakenteet teollisuudessa [4, s. 12].

Robotin koko ja tyyppi määräytyvät suoritettavan työtehtävän mukaan. Osa roboteista on hyvin yleispäteviä moneen eri sovellukseen, mutta teollisuuden vaihtelevat työtehtävät vaativat monia erityyppisiä ratkaisuja. Yleisin teollisuudessa käytettävä robottityyppi on kuusiakselinen kiertyvänivelinen robotti. Kuudella akselilla saavutetaan kuusi vapausastetta, jonka ansiosta työkalu saadaan haluttuun pisteeseen missä tahansa asennossa. Kuvassa 2 on rakennekuva kuusiakselisesta robotista. [4, s. 18.]



Kuva 2. Rakennekuva kuusiakselisesta robotista [5].

3 ROBOTTISOLUN YLEISIMMÄT KOMPONENTIT

Tässä luvussa käydään läpi robottisolun yleisimmät komponentit. Esimerkkinä käytetään kuusiakselista teollisuusrobottia, koska tämäntyyppinen robotti on teollisuudessa hyvin yleinen. Edellisen lisäksi kuusiakseliset käsivarsirobotit soveltuvat hyvin tässä työssä käsiteltävään robottihitsaukseen.

3.1 Ohjausyksikkö

Solun aivoina toimii ohjausyksikkö, joka ohjaa robotin toimilaitteita kuten nivelten servomootoreita ja käsittelee antureilta saatavaa tietoa. Ohjaukselta vaaditaan täysin varmaa ja hallittua toimintaa. Ohjauksen virheellinen toiminta voi aiheuttaa suoraan vaaratilanteiden synnyn robotin käsivarren liikkuesssa hallitsemattomasti. Turvallisuudesta huolehtiminen onkin yksi tärkeimpiä ohjausyksikön tehtäviä. Ohjaukselta vaaditaan myös suurta laskentatehoa. Aikaisemmin laskentateho on rajoittanut monimutkaisten sovellusten toimintaa, mutta teknologian kovan kehityksen vuoksi tämä ongelma on vähenemässä. [4, s. 35.] Kuvassa 3 on esimerkkinä ABB:n IRC5-sarjan robottiohjaimia, joista suurin on 1450 mm korkea ja pienin vain 310 mm korkuinen [6].



Kuva 3. ABB IRC5- sarjan ohjaimia [6].

3.2 Käsivarsi

Robotin käsivarsi koostuu tukivarsista ja nivelistä. Tukivarsia liikutetaan toistensa suhteen robotin käsivarren toimilaitteilla. Yleisin käytettävä toimilaitte on sähkömoottori, jonka käyttövoima saadaan kuljetettua sille helposti johtimia pitkin. Sähkömoottoreiden asemaa seurataan asema-antureilla, jotka antavat moottoreiden ohjaimille jatkuvaa korjaustietoa moottorin akselin kiertymäkulmasta. Toimilaitteet voivat olla myös hydraulisia tai pneumaattisia. Varsinkin suuria massoja käsiteltäessä hydrauliset toimilaitteet voivat olla tarpeen. [4, s. 15,18 ja 30.] Nykyisin sähkömoottoreilla varustetuilla käsivarsiroboteillakin päästään yleensä riittävän suuriin työkuormiin. Robottikäsivarren ilmoitettu enimmäiskäsittelykuorma on mitoitettu aivan käsivarren päähän, työkalulaippaan. Tähän kuormaan täytyy huomioida käsiteltävän kappaleen lisäksi tarttujan paino. Käsiteltävän kappaleen massan lisäksi on sen painopisteen sijainnilla ja hitausmomentilla suuri merkitys robotin käsittelykyvyn kannalta.

Kuvissa 4 ja 5 on kaksi eri kokoluokan robottia. Kuvan 4 robotin käsittelykyky työkalulaipassa on kahdeksan kiloa. Tämä robotti soveltuu hyvin hitsaukseen siron rakenteensa ja hyvän ulottuvuuden ansiosta. [7.] Kuvassa 5 oleva robotti taas on suunniteltu siirtämään raskaita kappaleita, ja sen käsittelykyky on 2300 kg [8].



Kuva 4. ABB IRB 2600ID [7].



Kuva 5. Fanuc M-2000iA/2300 [8].

3.3 Käsiohjain

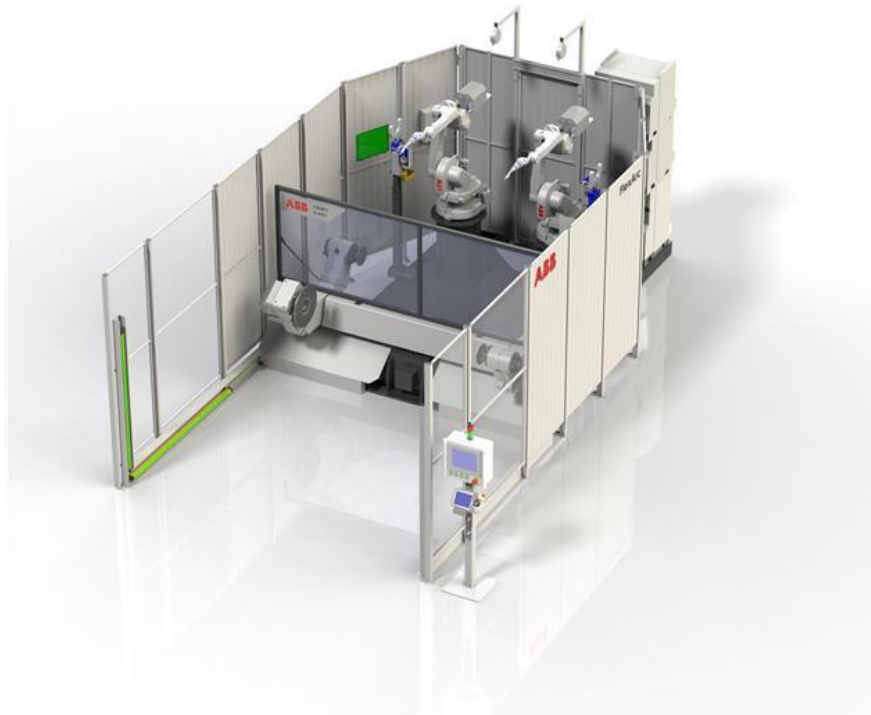
Käsiohjain toimii käyttöliittymänä robotin ohjaimeen. Käsiohjaimella voidaan suorittaa robotin eri toimintoja paikallisesti robotin vierestä. Ohjaimella voidaan mm. muodostaa robotin työratoja ajamalla robotti haluttuihin pisteisiin ja tallentamalla ne robottiohjaimen muistiin. Usein robottien ohjelmointi kuitenkin tehdään erillisellä tietokoneella offline-ohjelmointina. Tämän jälkeen ohjaimen avulla voidaan valita robotin haluttu ohjelma ja muunnella esim. sen ajonopeutta. Varsinkin testausvaiheessa ”käsikapulan” käyttö on lähes välttämätöntä. Testauksessa ohjelma suoritetaan usein hidastettuna yksi vaihe kerrallaan, jolloin ajo voidaan pysäyttää käsiohjaimella tarpeen tullen ennen vahingon syntymistä. [9, s. 18–19.] Kuvassa 6 näkyy ABB:n käsiohjain, joka on muokattavissa hyvin eri sovelluksiin kosketusnäyttönsä ansiosta.



Kuva 6. ABB FlexPendant [10].

3.4 Turva-alue

Useimmat teollisuusrobotit aiheuttavat vakavia vahinkoja törmätessään esineisiin tai ihmisiin. Tämän vuoksi yleinen siisteys alueella on välttämätöntä. Lisäksi robotin ympärillä tulee olla turva-alue, jonne kulku on estetty robotin työskennellessä. Turva-alueen vaatimukset muuttuvat siellä tehtävän työn mukaan. Esimerkiksi robothitsaussolusta vapautuvan säteilyn ja käryn pääsy ympäröiviin työtiloihin on estettävä eristämällä solu muusta tuotannosta. Lisäksi on asennettava kohdepoistot käryn poistamiseksi. [4, s. 166–168.] Kuvasta 7 nähdään tyypillinen hitsausso-
lun turva-alue, joka on rajattu fyysisesti luoksepääsemättömäksi. Lisäksi kääntyvän kappaleenkäsittelylaitteen kanssa käytetään lähestymisen tunnistavaa antu-
rointia.



Kuva 7. ABB robothitsaussolun turva-alue [11].

Robotin turva-alue voidaan muodostaa mm. suoja-aidalla, valoverholla, lähestymisen tunnistavalla anturilla tai turvamatolla. Osa roboteista ei taas tarvitse turva-
aluetta lainkaan. Nämä robotit ovat ns. yhteistyörobotteja, joiden suunnittelussa on otettu huomioon mahdolliset törmäystilanteet ihmisten ja esineiden kanssa.

Näiden robottien rakenteet ovat sen verran keveitä ja liikenopeudet pieniä, että niiden törmäyksestä ei synny suurta voimaa. Yhteistyörobottien törmäystunnistus on myös herkempi kuin suurilla teollisuusroboteilla ja niiden käsivarren muodot ovat pyöristettyjä. Näiden robottien nivelet on suojattu siten, että niihin takertuminen on lähes mahdotonta. [4, s. 165–170.] Kuvasta 8 nähdään ABB:n IRB 14000 yhteistyörobotin muotoilua ja ihmisen läheisyydessä työskentelyyn sopivat tarraimet. Kuvan robotin käsivarsi ylettyy hieman yli metrin korkeuteen robotin kiinnityspinnasta. [12.]



Kuva 8. ABB IRB 14000 (YUMI) [12].

4 OHJELMOINTI

Halutut robotin tekemät liikkeet ja toiminnot saadaan aikaan ohjelmoimalla ne robotin muistiin. Liikkeiden muodostaminen alkaa määrittämällä robotille pisteitä, joiden kautta työkalukeskipisteen tulee liikkua. Pisteiden välinen liike saadaan aikaan määrittämällä robotille haluttu liiketapa pisteiden välille. [4, s. 78.] Liiketapa määräytyy käytettävän interpolaation tyyppin mukaan. Interpolaatiotyyppi siis määrittää, millaista rataa pitkin eri pisteiden välillä tulee liikkua. Mahdollisia liiketapoja ovat nivel, ympyrä ja splini-interpolaatio sekä lineaarinen interpolaatio. [13, s. 25–30.] Ohjelmointitapoja on myös erilaisia. Käytettävä tapa riippuu hyvin pitkälle robotilla tehtävästä työstä ja liikkeiden tarkkuusvaatimuksista.

4.1 Johdattamalla ohjelmointi

Johdattamalla ohjelmoinnissa robotin liikkeet tallennetaan muistiin liikuttamalla robotia manuaalisesti haluttua rataa pitkin. Apuna tässä ohjelmointityylissä voidaan käyttää ohjelmointikäsivartta, joka on huomattavasti kevyempi ja paremmin hallittava kuin oikea robotin käsivarsi. Opetuskäsivarrella ohjelmoinnin jälkeen voidaan samat liikkeet toistaa oikealla robottikäsivarrella. Tämä ohjelmointitapa on suosittu erityisesti maalaussovelluksissa, joissa liikkeiden ei tarvitse olla kovin tarkkoja. [4, s. 78.]

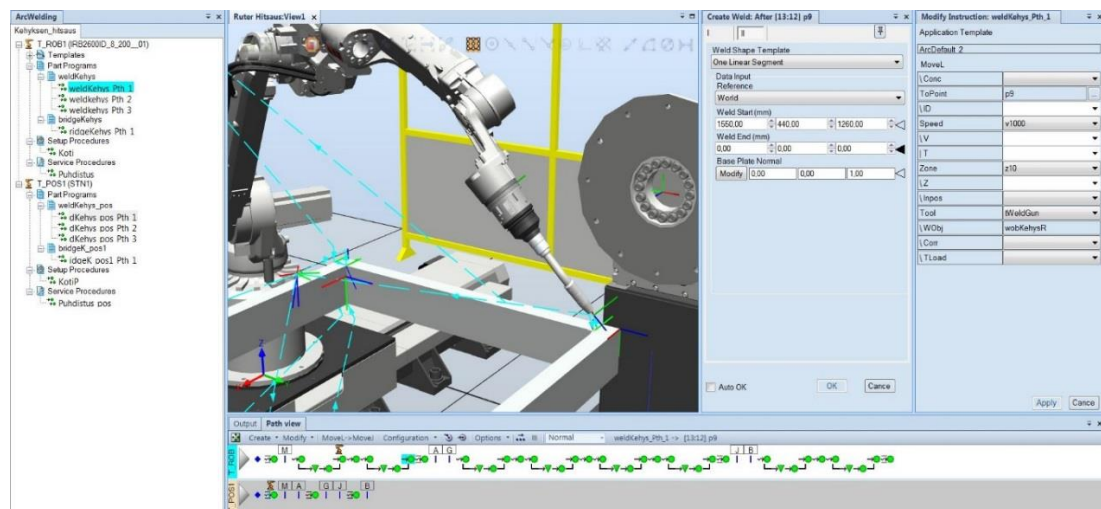
Johdattamalla ohjelmoinnissa voidaan käyttää hyödyksi myös työkalulaippaan kiinnitettävää voima-anturia. Anturin avulla robotti tunnistaa halutun liikesuunnan ja ajaa työkalukeskipistettä siihen suuntaan. Voima-anturin ansiosta suurikin robotti seuraa lähes vastuksetta ohjelmoijan kuljettaessa työkalua haluttua rataa pitkin. [14.]

4.2 Opettamalla ohjelmointi

Opettamalla ohjelmoinnissa robotti ajetaan käsiohjaimella haluttuihin pisteisiin. Näiden pisteiden välille muodostetaan robotin liikerata halutun interpolaatiotavan mukaan. Ohjelma voidaan muodostaa näin kokonaisuudessaan käsiohjaimen avulla. Käsiohjaimen käyttöliittymässä voidaan rakentaa haluttu ohjelmarakenne ja lisätä mm. toistoja, koordinaatiston siirtoja ja aliohjelmakutsuja. [4, s. 79.]

4.3 Offline-ohjelmointi

Offline-ohjelmointi eli etäohjelmointi mahdollistaa robotin ohjelman luomisen ilman fyysistä robottia. Ohjelmointi suoritetaan tietokoneohjelmistolla, jossa on graafiset 3D-mallit työkappaleesta, robotista ja tarvittavista oheislaitteista. Robotin paikoituspisteet määritetään kappaleen 3D-mallin muototiedon mukaan ja liikeradat luodaan niiden perusteella. Tällä ohjelmointitavalla saadaan vähennettyä aikaa, jona robotti seisoo tekemättä tuottavaa työtä. Yksi offline-ohjelmoinnin suuria etuja on ohjelman testaaminen simuloimalla se virtuaalisessa ympäristössä. Näin voidaan varmistua robotin ulottuvuudesta ja liikkeiden turvallisuudesta. [4, s. 81-87.] Kuvasta 9 nähdään ABB RobotStudio arcwelding lisäosan graafinen ohjelmointiympäristö hitsausratojen muodostamiseen 3D-mallin geometrian pohjalta.



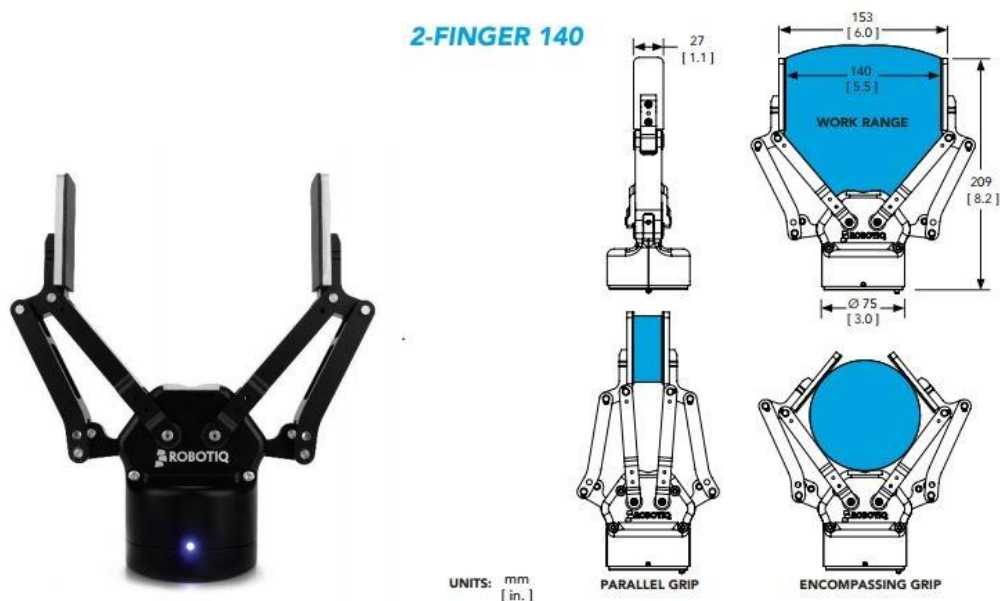
Kuva 9. ABB RobotStudio graafisen ohjelmoinnin näkymä

5 TYÖKALUT JA LISÄLAITTEET

5.1 Työkalut

Ilman työkalua robotilla ei ole tuottavaa arvoa. Robotin ranteeseen kiinnitettävän komponentin suunnittelulla on suuri merkitys robotin työskentelyyn. Esimerkiksi kappaleiden käsittelyssä hyvin suunnitellulla tarttujalla voidaan siirtää useita erilaisia kappaleita. Täten erilaisten tarttujen tarve vähenee ja samalla saavutetaan myös ajallista etua, kun robotin ei tarvitse vaihtaa työkalusta toiseen jatkuvasti. [4, s. 60-68.]

Yleisimpiä tarraintyyppejä ovat mekaaniset tarraimet, imu- ja tyhjiötarraimet ja magneettiset tarraimet. Mekaanisilla tarraimilla tartutaan kappaleisiin puristamalla tarttujan ”kämpälät” kappaleen pintaa vastaan, jolloin saadaan muodostettua tarvittava ote kappaleen siirtoa varten. Mekaanisten tarraimien kämpälien liikutukseen on kehitetty useita erilaisia mekanismeja. Kuvissa 10 ja 11 on Robotiq:n sormitarttuja, jonka mekaaninen rakenne mahdollistaa monentyyppisten kappaleiden hallinnan. Tässä tarttujassa on mahdollisuus hallita sormien etäisyyttä servomoottorihjauksen avulla. Myös tartuntavoima ja nopeus ovat säädettävissä. [4, s. 60-62 ja 12.]

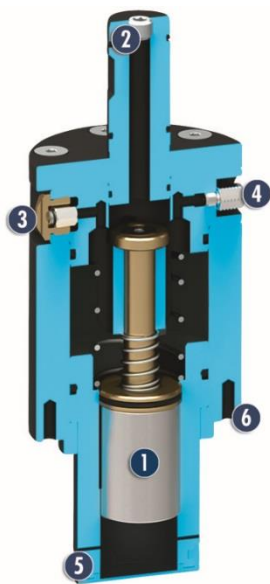


Kuva 10. Robotiq 2-finger 140 [15].

Kuva 11. Robotiq 2-finger specs [15].

Alipainetarttuvia käytetään sellaisten kappaleiden käsittelyssä, joihin mekaanisten sormitarttujen avulla tarttuminen on hankalaa tai mahdotonta. Alipainetarttujan haittana on, että kappaletta ei saada keskitettyä samalla kun robotti tarttuu kappaleeseen. Myös alipaineen katoamisesta johtuva kappaleen putoaminen on uhkana tällä tarraintyypillä. Parhaimmillaan alipainetarttijat ovat pienten kappaleiden siirrossa puhtaissa tiloissa. Kappaleen pinnalla oleva lika voi johtaa imukupin huonoon asettumiseen ja sen seurauksena paineen katoamiseen. [4, s. 63-65.]

Magneettitarttujilla voidaan nostaa suuriakin kappaleita ongelmitta, kunhan nostettava kappale on ferromagneettinen. Haittana on nostettavan kappaleen jäännösmagnetismi, joka hidastaa irrotusta ja voi olla haitaksi joissakin tapauksissa. Magneettitarttuja voi olla toteutettu kestopagneetilla tai sähkömagneetin avulla. [4, s. 46.] Kuvassa 12 on Schunkin magneettitarttuja, joka on toteutettu kuoren sisällä liikutettavalla kestopagneetilla [16].



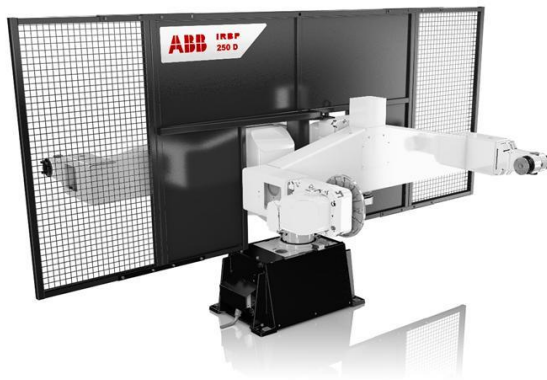
Kuva 12. Schunkin magneettitarttuja [16].

Tarttujen lisäksi roboteissa käytetään useita eri työtehtäviin tarvittavia välineitä kuten hitsauslaitteita, maaliruiskuja, raepuhalluslaitteita, hiomakoneita, kameroita yms. Työkalujen lisäksi robotin ranteessa voi olla joustoelementti ja voima-anturi, joilla saadaan lisää tarkkuutta ja varmuutta esim. kokoonpanotehtäviin [4, s. 75.]

5.2 Lisälaitteet

Roboteille saatavia lisälaitteita on kehitetty hyvin laaja kirjo. Yleisimpiä lisälaitteita ovat erilaiset työkappaleen paikoituslaitteet. Näitä käytetään monissa työtehtävissä, joissa työkappaleen asennon muutoksella saavutetaan jotakin etua tai työ on mahdotonta ilman kappaleen kääntämistä. Kuvassa 13 on ABB:n kaksipuolinen käsittelylaite, jossa on molemmilla puolilla mahdollisuus kääntää kappaletta kahden akselin ympäri [17].

Kaarihitsaussovelluksissa kääntöpöydät ovat hyvin yleisesti käytettyjä. Kääntöpöydän avulla pyritään pitämään hitsaus jalkoasennossa ja mahdollistetaan robotin ulottuminen kappaleen joka puolelle. Robotin ympärillä voi myös olla kuljettimia kappaleen siirtoa varten ja konenäköjärjestelmä kappaleen asennon tunnistamiseksi. Konenäkökameran kiinnittäminen voi tapahtua itse robottiin tai lähiympäristöön rakennettuun telineeseen. Usein robotin ympäristöstä löytyy vakaampi ja turvallisempi paikka kameralle. [4, s. 112–113.] Kuvassa 14 on ABB:n konenäkökamera kiinnitettynä sille varattuun rakenteeseen [18].



Kuva 13. ABB IRBP 250 D [17].



Kuva 14. ABB:n konenäkökamera [18].

6 ROBOTTIHITSAUS

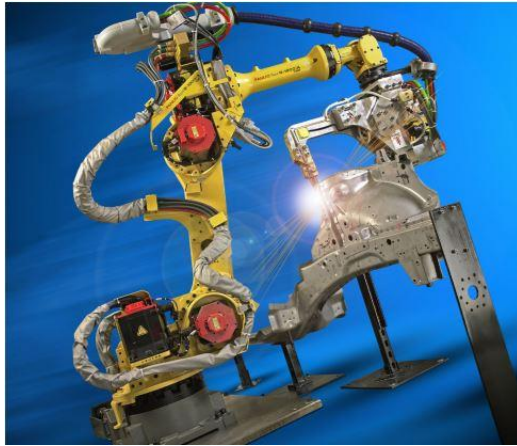
6.1 Perusteet robotisoituun hitsaukseen

Hitsauksen robotisoinnilla pyritään tuottavuuden nousuun. Aikaisemmin robottihitsaus on ollut soveltuva vain suurten sarjakokojen valmistukseen ohjelmoinnin monimutkaisuuden vuoksi. Teknologian kehittyessä ja ohjelmointitapojen helpottuessa robottihitsaus on kuitenkin tullut kannattavaksi myös pienempien sarjakokojen tuotantoon. [19, s. 11–12.] Tuotteiden, joiden valmistus olisi aikaisemmin ollut edullisempaa teettää muualla, on saatu kannattamaan korkeamman palkkatason maissa robotisoinnin ansiosta. Tämä johtuu laitteistojen ja niiden vaatimien resursien tasaisemmasta hintajakaumasta maailman maiden välillä. Työvoiman hinnalla ei siis enää ole niin suurta merkitystä kuin aikaisemmin. Halvan työvoiman sijaan vaaditaan kovaa kehitystahtoa ja osaamista laitteiden hyödyntämiseen. [20.]

Robottihitsauksella vaikutetaan myös laatuun. Laadun parantamisella vähennetään epäonnistuneiden hitsien korjaamistarvetta, joka näkyy suoraan kuluissa ja prosessin nopeudessa. Robotisoidulla hitsauksella voidaan samalla parantaa yrityksen imagoa kehittyvänä toimijana. [19, s. 11–12.]

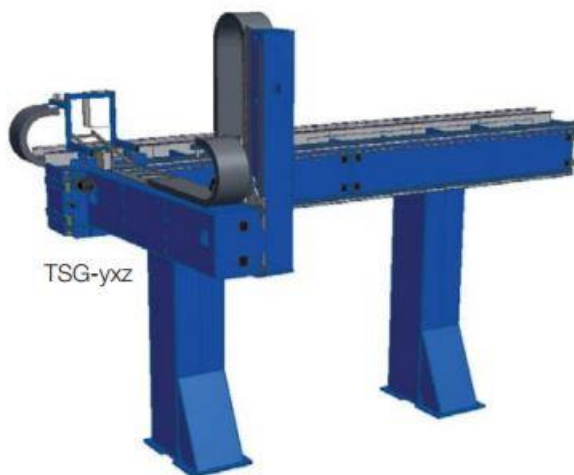
6.2 Hitsausrobotit ja robottijärjestelmät

Yleisin hitsauksessa käytettävä robotti on kuusiakselinen käsivarsirobotti. Kaarihitsaukseen käytettävät käsivarret ovat sirorakenteisia vähäisen työkuorman vuoksi. Sirolla rakenteella mahdollistetaan pääsy ahtaisiin paikkoihin. Myös useammilla akseleilla varustettuja robotteja käytetään paremman ulottuvuuden saavuttamiseksi. Pistehitsaukseen käytettävät robottikäsivarret taas ovat huomattavasti suurempia ja vankkarakenteisempia hitsauslaitteiden painon vuoksi. Kuvassa 15 esimerkkinä Fanucin kuusiakselinen käsivarsirobotti pistehitsausvarustelulla. Kyseisen robotin käsittelykyky on 100 kg ja sen ranne ulottuu 2360 mm korkeuteen asennuspinnastaan [21].



Kuva 15. Fanucin robotti pistehitsauksessa [21].

On myös yleistä, että robotti asetetaan lineaarikiskolle, jota pitkin se voi liikkua. Tämä laajentaa robotin työaluetta huomattavasti. Tällä tavoin myös mahdollistetaan saman robotin työskentely useammassa työpisteessä. Robottikäsivartta on mahdollista liikuttaa siltanostintyyppisellä ratkaisulla työalueen päällä, jolloin robotin käsivarsi roikkuu ylösalaisin mahdollistaen hyvän ulottuvuuden eri puolille hittattavaa kappaletta. Tällaista ratkaisua kutsutaan Gantry-asemaksiksi. Gantry-järjestelmässä voi olla vielä alaspäin suuntautuva akseli, jolla voidaan liikuttaa robottikäsivartta korkeussuunnassa. Kuvassa 16 on Motomanin Gantry-järjestelmä, jossa robottikäsivartta liikutetaan kolmella lineaariakselilla. Tuenta maahan tapahtuu vain työalueen toiselta puolelta, mikä helpottaa luoksepääsyä nostureilla ja muilla laitteilla. [22.]

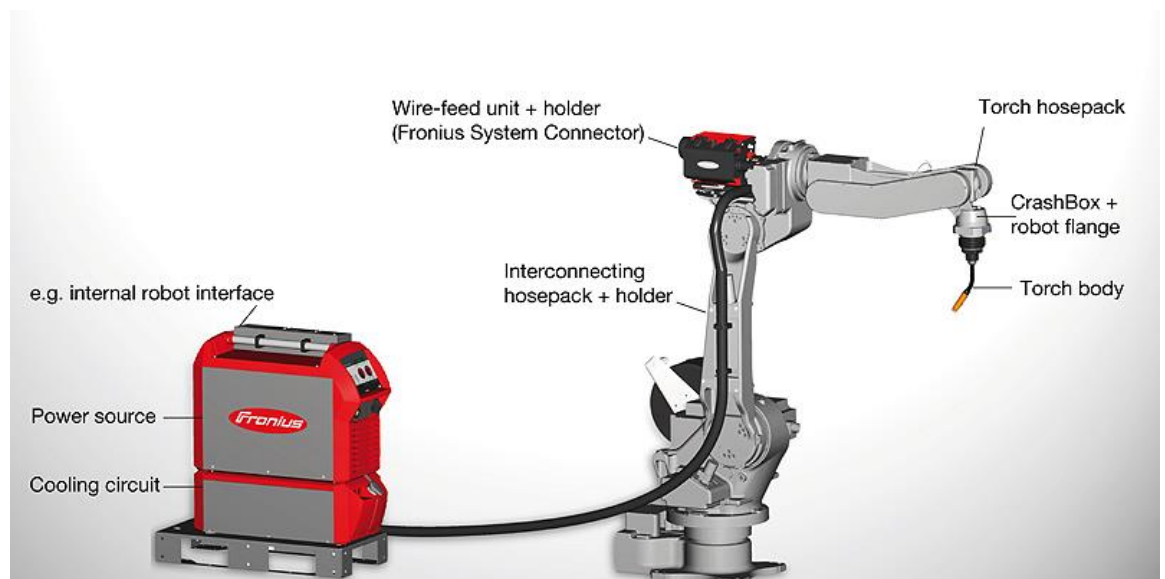


Kuva 16. Motoman TSG-yxz [22].

6.3 MIG/MAG-hitsausvarustelu

MIG- ja MAG-hitsauksen erona on käytettävä suojakaasu. MAG-hitsauksessa käytetään sulan kanssa kemiallisesti reagoivaa kaasua ja MIG-hitsauksessa taas reagoimatonta inerttikaasua. Hitsausmenetelmää kutsutaan yleensä MIG-hitsaukseksi kaasun tyypistä riippumatta. MIG- ja MAG-lyhenteet saadaan sanoista Metal-arc Inert/Active Gas welding. [23.]

Tärkeimmät kaarihitsauslaitteiston komponentit ovat virtalähde, langansyöttölaite, suojakaasun syöttöventtiili, hitsauspoltin ja johtimet. Yleisesti suojakaasunsyöttöventtiili on paketoituna samaan kuoreen virtalähteen kanssa, jolloin sitä ei mainita erillisenä komponenttina. Lisäksi voi olla erillinen nestejäähdytyksen yksikkö tai se voi olla myös integroituna virtalähteeseen. [24, s. 6–9.] Kuvasta 17 nähdään roboteille suunniteltu Froniuksen hitsauslaitteisto.



Kuva 17. Froniuksen robottihitsausvarustus [25].

6.3.1 Virtalähde

Hitsausvirtalähde muuntaa verkkovirran vaihtojännitteen MIG-hitsaukseen sopivaksi tasajännitteeksi. Virtalähteellä pystytään muokkaamaan hitsauksen para-

metreja kuten jännitettä ja virtaa, sekä ohjaamaan langansyöttönopeutta. [26.] Virtalähteen suorituskyky ja ominaisuudet valitaan tarpeen mukaan. Kotona harrastelevalle hitsaajalle riittää useimmiten pieni kaasujäähdytteinen yksikkö. Teollisuuden vaativiin kohteisiin taas tarvitaan suurempaa nestejäähdytteistä virtalähdettä, jos tavoitellaan suuria tuottavuuslukuja ja hitsataan paksuja levyvahvuuksia. [24, s. 9.]

6.3.2 Langansyöttölaite

Nimensä mukaisesti langansyöttölaite syöttää lisäainelankaa langanjohtimeen ja sitä kautta hitsauspolttimelle. Langansyöttölaitteen toiminnalla on suuri merkitys hitsin laatuun. Hyvään hitsiin vaaditaan tasainen ja oikeanopeuksinen lisäainetuonti hitsaustapahtumaan. [26.]

6.3.3 Poltin

Polttimella hallitaan hitsauksen valokaarta ja lisäaineen syöttöä sulaan. Polttimessa virta siirtyy johtimesta lisäainelankaan ja siitä hitsattavaan työkappaleeseen. Sen tehtävänä on myös muodostaa sulan ympärille hapelta suojattu alue suojakaasulla. Tämän vuoksi myös poltin on hyvin tärkeässä roolissa onnistuneen hitsin luonnissa. [26.] Poltinpistooleja on saatavana vesijäähdytettynä ja vetorullilla varustettuna, joiden avulla saadaan varmuutta lisäainelangan tasaiseen syöttöön. [27]. Vesijäähdytys taas vähentää pistoolin kuumenemista pitkien kaariaikojen seurauksesta [26].

7 HITSAUSKUSTANNUSTEN LASKENTA

7.1 Syitä hitsauskustannusten laskentaan

Hitsauskustannusten laskennalla pyritään ymmärtämään paremmin prosessin kulujen määrää ja sitä, mistä ne muodostuvat. Kustannusten ymmärtämisen avulla voidaan esimerkiksi optimoida hitsausprosessia, kun tiedetään mihin asioihin vaikuttamalla saadaan suurin hyöty aikaan. Laskennalla voidaan myös selvittää investoinnin kannattavuutta. Investointi voi koostua esimerkiksi uuteen hitsaustekniikkaan siirryttäessä laitteiston, rakennustöiden ja koulutuksen hankinnasta. Kulujen laskennan avulla voidaan tutkia investoinnin kannattavuus ja tehdä hankintapäätös sen perusteella. Hitsauskustannusten ymmärtämisen avulla voidaan myös laskea tuotteiden valmistuksen kustannuksia ja käyttää näitä tietoja tarjousten laskennassa. [28, s. 49–54.]

7.2 Kustannusten muodostuminen MIG/MAG-käsinhitsauksessa

Käsinhitsauksessa suurimmasta kustannuksesta vastaa siihen käytettävä työvoima. Työvoiman lisäksi merkittävä osa kustannuksista muodostuu käytettävistä lisäaineista kuten hitsauslangasta ja kaasusta. Näiden lisäksi otetaan huomioon laitteiston hankintahinta ja kunnossapito sekä hitsaukseen käytettävä energia. Työvoimakustannusten suuruuden vuoksi hitsaukseen käytettävän ajan merkitys tuotannon tehokkuudessa on hyvin suuri. Tämän vuoksi hitsausprosessin eri vaiheita optimoidaan aikojen lyhentämiseksi. Lisäksi tuotteiden suunnittelulla on suuri merkitys hitsattavuuteen ja tarvittavaan hitsiainemäärään. Nämä taas vaikuttavat suoraan hitsausaikoihin ja lisäainekustannuksiin. [28, s. 65–85.]

7.3 Kustannusten muodostuminen robottihitsauksessa

Robottihitsaussolun kustannusrakenne on hyvin erityyppinen kuin käsinhitsauksessa. Kustannukset muodostavat alussa piikin laitteiston korkean hankintahinnan

vuoksi. Tämän jälkeen kustannukset voivat laskea manuaalihitsausta alhaisemmiksi tapauksesta riippuen. Kuten käsinhitsauksessakin, pitkällä aikavälillä suurinta kustannusta edustaa laitteistoa käyttävä työvoima. Lisäaineiden osalta voidaan päästä pienempiin lukemiin tasalaatuisuuden ja tarkan hitsausprosessin hallittavuuden avulla. Kunnossapitoon taas kuluu hieman enemmän rahaa kuin käsinhitsauksessa. [28, s. 65–85.]

7.4 Avainlukuja kustannusten laskentaan

Hitsauskustannusten laskentaan käytettäviä avainlukuja ovat mm. hitsiaineentuotto, hitsiainemäärä, hyötyluku ja paloaikasuhte [28, s. 68–73]. Seuraavaksi selitetään edellä mainittujen termien merkitykset.

7.4.1 Hitsiaineentuotto

Hitsiaineentuotto on hitsiin sulatetun lisäaineen määrä kaariajan suhteen. Kaariaika taas on nimensä mukaisesti aika, jonka valokaari palaa. Yleisesti yksikkönä käytetään kg/h. Hitsiaineentuotto vaihtelee hitsausvirran mukana. Se saadaan laskettua kaavasta 1. [28, s. 68–69.]

$$T = (T_{max} \times I_{kä}) / I_{max} \quad (1)$$

T = hitsiaineentuotto (kg/h)

T_{max} = hitsiaineentuotto enimmäisvirralla (kg/h)

$I_{kä}$ = käytetty hitsausvirta (A)

I_{max} = hitsausvirta enimmäishitsiaineentuotolla (A)

7.4.2 Hitsiainemäärä

Hitsiainemäärä muodostuu suunnitellusta hitsaussauman geometriasta. Määrä voidaan siis laskea railotilavuuden ja/tai halutun a-mitan mukaan. Teoreettinen laskenta ei yleensä anna kovin tarkkaa tulosta todellisesta hitsiainemäärästä kuitustuman ja hitsin kuvun muodon muuttuessa. Tarvittaessa nämäkin voidaan ottaa huomioon laskennassa. Hitsiainemäärä saadaan laskettua kaavalla 2, ja sen yksikkö on kg. [28, s. 73–74.]

$$M = A \times L \times q \quad (2)$$

$M = \text{hitsiainemäärä (kg)}$

$A = \text{hitsin poikkipinta – ala (m}^2\text{)}$

$L = \text{hitsin pituus (m)}$

$q = \text{hitsiaineen tiheys (kg/m}^3\text{)}$

7.4.3 Hyötyluku

Hyötyluvulla (N) tarkoitetaan sulatetun ja hyötyä tuottavan hitsiaineen suhdetta. Osa sulatetusta hitsiaineesta menee siis hukkaan esim. roiskeina. Hyötyluku voidaan laskea kokeellisesti tutkimalla hitsiaineentuottoa tai käyttämällä taulukoituja likiarvoja. Käytettäessä umpilankaa on hyötyluku n. 95 % niin käsin suoritettavassa kuin robotisoidussakin MIG/MAG hitsauksessa. Alla nähdään laskenta-kaava kokeelliseen hyötyluvun tutkintaan. [28, s. 69.]

$$N = (T/S) \times 100 \quad (3)$$

$N = \text{hyötyluku (\%)}$

$T = \text{hitsiaineentuotto (kg/h)}$

$S = \text{sulatusnopeus (kg/h)}$

7.4.4 Paloaikasuhte

Paloaikasuhte kertoo, kuinka monta prosenttia hitsausprosessiin käytetystä vaiheajasta valokaari palaa. Hitsausprosessissa aikaa voi kulua mm. kappaleen asettamisessa kiinnittimiin, lankakelan vaihdossa, suuttimen puhdistuksessa ja valmiiden kappaleiden siirtämisessä. Paloaikasuhte voi siis joissakin tapauksissa saada pienen arvon, joka taas näkyy prosessin tehokkuuden puuttumisena. Suhte saadaan laskettua kaavan 4 mukaan. [28, s. 71–72.]

$$e = t_{ka}/t_{va} \quad (4)$$

$e = \text{paloaikasuhte}$

$t_{ka} = \text{kaariaika}$

$t_{va} = \text{vaihe aika}$

Kustannusten laskenta

Hitsauksen kokonaiskustannukset koostuvat työ-, lisääine-, kone-, energia- ja kunnossapitokustannuksista. Kunnossapito- ja energiakustannuksista voidaan käyttää molemmista kahden prosentin arviota kokonaiskustannuksista. Hitsauksen osakustannukset saadaan laskettua kaavojen 5–9 avulla. [28, s. 85–89.]

$$\text{Työkustannukset } K_{Ty} (\text{€}) \quad (5)$$

$$K_{Ty} = (M \times T) \times (100/e) \times H_{Ty}$$

$M = \text{hitsiainemäärä (kg)}$

$H_{Ty} = \text{hitsaajan /operaattorin työtunnin hinta (€/h)}$

$T = \text{hitsiaineentuotto (kg/h)}$

$e = \text{paloaikasuhte}$

$$e = t_{ka}/t_{va}$$

t_{ka} = kaariaika

t_{va} = vaiheaika

Lisäainekustannukset K_{Li} (€) (6)

$$K_{Li} = M \times (100/N) \times H_{Li}$$

M = hitsiainemäärä (kg)

H_{Li} = lisäaineen hinta (€/kg)

N = hyötyluku (%)

Suojakaasukustannukset K_{Su} (€) (7)

$$K_{Su} = (M \times 0,06 \times V \times H_{Su})/T$$

M = hitsiainemäärä (kg)

0,06 = kerroin kaasunvirtaukselle, kun se annetaan yksikkönä l/min

V = kaasun virtaus l/min

H_{Su} = suojakaasun hinta (€/m³)

T = hitsiaineen tuotto (kg/h)

Konekustannukset K_{Ko} (€) (8)

$$K_{Ko} = (M/T) \times (100/e) \times H_{Ko}$$

M = hitsiainemäärä (kg)

H_{Ko} = koneen tuntihinta (€/h)

T = hitsiaineentuotto (kg/h)

e = paloaikasuhe (%)

Koneen tuntihinta H_{KoTu} (9)

$$H_{KoTu} = \left(H_{Ko} \times \left(\frac{1}{T_p} + \frac{p}{2 \times 100} \right) + Y \right) \times \frac{1}{T_K}$$

H_{Ko} = koneen ostohinta (€)

T_p = koneen poistoaika (a)

p = pääoman korkoprosentti (%)

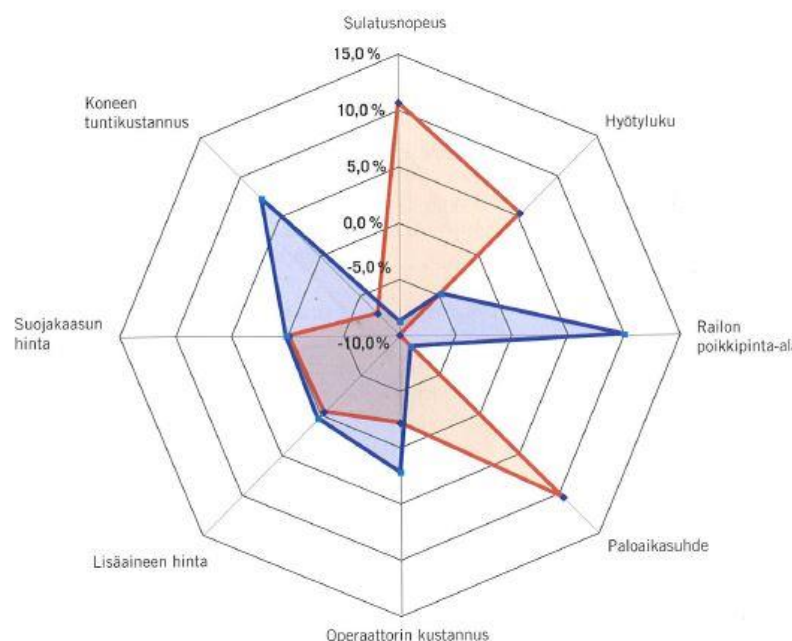
Y = koneen vuosittaiset huoltokustannukset (€)

T_K = koneen vuosittainen käyttöaika (h)

8 MUUTOSTEN VAIKUTUKSEN TARKASTELO HERKKYYSANALYYSILLÄ

Herkkyysanalyysin avulla voidaan arvioida, kuinka lähtötietojen muutokset vaikuttavat kokonaiskustannukseen. Näin voidaan löytää tekijät, joihin vaikuttamalla saadaan suurin hyöty aikaan. Analyysi toteutetaan muuttamalla laskennan arvoja vuorollaan kymmenen prosenttia suuremmiksi ja pienemmiksi alkuperäisistä arvoista. Hitsauskustannuksia tutkittaessa muutoksia voidaan tehdä esim. seuraaviin arvoihin: sulatusnopeus, hyötyluku, railon poikkipinta-ala, paloaikasuhde, hitsaajan/operaattorin tuntikustannus ja lisäaineen hinta. Tämän jälkeen verrataan muutetuilla arvoilla saatua kustannusta aikaisemmin laskettuun kokonaiskustannukseen. [28, s. 101–108.]

Muutosten havainnollistamiseksi voidaan käyttää sädekaaviota, jossa muutosten vaikutus ilmoitetaan prosentteina suhteessa aikaisemmin laskettuun kokonaiskustannukseen. Kuvassa 18 on sädekaavio herkkyyssanalyysistä, jossa punaisella värillä näkyy kulujen pienentämisestä aiheutuneet vaikutukset prosentteina kokonaiskustannukseen verrattuna. Sinisellä näkyvät vastaavasti alkuarvojen kymmenen prosentin noston vaikutukset. [28, s. 101–108.]



Kuva 18. Sädekaavio herkkyyssanalyysistä [28, s. 106].

9 TEOLLISUUDEN INVESTOINNIT

Kannattavan investoinnin tuottamat tulot ovat suuremmat kuin siihen käytettävät menot. Investointi teollisuudessa voi tarkoittaa esimerkiksi uuden koneen hankkimista tai uusien toimitilojen rakentamista. Investoinnin kohteena voi olla myös tuotekehitys tai mainonta. [28, s. 109.] Investoinneilla on pitkäaikaiset vaikutukset, joten yrityksen on tehtävä arvioita tulevaisuudesta. Kannattavuuteen voivat vaikuttaa mm. raaka-aineiden ja työvoiman hintojen vaihtelu sekä tuotteiden menekin muuttuminen. [29, s. 25.] Toisin sanoen mitä pitemmälle ajalle investointia suunnitellaan, sitä vaikeampi on arvioida tuottoon vaikuttavia tekijöitä.

Investoinnin kannattavuuden arviointiin on kehittynyt erilaisia laskumenetelmiä, joita voidaan käyttää apuna päätöksenteossa investointia suunniteltaessa. Päätöstä ei tule kuitenkaan perustaa pelkästään laskelmien pohjalle, koska niissä ei oteta kantaa esimerkiksi uusiin aluevaltauksiin tai tilauskannan muutoksiin. [30.] Seuraavaksi käydään läpi investointien kustannusten laskentaan liittyviä käsitteitä ja kaksi erilaista yleisesti käytössä olevaa laskentamenetelmää.

9.1 Pitoaika

Investoinnin kohteen arvioitua hyötyä tuottavaa aikaa kutsutaan investoinnin pitoajaksi. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi jonkin koneen fyysistä ikää, jonka aikana koneen käyttö on kannattavaa. Koneen pitoaika voi päättyä sen tullessa hyödyttömäksi tai uuden teknologian tehdessä vanhan koneen käytön kannattamattomaksi. [30.]

9.2 Jäännösarvo

Jäännösarvo kuvaa investoinnin kohteen arvoa pitoajan jälkeen. Jos investointihyödykkeen arvosta ei ole varmuutta pitoajan jälkeen eikä tiedossa ole selviä jälkimarkkinoita, oletetaan arvoksi nolla. Joidenkin kohteiden jäännösarvo voi myös muodostua negatiiviseksi esim. purkutöiden takia. [30.]

9.3 Laskentakorkokanta ja diskonttaus

Investoinnin tuottama tulo tulevaisuudessa on vähemmän arvokasta kuin tällä hetkellä, joten tulevaisuuden tulot on muutettava laskennallisesti nykyhetkeen. Tulojen arvon muuttumisen vuoksi pitkän ajan investoinneille on asetettava korkotuottovaatimus, joka ottaa huomioon rahan arvon heikkenemisen. Tulevaisuudessa tapahtuvan tulon arvo saadaan siirrettyä nykypäivään diskonttaamalla se. Tapahtuma on vastakohta koron lisäämiselle tiettyyn rahasummaan. [30.] Diskonttaus eli laskentakoron huomioonottaminen voidaan tehdä kaavalla 10 [28, s. 112].

$$NuV(0) = MA/(1 + r)^n \quad (10)$$

$NuV(0)$ = nykyarvo investointihetkellä

MA = maksu

r = laskentakorko

n = vuosien määrä

Investoinneille annetaan myös ohjeellisia korkotuottovaatimuksia investoinnin luonteeseen perustuen. Esimerkiksi lakiin tai määräyksiin perustuvilla investoinneilla ei anneta vaatimusta lainkaan, koska ne ovat käytännössä pakko toteuttaa. Markkina-aseman turvaamiselle ohjeellinen korkotuottovaatimus on Yritystulkkinettisivuston mukaan 6 %. Koneiden ja laitteiden uusinnalle tai peruskorjaukselle vaatimus taas on 10–12 %. [30.]

9.4 Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmässä investoinnin kulut jaetaan vuosittaisiksi kuluiksi investoinnin pitoajalle. Vuosittaisten kulujen selvittämisen jälkeen niitä voidaan verrata investoinnin tuottamiin tuloihin. Tulojen ja menojen erotuksesta saadaan projektin kokonaisannuiteetti. Positiivinen kokonaisannuiteetti kertoo investoinnin kannattavuudesta [28, s. 111–112].

Laskennassa otetaan aluksi huomioon investoinnin jäännösarvo nykyhetkellä. Jäännösarvo siis diskontataan kaavalla 10, johon jäännösarvo sijoitetaan ”maksun” kohdalle. Tämän jälkeen voidaan laskea investoinnin kustannus projektin alussa vähentämällä diskontattu jäännösarvo perusinvestoinnista. [28, s. 112.]

Seuraavaksi selvitetään annuiteettitekijä kaavalla 11. Annuiteettitekijän avulla saadaan laskettua investoinnin vuosittaiset kulut ottaen huomioon ajan edetessä vaikuttavan laskentakoron [28, s. 113].

$$f = r / (1 - (1 + r)^{-n}) \quad (11)$$

f = annuiteettitekijä

r = laskentakorko

n = vuosien määrä

Vuosittaiset menot saadaan nyt laskettua kaavalla 12.

$$An = NyA(0)_I \times f \quad (12)$$

An = vuosittainen maksu eli annuiteetti

$NyA(0)_I$ = Perusinvestoinnin kustannus projektin alussa,

josta vähennetty diskontattu jäännösarvo

f = annuiteettitekijä

9.5 Nykyarvomenetelmä

Tämän menetelmän avulla lasketaan investoinnin arvo nykyhetkeen. Tämä tapahtuu muuntamalla tulevaisuudessa tapahtuvien tulojen ja menojen arvot nykyhetkeen diskonttaamalla (kaava 10). Tulojen ja menojen erotuksen jälkeen tuloksen ollessa positiivinen on investointi kannattava. Investoinnin kannattavuutta laskettaessa voidaan tulojen ajatella olevan investoinnilla saatava säästö. Laskenta voidaan aloittaa vähentämällä diskontattu jäännösarvo investoinnin hinnasta. Tämän jälkeen lasketaan diskontatut säästöt koko investoinnin pitoajalle. Lopuksi säästöistä vähennetään investoinnin kokonaiskustannus. Laskennan eteneminen on selitetty tiiviimmässä muodossa sanallisesti kaavassa 13. Laskennan matemaattinen suoritus näkyy kaavassa 14. [28, s. 116.]

(13)

Nykyarvo = diskontatut säästöt tai nettotuotot – investoinnin kokonaiskustannus

(14)

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

NPV = Net Present Value = nettonykyarvo

C₀ = investoinnin kokonaiskustannus – diskontattu jäännösarvo

r = laskentakorkokanta

C_{1,2,3,...n} = Investoinnin tuottama säästö vuosina 1,2,3, ... n

10 TYÖNTUTKIMUS

Työntutkimuksella on tarkoitus kehittää tutkittavan työn suoritusta. Tutkimuksella voidaan haluta selvittää esimerkiksi työn ergonomiaa ja turvallisuutta. Ajallista mitausta taas voidaan käyttää apuna tuotannon suunnittelussa. Työntutkimus voidaan jakaa neljään erilaiseen osa-alueeseen, jotka käydään seuraavaksi lyhyesti läpi [31, s. 5–6.]

10.1 Menetelmätutkimus

Menetelmätutkimuksessa voidaan tutkia yksittäisten töiden suorittamistavan tehokkuutta, taloudellisuutta ja turvallisuutta. Tämän lisäksi voidaan tutkia myös suurempia kokonaisuuksia kuten yleisesti työympäristön tasoa hyvinvoinnin ja viihtyvyyden kannalta. [31, s. 5.]

10.2 Työn vakiinnuttaminen

Vakiinnuttamisella eli standardisoinnilla pyritään löytämään yksi oikea työtapa kullekin kohteelle. Tämän avulla saadaan tehokkain työtapa kaikkien työntekijöiden käyttöön. Saman työtavan ansiosta myös tuotannon laatuvariaatioita on helpompi seurata, koska vaihtelut eivät johdu erilaisista työmenetelmistä. [31, s. 5.]

10.3 Työnopastus

Työnopastuksella varmistetaan, että kaikilla työntekijöillä on samat lähtökohdat työn suorittamiseen. Opastaminen voi liittyä suoritustekniikkaan, työvaiheisiin ja ammattitaidon kehittämiseen. [31, s. 6.]

10.4 Työnmittaus

Työnmittauksella tutkitaan tiettyyn työhön käytettävää aikaa. Käytettävä aika riippuu käytettävästä menetelmästä ja tällä tavoin voidaan vertailla erilaisia työmenetelmiä keskenään. Mittauksen edellytyksenä on työtehtävän riittävä toistuminen ja vakiintuminen, jotta voidaan selkeästi määrittää mitä tutkitaan. Kertaluonteisen työn tutkimuksella ei ole merkitystä yrityksen tulevaisuuden kannalta. Lisäksi tutkimuksen kohde on kuvattava riittävällä tarkkuudella, jotta tutkimustuloksiin voidaan palata myöhemmin tietäen, mitä työvaiheita mittaukseen on sisällytetty ja miten työ on suoritettu. [31, s. 6.]

Hitsauksen robotisoinnin kannattavuutta arvioitaessa tarvitsee selvittää nykyisen käsinhitsauksen vaiheaika tarkasteltavan kappaleen hitsauksessa. Tässä kohdissa tulee tarpeelliseksi käyttää työnmittausta apuvälineenä vaiheajan selvittämiseksi.

11 SOLUN SUUNNITTELU JA TARJOUSPYYNNÖT

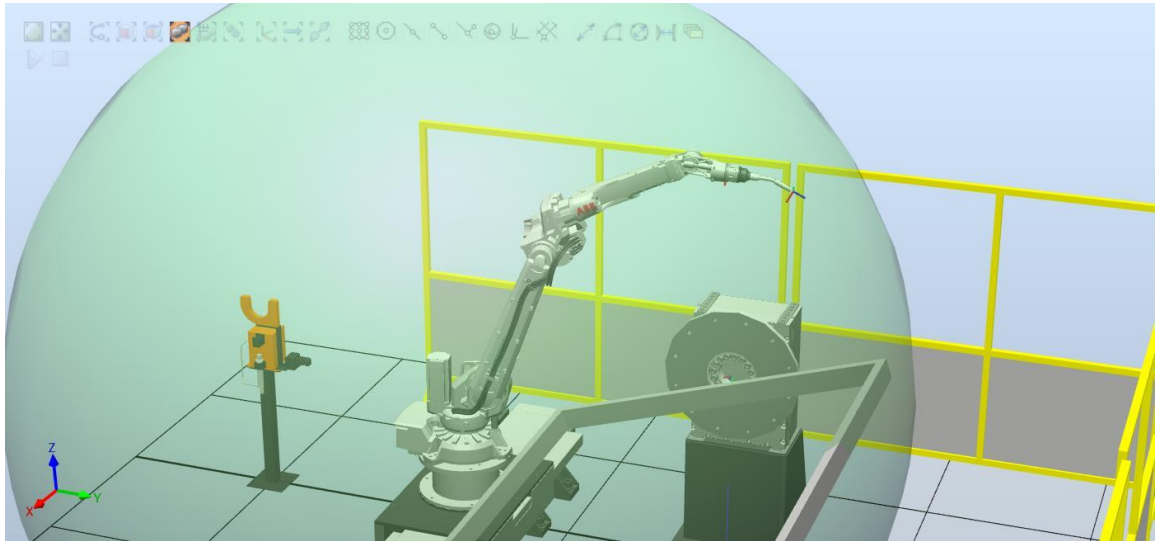
11.1 Solussa valmistettavat tuotteet

Solun suunnittelu alkoi valmistettavien tuotteiden selvittämisellä. Imagonilla tehtävien valomainosten koko ja rakenne vaihtelevat todella paljon ja tuotannon tehokkuutta rajoittaa tuotteiden asiakaskohtainen räätälöinti. Räätälöinti on kuitenkin useimmiten pakollista valomainosten erilaisten sijoituspaikkojen johdosta. Tästä seikasta johtuen sarjat jäävät hyvin pieniksi, mikä asettaa kovia vaatimuksia robottisolun ohjelmoitavuudelle ja muokattavuudelle. Tämän lisäksi solulla ei tulisi olla jatkuvaa ohjelmointitarvetta, mikä työllistäisi yhden ihmisen täysipäiväisesti.

Tämän ajatuksen johdosta lähdettiin miettimään suorakulmaisten valomainoskoteloiden ja opasteiden kehysrakenteiden valmistusmahdollisuutta robottihitsauksella. Kaikille kehyksille yhteistä on niiden suorakulmainen muoto. Niiden profiilit ja mitat kuitenkin vaihtelevat suuresti. Seuraavaksi tuli ajatus hitsausjigistä, joka olisi säädettävissä lineaarikiskojen avulla erikokoisille rakenteille. Tällöin samalla jigillä voitaisiin hitsata kaikki kehykset. Tämä edellyttää myös kaikille profiileille sopivien kiinnittimien suunnittelua. Vaihtoehtoisesti kiinnittimet voisivat olla nopeasti vaihdettavissa eri profiileja varten.

Robottihitsaussolussa tulisi siis pystyä hitsaamaan kehysrakenteita, jotka ovat suurimmillaan kuusi metriä leveitä ja kaksi metriä korkeita. Pienimmät valmistettavat rakenteet taas ovat korkeudeltaan ja leveydeltään noin metrin. Kokovaihtelun lisäksi kehyksissä käytettävä alumiiniprofiili vaihtuu usein. Profiilien seinämävahvuudet ovat n. kahdesta neljään milliin.

Solun mahdollista layoutia suunniteltiin RobotStudiolla, josta löytyy ABB:n toimitamat standardirobotit ja lisävarusteet. Selvennettäköön tässä vaiheessa, että ABB:n tuotteet robottisolun rakentamiseen eivät suinkaan olleet ainut vaihtoehto. RobotStudion käyttökokemuksen ja todenmukaisuuden vuoksi tällä ohjelmistolla asian tutkiminen tuntui luontevalta. Tässä voitiin myös varmistaa robotin ulottuminen tarvittaviin työkohteisiin. Kuvassa 19 nähdään robotin ulottuvuutta kuvaava alue robotin ympärillä.



Kuva 19. Robotin ulottuvuuden tarkastelu RobotStudiolla.

11.2 Kappaleenkäsittelylaite ja jigi

Valmistettavien kappaleiden suuruuden vuoksi grillityyppinen käsittelylaite soveltuu parhaiten tähän tarkoitukseen. Tämän avulla kappaletta saadaan pyöritettyä yhden akselin ympäri, mikä mahdollistaa hitsaamisen rakenteen molemmilta puolilta. Solun layout-suunnittelua varten valittiin ABB:n IRBP L-5000-käsittelylaite, jonka maksimikapasiteetti on 5000 kg. Kääntölaitteen kantokykyä tärkeämmäksi asiaksi nousee tässä tapauksessa kääntölaitteen kärkivälin muutettavuus. Kääntölaite ei ole yksi kiinteä kokonaisuus, vaan moottorilla ohjattu kääntöpää ja jigin toista päätä tukeva vastinpylkkä ovat erillään. [32.] Muokattavuus mahdollistaa kääntölaitteen käytön tuotekannan muuttuessa. ABB:n nettisivuilla olevien tuotetietojen mukaan tämä kääntölaite oli ainut, jolla kärkiväli saatiin riittävän suureksi. Myöhemmin kuitenkin selvisi, että myös pienemmän kantokyvyn käsittelylaitteita sai tarvittavalla seitsemän metrin jännevälillä.

Hitsattavan kappaleen kiinnitykseen tarvittava hitsausjigi tulee olla säädettävissä lineaarikiskoilla erikokoisille kehysrakenteille sopivaksi. Tähän löytyi valmiita ratkaisuja saksalaiselta Förster welding systems -yritykseltä. Kuvassa 20 näkyy yksi yrityksen tuotteista. Kyseinen käsittelylaite ei itsessään ole suoraan soveltuva robottikäyttöön, mutta kääntölaitteessa olevan säädettävän jigin saa myös kiinnitetynä robotille tarkoitettuun kääntölaitteeseen.



Kuva 20. Käsinhitsaukseen suunniteltu säädettävä jigi pyörityslaitteessa [33].

11.3 Robotti ja ohjainyksikkö

Hitsaussolun layout-suunnittelussa robotin valinnassa oli tärkeimpänä asiana robotin ulottuvuus tarvittaviin pisteisiin. Työkuorman pysyessä pienenä voitiin layout-suunnitteluun valita ABB:n IRB 2600ID, jonka käsittelykyky on 8 kg ja ulottuvuus n. 2 m. Tämä robotti on suunniteltu erityisesti kaarihitsaukseen. Robotin ranne on toteutettu siten, että hitsauspoltin saadaan kiinnitettyä kohtisuoraan ranteeseen ja kaapelit kuljetettua sen läpi. Tällä keinolla kaapeleita hallitaan paremmin robotin liikkuessa ja pienennetään takertumisriskiä merkittävästi. [7.]

ABB:n robotille sopiva ohjain tähän tarkoitukseen on ABB IRC5 single cabinet. Tällä ohjaimella saadaan suoraan ohjattua solussa tarvittavia toimintoja, kuten hitsauksen käskyjä ja kääntölaitteen ajoa. Kääntölaite toimii täten robotin yhtenä akselina, jolloin liikkeitä voidaan suorittaa synkronoidusti. [6.]

11.4 Lineaarirata

Robotin riittävän ulottuvuuden takaamiseksi tarvitaan maahan sijoitettava lineaarirata, jota robotti voi käyttää liikkumiseen työkohteen vierellä. Yksi mahdollinen ratkaisu olisi gantry-järjestelmä, josta robotti roikkuisi työkohteen yllä. Tätä ei kuitenkaan nähty tarpeelliseksi tähän käyttökohteeseen. Gantry-järjestelmä myös nostaisi solun hankintahintaa huomattavasti. Sopiva radan pituus tähän sovellukseen voisi olla noin seitsemän metriä. Rata saa olla hieman hitsattavaa kappaletta pitempi, jotta kappaletta päästään lähestymään tarvittaessa myös sivultapäin.

11.5 Hitsausvarustelu

Hitsausvarustelun tulee olla soveltuva alumiinin MIG-hitsaukseen ja hitsausparametrien säätö tulisi tapahtua robotin ohjelman mukaan. Tällöin parametrit olisivat muistissa robotin ohjelmassa ja muokkautuisivat kohteen mukaan sopiviksi. Tunnetuimpia hitsauslaitteiden valmistajia roboteille ovat Esab, Kemppi ja Fronius. Alumiinihitsauksessa tärkeä tekijä on langansyötön tasaisuus. Tämän vuoksi polttimeksi valitaan erityisesti alumiinihitsaukseen suunniteltu vetorullallinen polttin. Polttimen vetäessä langansyöttökoneen syötön lisäksi lisäainelanka saadaan kulkemaan tasaisesti robotin käsivartta myöten mutkittelevassa monitoimikaapelissa. Robotille tarvitaan myös polttimen huoltoyksikkö. Yksikön tehtävä on pitää polttin puhtaana, katkaista lisäainelanka määrättyyn mittaan ja kalibroida polttimen työkalukeskipiste oikeaan arvoon.

11.6 Turva-alue

Robotin turva-alueelle tulee estää pääsy robotin työskennellessä. Turva-alueen riittävän suojaustason lisäksi tulee miettiä helppoa luoksepäästävyyttä. Kappaleiden asettamiseen jigisiin ja varsinkin hitsatun kappaleen jigistä poistamiseen on varattava riittävän suuri aukko suoja-aitaa. Suoja-alueelle kulku on tapahduttava helposti ja mutkattomasti turvallisuuden sallimissa rajoissa.

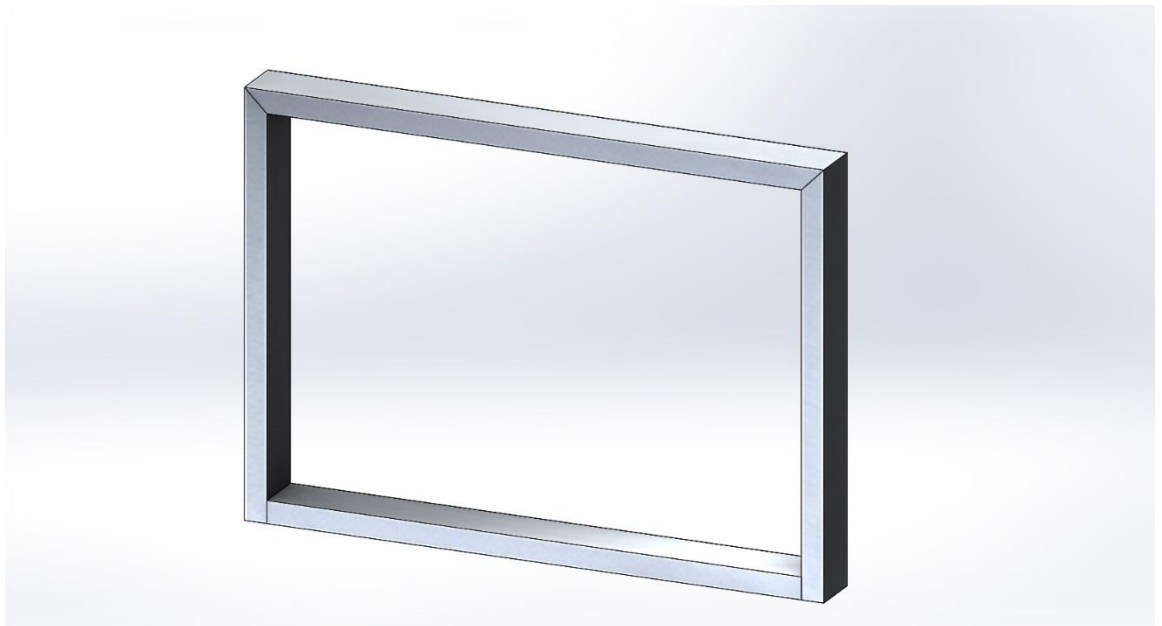
11.7 Tarjouspyynnöt

Solusuunnitelman perusteella lähetettiin tarjouspyyntöjä useille eri robottijärjestelmiä myyville yrityksille. Tarjouspyyntöjen yhteydessä tiedusteltiin kuvatus ohjelmistorakenteen toteuttamisen mahdollisuutta. Järjestelmätoimittajien vastauksien perusteella kyseinen ratkaisu onnistuisi. Tarkkaa hintaa ohjelmoinnille ei kuitenkaan vielä pystytty määrittämään, mutta riittävä käsitys hintaluokasta saatiin. Tarjouspyyntöjä lähetettiin myös jigisuunnitteluun liittyen, jotta saatiin käsitys säädettävän jigien kustannuksista. Yksi esimerkki lähetetyistä tarjouspyynnöistä löytyy liitteenä työn lopusta (liite 4).

12 HITSAUSKUSTANNUSTEN LASKENTA KÄSINHITSAUKSESSA

12.1 Tarkastelukohteen määrittäminen

Hitsauskustannuksen laskennan kohteeksi valittiin yhden tuotteen runkorakenne, jonka tuotanto on tällä hetkellä kohtalaisen tasaista viikosta toiseen. Tuotteen hitsaukseen kuuluu suorakulmaisen rungon kokoaminen neljästä mittoihinsa leikatusta suorakaideputkesta. Rungon yläreunan liitokset on viistetty 45° kulmaan ja alhaalla olevat liitokset taas ovat suoria nurkkaliitoksia. Kuvassa 21 on yksinkertaistettu malli tuotteen rungosta, jossa kuitenkin näkyvät tarvittavat liitokset.



Kuva 21. Yksinkertaistettu malli rungosta.

Käytettävä materiaali on siis alumiininen suorakaideputki, jonka seinämävahvuus on 4 mm. Profiilin ulkomitat ovat 100x30 mm. Liitokset hitsataan käsin MIG-hitsauskoneella ympäriinsä. Profiilien hitsaus tapahtuu työtason päällä, jossa kappaletta pyöritellään käsin haluttuun hitsausasentoon. Aluksi runko kasataan silloitushitsillä yhdeksi kokonaisuudeksi, jonka jälkeen hitsataan lopulliset saumat yhdellä palolla. Silloitushitsauksen aikana käytetään apuna pikapuristinta profiilien pitämiseksi paikallaan.

12.2 Työntutkimus

Työntutkimuksessa mitattiin hitsaukseen käytettävää aikaa ja kirjattiin kustannusten laskentaan tarvittavat tiedot, kuten hitsausvirta ja kaasunvirtausnopeus. Tarkeempi listaus laskennassa käytetyistä tiedoista ja avainluvista löytyy liitteenä 1 olevasta laskentataulukosta. Työhön käytettävän ajan mittaus suoritettiin kahdesti kahdella samanlaisella kappaleella ja laskentaan otettiin mittausten keskiarvot. Ennen työn aloitusta mitattiin kaasunvirtausnopeus hitsauspolttimen kaasusuuttimesta virtausmittarilla avulla.

Työn vaiheaika alettiin laskemaan käsinhitsauksessa siitä, kun hitsaaja aloitti kappaleiden asettelun työtasolle. Vaiheaika päättyi valmiin kappaleen pöydältä nostamiseen. Hitsauksen jälkeen ulkoreunat vielä viimeisteltiin hiomalla samassa hitsauspisteessä, joten välivarastoon viemistä ei ollut syytä tässä ottaa huomioon.

Kaariajan selvittämistä varten saumojen hitsaus ajastettiin. Ajastamisen lisäksi kaariajan voi selvittää myös laskennallisesti jakamalla hitsiainemäärän hitsiainentuotolla. Näiden kahden tavan välille saatiin eroa n.10 sekuntia. Ero johtuu mm. laskennallisen ja todellisen a-mitan vaihtelusta, joka taas viittaa suoraan polttimen kuljetusnopeuden vaihteluun. Lisäksi virhettä tulee jonkin verran hitsausta ajastettaessa.

Valmistettavan kappaleen teoreettinen hitsiainemäärä laskettiin pienahitseissä suunnitellun a-mitan mukaan. Tämän lisäksi hitsin poikkipinta-alaan otettiin huomioon pieni tunkeuma. Kehyksen ulkoreunoille tulevista nurkkaliitoksista laskettiin poikkipinta-alaan mukaan tunkeuma ja hitsin kupu. Tutkitun työn hitsiainemäärän voi selvittää myös langansyöttönopeuden, kaariajan ja hyötysuhteen avulla. Tässä laskentatavassa käytännössä lasketaan, kuinka monta kilogrammaa lankaa sulatetaan kaaren palaessa ja tämä luku kerrotaan kaarihitsaukselle tyypillisellä hyötyluvulla 0,95. Lopullinen hitsiainemäärä on siis vähän pienempi kuin syötetty lankamäärä. Tämä johtuu mm. roiskeista.

Muiden laskennassa käytettävien lukujen hankintaan käytettiin yrityksen ostotietoja sekä työntekijöiden haastattelua. Virhettä lopulliseen kustannuslaskentaan aiheuttaa jonkin verran mm. arviot hitsauskoneen vuosittaisesta käyttötuntimäärästä

sekä huoltokustannuksista. Käyttötuntimäärä laskettiin langankulutuksen perusteella sekä käyttämällä hitsareiden omaa arvioita päivittäisestä koneen käytöstä. Vuosittaisena käyttöaikana käytetään sitä aikaa, jolloin valmistettavaan tuotteeseen lisätään arvoa. Tässä tapauksessa se tarkoittaa hitsauskoneen kaariaikaa. Esimerkiksi robottihitsauksessa robotti siis todellisuudessa ”työskentelee” pitemmän ajan kuin laskennassa käytetyn vuosittaisen käyttöajan.

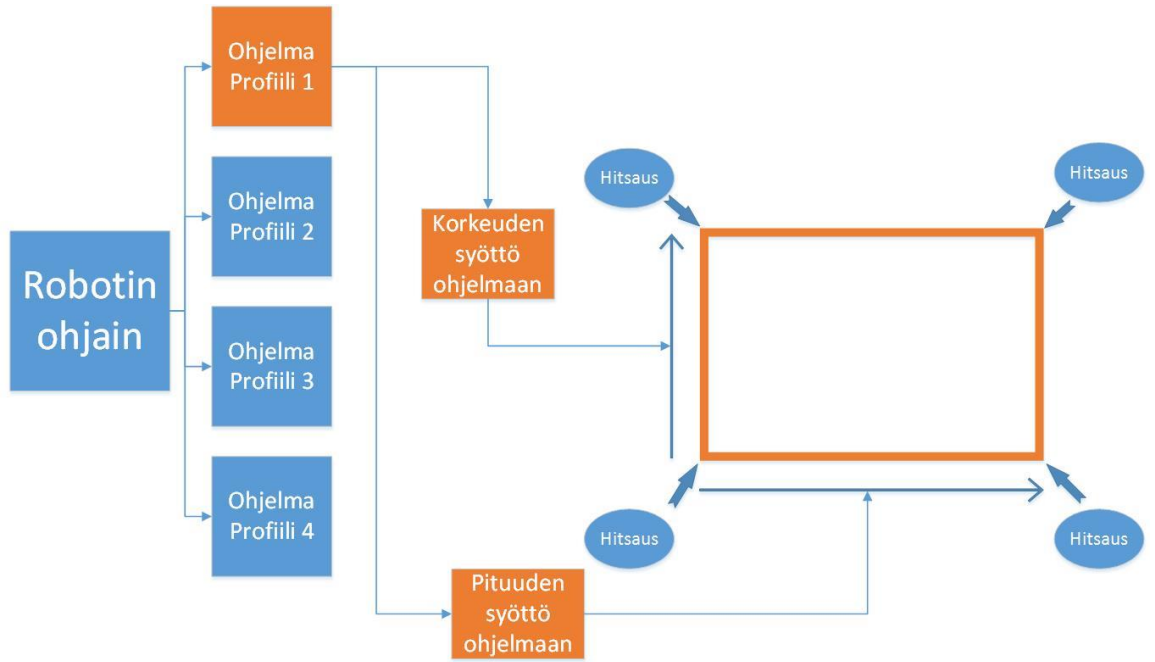
12.3 Kustannusten laskenta

Luvussa kuusi olevien kaavojen perusteella tehtiin Excel-laskentataulukko (liite 1), jolla saadaan laskettua hitsauksen kustannukset yhtä kappaletta kohti. Samalla saadaan myös hitsauskustannukset metriä kohden kyseiselle kappaleelle. Laskentataulukon avulla voidaan vähentää käsinlaskentaa huomattavasti. Lisäksi tämä selkeyttää, mitä kaikkia arvoja työntutkimuksessa lähdetään hakemaan. Taulukkolaskennan avulla on myös helppo laskea hitsauskustannukset uudelleen arvojen muuttuessa.

Itse tehdyn Excel-taulukon lisäksi laskennassa käytettiin apuna Carelsoftin ”Hitsari Kusti”- ohjelmiston demoversiota. Ohjelmiston demo- versiolla saa laskettua hitsauskustannukset yhtä metriä kohden. Oman taulukon ja ohjelmiston tulokset olivat yhtenevät.

12.4 Robotin ohjelmointi ja käyttöliittymä

Robotin ohjelmointi erikokoisille kehysrakenteille täytyy tapahtua hyvin nopeasti ja vaivattomasti ilman erityistä ohjelmoinnin osaamista. Tämän vuoksi robotille tulisi kehittää helppo käyttöliittymä oikean kehyskoon säätämiseksi. Tämä onnistuisi tekemällä valmiit ohjelmarungot kullekin eri kehysprofiilille ja muokkaamalla näitä halutun kehyksen ulkomittojen perusteella. Kuvassa 22 havainnollistetaan ohjelman muodostumista. Robotin muistissa olisivat siis valmiit hitsausparametrit ja liikeradat profiilin muotojen mukaan, jonka jälkeen näitä määrittäisi siirrettäisiin oikeisiin kohtiin XY-koordinaattien avulla.



Kuva 22. Ohjelman muodostaminen kaaviona.

13 KUSTANNUSTEN LASKENTA ROBOTTIHITSAUKSESSA

Robottihitsauksen kustannusten arvio perustuu RobotStudiolla saataviin simulointitietoihin ja robottitoimittajilta saatuihin tarjouksiin ja tietoihin robottisoluista. Kuten aiemmin sanottu, robottihitsauksessa laitteiston hinta nousee paljon suurempaan osaan kustannuksia laskettaessa. Robotilla tehtävässä hitsauksessa kappaleen asettamiseen kuluvasta käsittelyajasta saadaan tarkkaa tietoa vasta, kun kyseinen laitteisto voidaan testata käytännössä. Esimerkiksi jigien säätämiseen, arvojen syöttämiseen robotille ja kappaleen kiinnittämiseen kuluvista ajoista voidaan esittää nyt vain arvioita.

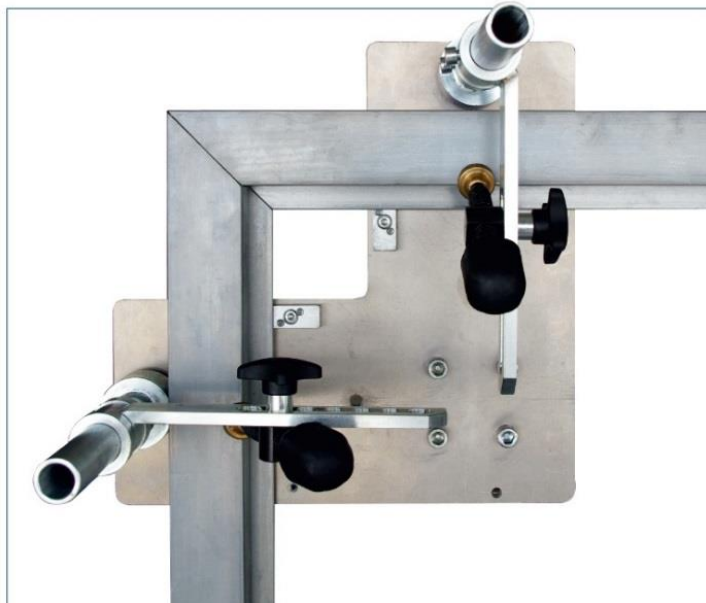
13.1 Vaihe- ja kaariaika

Työn vaihe aikaan kuuluu tässä tapauksessa kappaleen kiinnittäminen jigisiin, kappaleen heftaus robotilla, hitsaus, valmiin kappaleen poisto jigistä ja sen vieni toiselle työpisteelle viimeistelyhiontaa varten. Näiden aikojen lisäksi oletetaan, että hitsattava tuote vaihtuu viiden kappaleen välein. Viiden kappaleen välein siis suoritetaan jigien säätö, uusien arvojen syöttäminen robotille ja polttimen puhdistus. Tuotannon suuren vaihtelun takia on tuotteen tyyppin vaihtumisesta aiheutuva asetusaika syytä ottaa huomioon vaiheajassa. Asetusaika lisätään tuotteen vaiheajan jakamalla se tasan viidelle kappaleelle. Tällä tavalla laskettuna nykyisen käsinhitsauksen ja robottihitsauksen ajat ovat paremmin vertailtavissa.

Vaiheajan robottihitsausosuuden selvittämiseksi tehtiin hitsaussimulaatio RobotStudio ohjelmistolla. Simulaatiossa hitsattiin sama kappale, joka oli työntutkimuksen kohteena käsinhitsauksessa. Simulaatiossa käytettiin samaa polttimen kuljetusnopeutta, jota hitsaaja käytti keskimäärin aikaisemmin tutkitussa käsinhitsauksessa. Simulaatiosta saatiin selville hitsaukseen kuluva aika hyvällä tarkkuudella, koska mukaan tulevat oikean hitsausasennon hakemiseen tarvittavat kappaleen käännöt ja robotin liikkeet. Robotin hitsausprosessin ajaksi saatiin 237 sekuntia. Tämän lisäksi simulaatiosta saatiin tarkasti hitsauksen kaariaika, joka oli 108,5 sekuntia.

Kuten aikaisemmin todettu, oletetaan hitsattavan kappaleen tyyppin vaihtuvan viiden kappaleen välein. Tällöin yhden kappaleen vaiheikaan jiggin säädöstä ja robotin ohjelman muuttamiseen kuluva ajasta jää yksi viidesosa. Jiggin säätäminen tapahtuu korkeussuuntaan sähköisesti servomootoreiden avulla ja pituus-suuntaan käsin avaamalla pikalukitukset ja liikuttamalla tuet haluttuun kohtaan säätöpyörän avulla. Jiggin säätämiseen oletetaan kuluvan aikaa kolme minuuttia. Tämän lisäksi robotin ohjaimen on syötettävä halutun kehyksen mitat ja valittava käytettävä profiili. Tähän aikaa kuluu arviolta minuutti. Robotin polttimen huollon ajatellaan tapahtuvan myös tuotetyypin vaihtuessa. Polttimen huolto tapahtuu automaattisesti robotin ohjelman mukaan ja siihen kuluu aikaa noin 30 sekuntia. Näiden aika-arvioiden mukaan jokaisen tuotteen vaiheikaan lisätään 54 sekuntia.

Kappaleen asettaminen ja poistaminen jigistä kuuluu hitsauksessa käsittelyaikaan, joka lasketaan vaiheikaan. Kappale kiinnitetään jigisiin käsin kuvan 23 mukaisilla ruuvipuristimilla.



Kuva 23. Förster welding systemsin kiinnitinratkaisu [34]

Leikattujen osien kiinnittämiseen arvioidaan kuluvan aikaa yksi minuutti. Valmiin kappaleen poistaminen ja sen siirtäminen viereiselle hiontapisteelle vie taas aikaa

noin 30 sekuntia. Edellä mainittujen aikojen ja hitsaussimulaation mukaan vaihejaksi saadaan 6 min ja 21 s.

13.2 Hitsausparametrien muuttaminen

Yleisesti siirtymällä robotisoituun hitsaukseen myös hitsauksen parametreja saadaan hieman viilattua parempaan suuntaan. Parametrien trimmauksella saadaan lisää nopeutta hitsaukseen ja vähennettyä lisäaineiden kulutusta. Kyseisen kappaleen hitsauksessa ainakin kehyksen ulkopuolen nurkkaliitosten pois hiottavaa kupua voidaan pienentää robotin tekemän tarkan ja tasalaatuisen hitsausauman ansiosta.

Hitsausaikoja saadaan myös lyhennettyä hieman hitsiaineentuottoa nostamalla. Käytännössä tämä tarkoittaa hitsausvirran, langansyötön ja kuljetusnopeuden nostamista. Oletetaan, että kuljetus- ja langansyöttönopeutta saadaan nostettua viisi prosenttia käsinhitsauksen nopeuksista. Tämä on kohtalaisen maltillinen arvio verrattuna esimerkiksi kirjassa "Hitsaustalous ja tuottavuus" annettuihin esimerkkeihin. Tässä vaiheessa tulee kuitenkin arvioida parannukset hieman alakanttiin, koska parametrien muuttaminen pystytään toteamaan toimivaksi vasta testaamalla niitä käytännössä.

Kustannusten laskenta suoritettiin samalla Excel-laskentataulukolla kuin käsinhitsauksessakin. Laskennasta saadaan hitsauskustannukset yhtä hitsausmetriä- ja valmista kappaletta kohden.

14 TULOSTEN VERTAILU HITSAUSPROSESSEISSA

Käsinhitsauksen ja robottihitsauksen välille syntyi selvä ero vaiheaikoihin. Robottihitsauksella saatiin vaiheajaksi 6 min 21 s, kun taas käsinhitsauksessa sen mitattiin olevan 10 min 35 s. Kappaleiden tuotantoa voitaisiin siis tehostaa reilusti. Vaiheaikaa saadaan vielä lyhennettyä hieman, jos otetaan huomioon robottihitsauksella saavutettava hitsiaineentuoton nousu viidellä prosentilla. Tällöin vaiheajaksi saadaan 6 min 16 s.

Hitsauskustannuksissa saatiin myös selvät erot robotisoidun ja käsinhitsauksen välille. Jos hitsattavien kappaleiden menekki pysyisi samana kuin se on tällä hetkellä, nousisivat hitsauksen kustannukset robottihitsauksessa noin kaksinkertaisiksi tämänhetkisiin käsinhitsauksen kustannuksiin verrattuna. Kehysten menekki tulisi siis nousta reilusti, että robottihitsaus olisi kannattavaa.

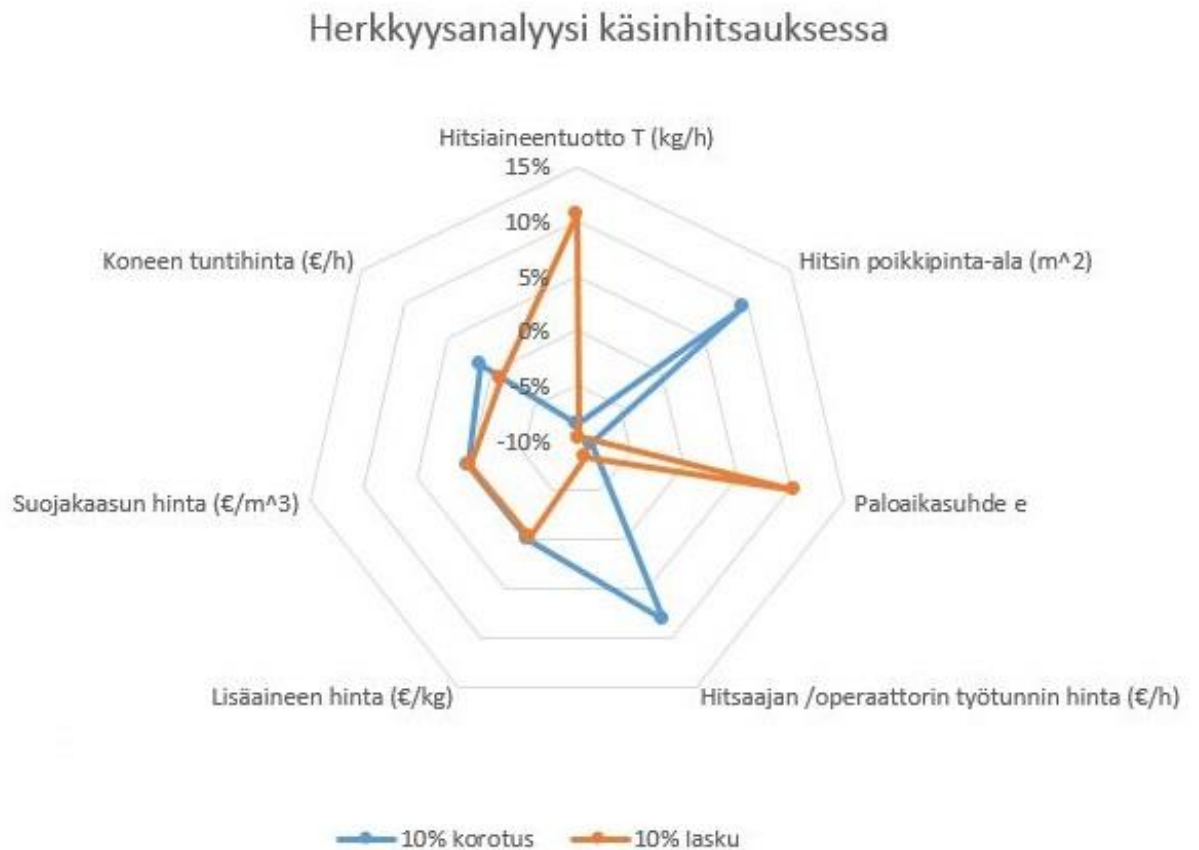
Hitsauskustannusten kova nousu johtuu robotin vähäisestä käyttöasteesta. Käsinhitsauksessakaan hitsauskoneen käyttöaste ei ole kovin suuri, ja jos hitsaus siirretään robotille menekin pysyessä samana, laskee käyttöaste vielä hieman alemmas robotisoidun hitsauksen nopeuden myötä. Ilman menekin nousua robotti siis olisi ”työtön” suurimman osan ajasta.

Laskennan tulokset ovat hyvin oletetun kaltaiset, kun tuotteiden menekki oletetaan pysyvän samana. Seuraavaksi voidaan tutkia, kuinka paljon enemmän tuotteita pitäisi tehdä, että hitsaus olisi kannattavaa toteuttaa robotilla. Tämä voidaan yksinkertaisesti tehdä muuttamalla laskennassa käytettävää robotin vuotuista käyttöaikaa suuremmaksi ja vertaamalla sitä tämänhetkiseen.

Hitsauksen kustannuksissa päästään lähelle nykyisiä käsinhitsauksen arvoja vasta kun tuotanto kolminkertaistetaan. Tästä ei siis kerry vielä yhtään säästöä, jolla järjestelmä maksaisi itsensä takaisin.

Robotisoidulle hitsaukselle ei tässä tapauksessa ole mielekästä suorittaa herkkyysanalyysiä, koska kymmenen prosentin nousuilla ja laskuilla laskennan alkuarvoissa ei ole tässä tapauksessa merkitystä kannattavuuden kannalta. Käsinhit-

sauksen osalta taas analyysistä nähtiin hyvin, mitkä tekijät vaikuttavat eniten hitsauksen kokonaiskustannuksiin. Analyysin kuvaaja, joka näkyy kuvassa 24, tehtiin kustannusten laskennan yhteydessä Excel-ohjelmistolla.



Kuva 24. Herkkyyksanalyysi käsinhitsauksessa

Suurimmat tekijät käsinhitsauksen kuluissa ovat siis hitsiaineentuotto, hitsin poikkipinta-ala, paloaikasuuhde ja hitsaajan työtunnin hinta. Näitä tekijöitä muuttamalla saadaan suurimmat tulokset aikaan hitsauksen kustannuksissa.

15 INVESTOINTILASKENTA

Investointilaskenta suoritettiin annuiteettimenetelmällä ja nykyarvomenetelmällä. Annuiteettimenetelmällä siis saadaan investoinnin vuosittaiset kulut näkyviin, ja nykyarvomenetelmällä lasketaan investoinnin lopullinen arvo nykyhetkeen. Laskenta suoritettiin kahdella tavalla. Ensimmäisessä oletettiin, että tuotteiden menekki pysyy investoinnin pitoajan lähellä tämän hetken keskiarvoista määrää. Tämän lisäksi laskenta suoritettiin siten, että tutkittiin, kuinka paljon säästöä tulisi kertyä jokaisena vuonna, jotta hankinta maksaisi itsensä takaisin. Laskentaa suoritettiin opinnäytetyötä tehdessä Excel-ohjelmistolla. Laskuista on kuitenkin annettu esimerkkisuoritukset kohdissa "15.2" ja "15.3". Laskennoista on peitetty robottijärjestelmän hinta ja investoinnilla saatavat vuotuiset säästöt. Työn lopussa olevista liitteistä löytyy kuvat laskennassa käytetyistä Excel-taulukoista. Annuiteettimenetelmän laskentataulukko näkyy liitteessä 2 ja nykyarvomenetelmän liitteessä 3

15.1 Investointilaskennassa käytetyt arvot

Investoinnin kannattavuuden laskentaan tarvittiin mm. laskentakorko/ investoinnin tuottovaatimus, investoinnin pitoaika, robottijärjestelmän hinta ja laitteiston jäännösarvo. Investoinnin tuottovaatimukseksi otettiin Yritystulkki-nettisivuston ohjeiden mukaan 8 %. Valinta perustuu siihen, että investoinnilla pyritään turvaamaan markkina-asemaa sekä uusimaan konekanta.

Investoinnin pitoajaksi valittiin kahdeksan vuotta. Käytännössä hitsausrobottisolun käyttöikä on kuitenkin 10–15 vuotta tekniikan kehityksestä riippuen. Uudet mullistavat keksinnöt taas voivat laskea hyödyllistä käyttöikää tekemällä vanhan teknologian käytön kannattamattomaksi. Oletetaan kuitenkin, että näin ei tule tapahtumaan ja otetaan pitoajaksi maltillinen kahdeksan vuotta.

Robottijärjestelmän hinta saatiin selville useille yrityksille lähetettyjen tarjouspyyntöjen perusteella. Useimmat tarjoukset saatiin budjettitarjouksina, joten lopullinen

hinta voi näistä vielä hieman vaihdella. Kannattavuuden tutkintaa varten tästä saatiin kuitenkin riittävän tarkka käsitys, kuinka paljon laitteisto tulisi maksamaan. Tarjouksiin sisältyi laitteisto, asennus, testaus ja koulutus hitsaussolun käyttöön. Näiden lisäksi on hintaan vielä otettava huomioon hitsausjigin valmistaminen ja robotin ohjelmointi. Kyseisen järjestelmän jäännösarvoksi pitoajan lopussa arvioitiin 35000 €.

15.2 Laskenta annuiteettimenetelmällä

Aluksi diskontataan järjestelmän arvioitu jäännösarvo nykyhetken kaavalla 10

$$\text{Jäännösarvon nykyarvo} = \frac{35000\text{€}}{(1 + 0,08)^8} = 18909\text{€}$$

Tämän jälkeen selvitetään annuiteettitekijä valitun laskentakoron ja pitoajan mukaan kaavalla 11.

$$\text{Annuiteettitekijä} = \frac{0,08}{1 - (1 + 0,08)^{-8}} = 0,174$$

Nyt saadaan laskettua investoinnin vuosittaiset kulut kaavalla 12. (Järjestelmän hinta ja vuosittaiset kulut peitetty)

$$\text{Vuosittaiset kulut} = (\text{xxxxx €} - 18909\text{€}) * 0,174 = \text{xxxxx €}$$

Kokonaisannuiteetti saadaan nyt vähentämällä investoinnin vuosittaiset kustannukset vuosittaisista säästöistä. Vuosittaiset säästöt määritetään tässä tapauksessa hitsauskustannusten laskennan avulla vertaamalla käsin- ja robottihitsauksen kuluja keskenään. Kokonaisannuiteetin jäädessä positiiviseksi on investointi kannattava.

$$\begin{aligned} \text{Kokonaisannuiteetti} &= \text{vuosittaiset säästöt €} - \text{vuosittaiset kustannukset €} \\ &= \text{xxxxx €} \end{aligned}$$

15.3 Laskenta nykyarvomenetelmällä

Kuten aikaisemmin todettu, nykyarvomenetelmällä lasketaan koko investoinnin arvo nykyhetken diskonttaamalla arvioidut tulevaisuuden säästöt sekä vähentämällä näistä investoinnin kokonaiskustannukset. Jos lopputulos jää positiiviseksi, voidaan investointia pitää kannattavana. Alla kaavan 13 mukainen laskentaesimerkki, josta on peitetty järjestelmän hinta ja vuotuiset säästöt.

$$\begin{aligned}
 NPV = & -(investoinnin kokonaiskustannukset) \\
 & + \left(\frac{xxxxx}{(1 + 0,08)^1} + \frac{xxxxx}{(1 + 0,08)^2} + \frac{xxxxx}{(1 + 0,08)^3} + \frac{xxxxx}{(1 + 0,08)^4} \right. \\
 & \left. + \frac{xxxxx}{(1 + 0,08)^5} + \frac{xxxxx}{(1 + 0,08)^6} + \frac{xxxxx}{(1 + 0,08)^7} + x \frac{xxxx}{(1 + 0,08)^8} \right) = xxxxxx \text{ €}
 \end{aligned}$$

15.4 Investointilaskennan tulokset

Kuten hitsauskustannusten laskennan jälkeen voitiin todeta, ei robottijärjestelmän hankinta tuotteiden nykyisen menekin mukaan kannata vähäisen käyttöasteen vuoksi. Investointilaskennassa oli siis tässä tapauksessa selvitettävä, kuinka suurella säästöllä saataisiin peitettyä investoinnin kulut. Tämän laskennan kautta saadaan myös selville, kuinka paljon hitsauskustannusten tulisi alentua, jotta kyseinen säästö saavutettaisiin. Hitsauskustannusten aleneminen taas saadaan aikaan tuotteiden valmistusmäärää ja tätä myötä robotin käyttöastetta nostamalla.

Laskennan edetessä kävi ilmi, että robottihitsauksen saaminen kannattavaksi vaatisi kyseisten tuotteiden menekin moninkertaistumista. Vain tällä tavalla saataisiin robotille riittävä käyttöaste hitsauksen kustannusten alentamiseksi.

16 YHTEENVETO

Investoinnin toteuttamisella olisi monia vaikutuksia yrityksen päivittäiseen toimintaan. Ensimmäisenä tulisi lähteä miettimään tuotteiden modularisointia, jolla mahdollistettaisiin samankaltaisten rakenteiden käyttö suurimmassa osassa kotelovalomainoksia. Tällä saataisiin aikaan hyvin robottihitsaukseen soveltuvia toistuvia rakennetyyppejä. Tuotteiden rakenteiden tulisi siis olla tarkkaan ennalta määriteltäviä. Koteloiden rakenne vaihtelee tällä hetkellä mm. sijoitustavasta johtuvien lujuudellisten vaatimusten takia. Jos siirryttäisiin robotisoituun hitsaukseen, tulisi selvästi määritellä erilaisiin kohteisiin menevien rakenteiden vaatimukset ja valmistaa kotelo aina samalla periaatteella.

Jos tuotteiden menekki kasvaisi niin, että robottihitsaus tulisi kannattavaksi, aiheuttaisi se myös hitsaustyön jälkeisiin vaiheisiin lisää panostusta. Esimerkiksi maalaukseen ja kokoonpanoon pitäisi luultavasti hankkia lisää resursseja. Tämän lisäksi hitsattavien kappaleiden laatuvaatimukset kasvavat. Mittavirheet liitettävissä kappaleissa täytyvät olla pieniä, jotta hitsaus robotilla onnistuu. Hitsauksen jälkeistä hiontaa taas saataisiin nopeutettua robottihitsauksen tasalaatuisen lopputuloksen ansiosta.

Robotisoinnilla saataisiin siis nostettua valomainoskoteloiden tuotantoa reilusti, mikä mahdollistaisi tarvittaessa suurempien sarjakokojen tuottamisen kuin tällä hetkellä. Kotelotyyppiset valomainokset vastaavat kuitenkin vain osaa yrityksen tuotteista ja kannattavuutta ajatellen kyseisten tuotteiden menekki ei näytä olevan riittävä robotisoidun hitsauksen kulujen kattamiseksi.

Lopuksi haluan kiittää kaikkia tarjouksen tehneitä sekä Imagonilla vierailleita robottijärjestelmätoimittajia. Ilman tarjouksia kannattavuuden arviointia ei olisi ollut mahdollista suorittaa. Lisäksi saatiin paljon uutta tietoa robotiikan soveltamismahdollisuuksista. Kiitokset myös Carelsoftille työn tukemisesta!

LÄHTEET

- 1 Imagon kotisivut – Palvelut, <https://imagon.com/fi/palvelut/>, luettu 24.2.2017
- 2 Kangas M. 2016. Tuotantopäällikkö, Imagon Oy, henkilökohtainen tiedonanto. 10.11.2016
- 3 KAMK – tutkimus ja kehitys – projektit – kone- ja kaivostekniikka – Robokai, <https://www.kamk.fi/fi/Tutkimus-ja-kehitys/Projektit/Kone--ja-kaivostekniikka/Robokai>, luettu 1.3.2017
- 4 Kuivanen R. Robotiikka, Vantaa: Tummavuoden kirjapaino; 1999.
- 5 QUARC target library, poimittu 3.1.2017 http://www.quanser.com/Products/quarc/documentation/kuka_axes.gif
- 6 ABB - robot controllers - IRC5, <http://new.abb.com/products/robotics/controllers/irc5>, luettu 4.1.2017
- 7 ABB – robots – IRB 2600ID, <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-2600id>, luettu 4.1.2017
- 8 Fanuc- robots- M-2000 Series, <http://www.fanuc.eu/uk/en/robots/robot-filter-page/m-2000-series>, luettu 4.1.2017
- 9 Mikkonen T. Fanuc-robotin käyttöoppaan kehittäminen : opinnäytetyö : tampereen ammattikorkeakoulu; 2012
- 10 ABB – Robotics – application software – production screen, <http://new.abb.com/products/robotics/application-software/production-screen>, poimittu 13.2.2017
- 11 ABB – Robotics – applications by industry – robot welding, <http://new.abb.com/products/robotics/applications-by-industry/robot-welding>, poimittu 21.2.2017

- 12 ABB – robots – IRB 14000, <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/yumi>, luettu 6.1.2017
- 13 Motomaninet – käyttöohje DX100 - aloittajan opas, ftp://motomaninet.motoman.se/Open_folder/Flexman/02-Controller/, luettu 6.1.2017
- 14 ROBOTIQ – force torque sensors, <http://robotiq.com/products/robotics-force-torque-sensor/>, luettu 6.1.2017
- 15 ROBOTIQ – 2-finger adaptive grippers, <http://robotiq.com/products/adaptive-robot-gripper/>, luettu 7.1.2017
- 16 Schunk – gripping systems – magnetic gripper – GSW-M, http://de.schunk.com/de_en/gripping-systems/series/gsw-m/, poimittu 10.1.2017
- 17 ABB – application equipment and accessories - workpiece positioners – IRBP D, <http://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/workpiece-positioners/irbp-d>, luettu 11.1.2017
- 18 ABB – vision systems – integrated vision, <http://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/vision-systems/integrated-vision>, luettu 11.1.2017
- 19 Meuronen I. Tuottavuuden parantaminen robottihitsauksella – keinoja kilpailukyvyn parantamiseksi -. Hitsaustekniikka 3/2011, <http://www.shy-hitsaus.net/SHY/Hitsaustekniikkalehti.aspx>, luettu 12.1.2017
- 20 Sipola T. Robotit luovat työtä lähitulevaisuudessa – perinteiset toimijat vilkuilevat googlea. Yle 14.11.2016, <http://yle.fi/uutiset/3-8751153>, luettu 12.1.2017
- 21 Fanuc – Spot welding robots – R-1000iA series, http://www.fanucrobotics.com/cmsmedia/datasheets/R-1000iA%20Series_176.pdf, luettu 12.1.2017

- 22 Motoman/Yaskawa – tuotteet – portaalit – TSG, http://www.motoman.fi/fi/tuotteet/portaalit/product-view/?no_cache=1&tx_catalogba-sic_pi1%5Buid%5D=173&cHash=11f8ccbd0ceb3c39880f1eb6791c5d1a, luettu 13.1.2017
- 23 ESAB – Esabin osaamiskeskis – MIG/MAG- Hitsaus, <http://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/mig-mag-hitsaus.cfm>, Luettu 13.1.2017
- 24 AGA – käytännön ohjeita MIG MAG hitsaukseen, <http://cdn1.utbudet.com/storage/ma/2a47aa83f98845e299cbcd1de75c71a1/f9c1db4a604d4ef1aba92c79ea95a411/pdf/C7342A3511473362763A81607AF938F4EEEEB6008/AGA%20K%C3%A4yt%C3%A4nn%C3%B6n%20ohjeita%20MIG%20MAG%20hitsaukseen.pdf>, luettu 13.1.2017
- 25 Fronius – press releases – robotic welding system increases productivity and availability, http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-7D4C2A98-8EF22924/fronius_international/hs.xsl/79_20055_ENG_HTML.htm?inc=83026.htm#.WHibE1WLR6s, poimittu 13.1.2017
- 26 TWI-global – technical knowledge – equipment for MIG welding, <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/equipment-for-mig-welding-015/>, luettu 13.1.2017
- 27 Esab – MIG-hitsauskoneet – MIG- pistoolit, <http://www.esab.fi/fi/fi/products/index.cfm?fuseaction=home.productsbycategory&catId=10>, luettu 16.1.2017
- 28 Stenbacka N. Hitsaustalous ja tuottavuus, Tampere, Eräsalon kirjapaino Oy, 2011
- 29 Ali-Yrkkö J. Teollisuuden investoinnit ja rahoitustekijät, Helsinki, Elinkeinoelämän tutkimuslaitos, 1998

- 30 Yritystulkki – toimiva yrittäjä – investoinnin laskenta, <http://www.yritystulkki.fi/fi/alue/cursor/toimiva-yrittaja/investoinnin-laskenta>, luettu 27.1.2017
- 31 Teknologianinfo – paikallinen sopiminen – työsuhdeasiat -Työntutkimuksen käsitteitä, menettelytapoja ja käyttökohteita <https://teknologia-info.net/fi/content/ty%C3%B6ntutkimuksen-k%C3%A4sitteit%C3%A4-menettelytapoja-ja-k%C3%A4ytt%C3%B6kohteita-pdf-muodossa>, luettu 23.2.2017
- 32 ABB – robotics - application equipment and accessories - workpiece positioners – IRBP L, <http://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/workpiece-positioners/irbp-l>, luettu 17.1.2017
- 33 Förster welding systems – frame welding fixtures <http://www.forster-welding-systems.com/en/jigs-fixtures/frame-welding-fixtures.html>, poimittu 20.2.2017
- 34 Förster welding systems – frame welding fixtures – clamping elements for welding table, <http://www.forster-welding-systems.com/en/jigs-fixtures/frame-welding-fixtures.html>, poimittu 24.2.2017

LIITTEET

Avainlukuja			
			Hitsiaineentuotto T (kg/h)
T=	#VALUE!	kg/h	Laskettu sulatusnopeuden ja hyötyluvun avulla $T = (T_{max} \times I_{kä}) / I_{max}$
T_max=		kg/h	T_max=hitsiaineentuotto enimmäisvirralla (kg/h)
I_kä=		(A)	I_kä=käytetty hitsausvirta (A)
I_max=		(A)	I_max=hitsausvirta enimmäishitsiaineentuotolla (A)
			Hitsiainemäärä M (Kg)
M=	#VALUE!	kg =	#VALUE! g $M = A \times L \times q$
A=	xx	mm ² =	#VALUE! m ² A=hitsin poikkipinta-ala (m ²)
L=	xx	mm =	#VALUE! m L=hitsin pituus (m)
q=	xx	kg/m ³	q=hitsiainen tiheys (kg/m ³)
			Hitsityyppi 2
M=	#VALUE!	kg =	#VALUE!
A=	xx	mm ² =	#VALUE!
L=	xx	mm =	#VALUE!
q=	xx	kg/m ³	
M_yhteensä	#VALUE!	kg	
			Hyötyluku N (%)
N=	xx	=	95 % Käytetään likiarvoa 0,95=95% $N = T / S \rightarrow S = T / N$
T=	#VALUE!	kg/h	T=hitsiaineentuotto (kg/h)
S=	#VALUE!	kg/h	S=sulatusnopeus (kg/h) Laskettu langansyöttönopeudesta
			Paloaikasuhte e
e=	#VALUE!	=	#VALUE! $e = t_{ka} / t_{va}$
t_ka=	xx	s	t_ka=kaariaika
t_va=	xx	s	t_va=vaiheaika
			Työkustannukset
			Työkustannukset KTy (€)
K_Ty =	#VALUE!		$K_{Ty} = (M / T) \times (100/e) \times H_{Ty}$ Kirjassa virhe s.87
M=	#VALUE!	kg	M = hitsiainemäärä (kg)
H_Ty=	xx	€/h	H_Ty=hitsaajan /operaattorin työtunnin hinta (€/h)
T=	#VALUE!	kg/h	T=hitsiaineentuotto (kg/h)
e=	#VALUE!	%	e=paloaikasuhte (%)
			Lisäainekustannukset
			Lisäainekustannukset KLi (€)
K_Li =	#VALUE!		$K_{Li} = M \times (100/N) \times H_{Li}$
M=	#VALUE!	kg	M=hitsiainemäärä (kg)
H_Li=	xx	€/kg	H_Li=lisäaineen hinta (€/kg)
N=	95	%	N=hyötyluku (%)

Suojakaasukustannukset			Suojakaasukustannukset KSu (€)				
K_Su	#VALUE!	€	K_Su=(M × 0,06 × V × H_Su)/T				
M=	#VALUE!	kg	M=hitsiainemäärä (kg)				
Kerroin	0,06		0,06=kerroin kaasunvirtaukselle, kun se anetaan yksikkönä l/min				
V=	xx	l/min	V=kaasun virtaus l/min				
H_Su=	xx	€/m ³	H_Su=suojakaasun hinta (€/m ³)				
T=	#VALUE!	kg/h	T=hitsiaineen tuotto (kg/h)				
Konekustannukset			Konekustannukset KKo (€)				
K_Ko	#VALUE!	€	K_Ko=(M/T)×(100/e) × H_Ko				
M=	#VALUE!	kg	M=hitsiainemäärä (kg)				
H_Ko=	#VALUE!	€/h	H_Ko=koneen tuntihinta (€/h)				
T=	#VALUE!	kg/h	T=hitsiaineentuotto (kg/h)				
e=	#VALUE!	%	e=paloaikasuhe (%)				
Koneen tuntihinta			Koneen tuntihinta HKoTu				
H_KoTu	#VALUE!		H_KoTu = {H_Ko × [1/T_p + p / (2 × 100)] + Y} × 1 / T_K				
H_Ko	xx	€	H_Ko=koneen ostohinta (€)				
T_p	xx	vuotta	T_p=koneen poistoaika (a)				
p	xx	%	p=pääoman korkoprosentti (%)				
Y	xx		Y=koneen vuosittaiset huoltokustannukset (€)				
T_K	xx		T_K=koneen vuosittainen käyttöaika (h)				
Kunnossapitokustannukset			2% kokonaiskustannuksista				
K_ku	#VALUE!	€					
Energia-kustannukset			2% kokonaiskustannuksista				
K_en	#VALUE!	€					
Kokonaiskustannukset			#VALUE!	€/kpl	=	#VALUE!	€/m

Annuiteettimenetelmä			
diskontattu jäännösarvo	18909,41	€	$NuV(0) = MA / (1 + r)^n$ $NuV(0) = \text{nykyarvo investointihetkellä}$
Arvioitu jäännösarvo	35000		MA=maksu
laskentakorko	0,08		r=laskentakorko
vuosien määrä	8		n=vuosien määrä
Annuiteettitekijä	0,174015		$f = r / (1 - (1 + r)^{-n})$
			f=annuiteettitekijä
Laskentakorko	0,08		r=laskentakorko
Vuosien määrä	8		n=vuosien määrä
Vuosittaiset kulut	#ARVO!	€	$A_n = NyA(0)_I \times f$ An=vuosittainen maksu eli annuiteetti
Investoinnin hinta	xxxxx		
Investointi - jäännösarvo	#ARVO!		$NyA(0)_I = \text{Perusinvestoinnin kustannus projektin alussa, josta vähennetty jäännösarvo}$
Annuiteettitekijä	0,174015		f=annuiteettitekijä
Kokonaisannuiteetti	#ARVO!	€	Vuosittainen säästö - vuosittaiset kulut
Vuosittaiset kulut	#ARVO!	€	
Vuosittaiset säästöt	xxxxx	€	

Nykyarvomenetelmä					
säästöt				Diskontattu säästö	
	Vuosi			Vuosi	
	1	xxxxx		1	#ARVO!
	2	xxxxx		2	#ARVO!
	3	xxxxx		3	#ARVO!
	4	xxxxx		4	#ARVO!
	5	xxxxx		5	#ARVO!
	6	xxxxx		6	#ARVO!
	7	xxxxx		7	#ARVO!
	8	xxxxx		8	#ARVO!
				Yhteensä	#ARVO!
Laskentakorko		0,08			
Investoinnin hinta	xxxxx	€			
Arvioitu jäännösarvo	35000	€			
Investoinnin pitoaika	8	vuotta			
Jäännösarvon nykyarvo		18909,41			
Nykyarvo = investoinnin hinta - diskontatut säästöt					
Nykyarvo		#ARVO!			

Hei!

Olen tekemässä insinööriä hitsauksen robotisoinnin kannattavuuteen liittyen Imagon Oy:ssä. Mahdollisen robotihitsauksen kohteena olisivat suorakulmaiset valomainosten runkorakenteet. Rakenteet koostuvat suorakulmaisista alumiiniprofiileista, joihin koneistetaan täällä halutut reiät, urat ja viisteet. Tutkin olisiko hitsaustyö kannattavampaa siirtää robotille nykyisen käsinhitsauksen sijaan. Toivoisin siis saavani tarjouksen hitsaussolusta, joka olisi valmis MIG-alumiinihitsaukseen. Tarjoukseen tulisi sisältyä ainakin:

- Hitsausrobotti
- Robotin ohjain
- Lineaarirata
- Työkappaleen käsittelylaite
- MIG-alumiinihitsausvarustelu
- Polttimen huoltoyksikkö
- Turva-alue
- Kosketukseen perustuva railonseuranta(hitsauslangalla)
- Mahdollisuus offline-ohjelmointiin
- Koulutus solun käyttöön
- Myös laseriin/konenäköön perustuvaa railonseurantaa voidaan harkita
- Robotihitsauslaitteisto tulisi toimittaa asennettuna ja käyttövalmiina

Idea tässä suorakulmaisten runkojen hitsauksessa olisi seuraavanlainen. Käsittelylaitteessa oleva jigi olisi säädettävissä lineaarikiskolla erikokoisille kehysrakenteille. Robotin hitsausohjelma muodostettaisiin siten, että ennen hitsausta robotin ohjaimen syötetään kehysten halutut ulkomitat ja profiilin leveys/paksuus. Annetut arvot muokkaavat robotin ohjelman halutulle kehyskoolle sopivaksi. Edestäpäin katsottuna jigin vasen alareuna olisi liikkumaton, joka toimisi "Origona" jokaisessa kehyksessä. Itselläni on jonkun verran kokemusta ABB- rapid ohjelmoinnista ja tuollainen ohjelma tuntuisi olevan saavutettavissa. Ohjelmaan ei kuitenkaan tarvitse tässä tapauksessa perehtyä vielä syvällisemmin, mutta jonkinlaisen hinta-arvion siitä voisi antaa. Myös kokeneen ohjelmoijan mielipiteet ja ajatukset olisivat asiasta hyvin tervetulleita!

Hitsattava runko itsessään painaa alle 100kg, mutta jigin painoa ei ole vielä tiedossa. Liitteenä olevasta Robotstudiolla tehdystä layout-kuvasta näkee paremmin mahdollisen robotisolun rakenteen. Kappaleen käsittelylaite on grillityyppinen, jonka kärkiväli tulisi olla vähintään 7m, koska suurin hitsattava runkorakenne olisi 6x2m(kuvassa). Käsin hitsauksessa käytettävä virta vaihtelee tällä hetkellä n. 80- 150A. Robotin radan tulisi olla n. 7m pitkä ja robotin ulottuvuus n.2m tai enemmän. Mallissa on käytetty ABB IRB 2600ID robottia. Varmasti jotakin tärkeää on mainitsematta, joten olkaa yhteydessä! Tärkeintä olisi saada suuntaa antava hintatieto kannattavuuden vertailua varten.

Saku Timonen

Imagon oy

Takojankatu 13 87400 Kajaani

