

Jani Ahde

Robottihitsaustyöympäristön kehittäminen

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Tekniikan yksikkö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Jani Ahde

Työn nimi: Robottihitsaustyöympäristön kehittäminen

Ohjaaja: Martti Lehtonen

Vuosi: 2014

Sivumäärä: 46

Liitteiden lukumäärä: 1

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa Kankaanpään lähialueiden yritysten robotisoinnin tarvetta ja edistää Sataedun ”hitsauksen robotisointi” -hanketta. Yrityksille pyritään tarjoamaan mahdollisuus tulla Sataedun tiloihin, jossa voidaan suorittaa koehitsauksia sekä testata erilaisia hitsausparametreja omille käsin valmistettaville tuotteille. Tavoitteena on myös yhdessä yritysten kanssa suunnitella, valmistaa ja testata hitsauskiinnittimiä, sekä opastaa ja kouluttaa hitsausrobotin käyttöä tuotteiden valmistuksessa.

Tässä työssä tullaan perehtymään lähialueiden yritysten hitsauksen robotisoinnin tarpeeseen ja tuotannon tehostamisen halukkuuteen. Lisäksi tehtiin yhdelle yritykselle valmis hitsausohjelma Sataedun robotilla sekä kustannuslaskelma, jotta robotisoinnin hyödyt saatiin konkretisoitua.

Tutkimustuloksista selviää, millainen suhtautuminen lähialueiden yrityksillä on hitsauksen robotisointiin, sekä minkälaisia hyötyjä robotisoinnista on. Tuloksista selviää myös, miten kyseinen tuote soveltui robotisoitavaksi ja mitä eroa tuotteen robotisoinnilla on verrattuna käsin valmistukseen.

Avainsanat: hitsaus, robotti, robottihitsaus, yritysyhteistyö, robotisoinnin kartoitus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Machine Automation

Author: Jani Ahde

Title of thesis: Improving the working environment of robotic welding

Supervisor: Martti Lehtonen

Year: 2014

Number of pages: 46

Number of appendices: 1

The purpose of this thesis was to survey the companies' needs for automation in the surroundings of Kankaanpää and to promote the "robotized welding" -project of Sataedu. The goal was to offer an environment in Sataedu, where companies can do their own experimental welding and test different welding parameters on their own manually manufactured products. The goal was also to co-operate with the companies and help them to design, manufacture, and test welding fixtures and train the usage of the welding robot.

This thesis got acquainted with the companies in the neighbouring areas of Kankaanpää, regarding automation needs and the willingness to enhance the manufacturing of products. To concretize the benefits of automation, a finished welding program was made with Sataedu's robot and cost sheet for one company.

The end results revealed the companies' attitude to automation and its benefits to the companies. The results also revealed how the selected product is suitable for robotization and how the process differs from manual manufacturing.

Keywords: welding, robot, welding robot, company co-operation

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO	5
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET.....	6
1 JOHDANTO	7
1.1 SATAEDU	7
1.2 Taustaa	8
2 ROBOTTIHITSAUS.....	9
2.1 Teollisuusrobotti.....	9
2.2 Ohjelmointi.....	9
2.2.1 Johdattamalla ohjelmointi.....	10
2.2.2 Opettamalla ohjelmointi.....	10
2.2.3 Etäohjelmointi	10
2.3 Robottityypit	11
2.4 Hitsausrobotti	13
2.5 Kappaleenkäsittelypöydät	14
2.6 Hitsauskiinnittimet	15
2.7 Robottihankinnan kannattavuus.....	16
2.7.1 Robottijärjestelmän investointikustannuksia.....	16
2.7.2 Robottiikkajärjestelmän käyttökustannuksia.....	16
2.7.3 Yhteenveto kannattavuudesta.....	17
2.8 Hitsaus	18
3 OPINNÄYTETYÖPROSESSIN VALMISTELU	19
4 HITSUKSEN ROBOTISOINNIN KARTOITUS	21
4.1 Yhteydenotot.....	21
4.2 Yritysvierailut.....	21
4.3 Yhteenveto.....	25
5 ROBOTTISOLU	26

5.1	YASKAWA MOTOMAN MH6 -hitsausrobotti.....	26
5.2	MOTOMAN MT1-250 S2N -pyörityslaite	28
5.3	MOTOMAN HSD-500 SX -grilli	29
6	TYÖN ETENEMINEN.....	30
6.1	Työn vaatimukset ja valmistautuminen	30
6.2	Työntörungon alaosan kiinnittäminen pyörityspöytään.....	31
6.3	Työvaiheet	32
6.4	Koehitsaukset.....	34
6.5	Ohjelmaesimerkki.....	35
6.6	Automaattiajo ja tulokset	37
6.7	Pohdintaa työntörungon alalevyn robotisoinnista	38
7	KUSTANNUSLASKELMA	39
7.1	Kustannuslaskelman pohdintaa	41
8	YHTEENVETO.....	43
	LÄHTEET	45
	LIITTEET	47
	Liite 1. Työntörungon alaosan AutoCAD-piirustus	48

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Sataedu:n logo (Sataedu 2014.)	7
Kuva 2. Suorakulmainen robotti (Epson 2014).....	11
Kuva 3. Sylinterirobotti (Elettronica Veneta 2014.).....	11
Kuva 4. Scara-robotti (KR5 SCARA 2014.).....	12
Kuva 5. Kiertyvänivelinen teollisuusrobotti (Mitsubishi 2014.).....	12
Kuva 6. Motoman hitsausrobotti (Motoman 2014.)	13
Kuva 7. Kappaleenkäsittelypöytä (Panasonic Industrial 2014.)	14
Kuva 8. Hitsauskiinnitin.....	15
Kuva 9. Käsin hitsattu mallikappale kuljettimesta.....	20
Kuva 10. Heftattu työntörungon alaosa.....	24
Kuva 11. Sataedun robottisolu	26
Kuva 12. Yaskawa Motoman MH6 -hitsausrobotti	27
Kuva 13. DX 100.....	27
Kuva 14. MT1-250 S2N -pyörityslaite	28
Kuva 15. HSD-500 SX -grilli.....	29
Kuva 16. Koehitsauksia	30
Kuva 17. Hitsauskiinnitys	31
Kuva 18. Hitsausasentoja (Hitsausasennot 2014.)	33
Kuva 19. Ohjelmaesimerkki	35
Kuva 20. Valmis työkappale kiinnitettynä ja hitsattuna.....	37
Taulukko 1. Hitsausajan vertailu	40
Taulukko 2. Hintojen vertailu.....	40
Taulukko 3. 500 kappaleen valmistuskustannukset ja aika.....	41

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

Hefti	Pieni hitsauspiste
NC	Numeerinen ohjaus (Numerical Control)
a-mitta	Hitsisauman paksuus
pinch-voima	Puristusvoima, jonka magnetismi aiheuttaa sähköä johtavaan hehkulankaan.

1 JOHDANTO

1.1 SATAEDU

Sataedu on Satakunnan koulutuskuntayhtymä, joka koostuu ammattioppilaitoksista Harjavallasta, Huittisista, Kankaanpäästä, Kokemäeltä, Nakkilasta, ja Ulvilasta. Sataedu järjestää toisen asteen ammatillista perustutkinto-, lisä- ja täydennyskoulutusta nuorille ja aikuisille. Nuorille suunnatusta koulutuksesta voi valmistua yli 20 eri ammattiin jonka lisäksi Sataedu vahvistaa aikuisten ammatillista osaamista. Sataedussa opiskelee noin 3000 opiskelijaa ja henkilökuntaa on noin 400. (Sataedu 2014.)



Kuva 1. Sataedu:n logo (Sataedu 2014.)

Opinnäytetyö tehdään Sataedu Kankaanpään aikuispuolen metalliosastolle, joka on osa Sataedu Kankaanpään toimipistettä. Sataedu Kankaanpää koostuu kahdesta toimipaikasta, joista toinen on suunnattu nuorten koulutukseen ja toinen aikuiskoulutukseen. Sataedu Kankaanpään aikuispuolen oppilaitos tarjoaa koulutusta metalli-, rakennus-, liiketalous- ja puhtaanapitoalalta sekä suunniteltuja koulutuskokonaisuuksia yrityksille. Henkilökuntaa Sataedu Kankaanpään aikuispuolen oppilaitoksella on noin 30 ja opiskelijoita on noin 50. (Sataedu Kankaanpää 2014.)

1.2 Taustaa

Satakunnan koulutuskuntayhtymä haki EU:lta rahoitusta Hitsauksen robotisointi -nimiselle projektille vuonna 2012. Projektin on tarkoitus olla osa Pohjois-Satakunnan elinkeinotoiminnan kehittämiskokonaisuutta liittyen keskeisesti teeman ”hitsausinstituutti” alle. Projektia on valmisteltu tiiviissä yhteistyössä alueen yritysten kanssa. Projektiin on rahallisesti osallistunut metalliteollisuuteen keskittyneitä yrityksiä Kankaanpäästä, Porista, Raumalta ja Kokemäeltä. Lisäksi mukana on kolme Parkanolaista yritystä, jotka ovat varsinaisen toteutusalueen ulkopuolelta, mutta työskentelevät vastaavan osaamisalueen parissa. Sataedun toimesta kyseisiä yrityksiä on haastateltu heidän tarpeistaan ja tulevaisuuden suunnitelmistaan erityisesti tukevia osaamisvaatimuksia ajatellen. (Eura 2007 2014.)

Projektilla haetaan ratkaisua hitsaavan teollisuuden toimintaympäristön kehittämiseen nostamalla tuottavuutta. Seutukunnan konepajojen kilpailukyvyn ylläpitäminen vaatii selkeästi tuotannon robotisointia. Toiminnan tehostamiseen kuuluu olennaisesti sekä hitsauksen että kappaleen käsittelyn robotisointi. Oppilaitoksen yhteyteen rakennettavan robottisolun on tarkoitus auttaa yrityksiä jäsentämään omia robotisointitarpeitaan sekä tarjoaa heille ympäristön koesarjojen tekoon. (Eura 2007 2014.)

Yritysyhteistyö on avainsana. Tämän projektin tavoite on tuoda robotit lähialueiden yrityksille tutuiksi, sekä opastaa ja tukea heitä kaikella mahdollisella tavalla jotta töitä riittäisi pitkälle tulevaisuuteen. Ideana on tarjota yrityksille mahdollisuus tulla Sataedun tiloihin, jossa voidaan keskustella yritysten tarpeista ja kertoa mitä kaikkea robotilla voi ja kannattaa tehdä.

2 ROBOTTIHITSAUS

2.1 Teollisuusrobotti

Robotin määrittelemisen yksikäsitteisesti on vaikeaa. Teollisuusrobotti voidaan määrittellä toimilaitteiden, ohjelmointitavan, nivelrakenteensa ja käyttötarkoituksen perusteella monella tavalla. (Aaltonen 1997, 141.) ISO 8373 standardin mukaan teollisuusrobotti on *”uudelleen ohjelmoitavissa oleva monipuolinen vähintään kolminivelinen mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa”* (SFS-EN ISO 8373 1994).

Yksinkertaistettuna teollisuusrobotti on mekaaninen kone, joka siirtää työkalun kiinnityslaippaa halutulla tavalla. Liikerata voi olla kokonaan etukäteen määritetty, toimintaympäristön tapahtumien perusteella valittava tai antureiden perusteella liikkeiden aikana luodut. Robotin jalustan ja työkalun välissä on tukivarsia, joita nivelet liittävät toisiinsa. Niveleitä liikuttavat takaisinkytkettyjen servotoimilaitteiden avulla. (Kuivanen 1999, 13.)

Suomen robotiikkayhdistyksen vuoden 2012 tilastoista käy ilmi, että teollisuusrobottien pääasialliset tehtävät ovat kappaleenkäsittely ja hitsaus sekä kokoonpanotehtävät. Maalauksessa ja mekaanisessa leikkauksessa on myös jonkin verran robotteja käytössä, mutta selvästi vähemmän kuin edellä mainituissa kolmessa suuremmassa ryhmässä. (Teollisuusrobottitilasto 2012, 4.)

2.2 Ohjelmointi

Ohjelmoinnin perustehtävänä on saada robotin työkalu liikkumaan halutun työtehtävän vaatimalla tavalla. Toinen keskeinen tehtävä on saattaa robotin toiminta synkroniin ympäryslaitteiden avulla tuotannon muiden laitteiden ja laitteistojen kanssa. Tämä tapahtuu antamalla ohjauksen avulla robotille liikettä vastaava numeerinen liikeinformaatio, jonka robotin mekaniikka muuntaa liikeradoiksi. Ohjaus tapahtuu NC-tekniikan tavoin numeerisina liikekäsytinä. (Keinänen ym. 2001,

313.) Yleisimmät ohjelmointitavat ovat: johdattamalla ohjelmointi, opettamalla ohjelmointi ja etäohjelmointi (Kuivanen 1999, 78).

2.2.1 Johdattamalla ohjelmointi

Johdattamalla ohjelmoinnissa robotin käsivarren toimilaitteet vapautetaan ja ihminen liikuttaa työkalua lihasvoimin niin, että haluttu liikerata tulee suoritetuksi. Nivelten paikka-antureiden lukemat tallennetaan liikkeiden aikana instrumenttinauhuriin. Kun liikkeitä toistetaan, yhdistetään nauhuri nivelten toimilaitteiden säätöpiireihin ohjearvoksi ja nauhaa kelataan joko alkuperäisellä tai vähän muutetulla nopeudella. Yleisin käyttökohde tällä menetelmällä oli aikanaan maalauksessa, sillä vaikka liikeradat eivät toistuneet kovin tarkasti, maalauksen jälki oli silti hyvää. Tämän vanhanaikaisen menetelmän vaikeuksia olivat mm. ohjelman muuttamisen hankaluus; yleensä ohjelmointi täytyi aloittaa alusta jos siihen haluttiin muutoksia, Magneettinauhoja oli hankala käsitellä ja arkistoida sekä ohjelmasta oli vaikea saada tarkkaa. (Kuivanen 1999, 78.)

2.2.2 Opettamalla ohjelmointi

Opettamalla ohjelmointi tapahtuu siten, että viedään työkalu haluttuun paikkaan käsiohjaimen avulla ja tallennetaan paikoituspiste muistiin. Samaan paikoituspisteeseen tallennetaan myös jokin tietty liikekäsky, joka kertoo robotille, miten ja millä nopeudella haluttuun pisteeseen saavutaan. (Kuivanen 1999, 79.)

2.2.3 Etäohjelmointi

Etäohjelmoinnilla eli offline-ohjelmoinnilla tarkoitetaan yleisimmin mallipohjaista ohjelmointijärjestelmää. Mallipohjainen etäohjelmointi tarkoittaa robotin ohjelmointia ilman tuotantorobottia, tuotannon ulkopuolisessa tietokoneessa käyttäen 3D graafista käyttöliittymää ja robotin ja sen oheislaitteiden simulointimalleja sekä

hyödyntäen valmistettavan tuotteen suunnittelun 3D-muototietoa. (Kuivanen 1999, 81.)

2.3 Robottityypit

Yleisimmät robottityypit ovat: suorakulmaiset robotit, sylinterirobotit, Scara-robotit ja kiertyväniveliset robotit (Kuivanen 1999, 16).

- Suorakulmaisten robottien kolme ensimmäistä vapausastetta ovat lineaarisia. Tyypillisin nimitys tämänkaltaiselle robotille on portaalirobotti. Sen rakenne on tuettu työalueen nurkista palkeilla. (Kuivanen 1999, 16.)



Kuva 2. Suorakulmainen robotti (Epson 2014)

- Sylinterirobottien nimitys on peräisin niiden sylinterikoordinaatistosta (Kuivanen 1999, 17).



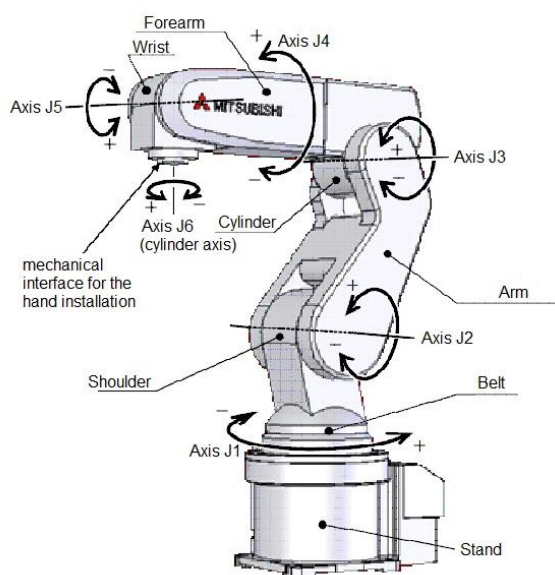
Kuva 3. Sylinterirobotti (Elettronica Veneta 2014.)

- Scara-robotti eli, Selective Compliance Assembly Robot Arm, on tiettyyn suuntaan joustava kokoonpanorobottikäsivarsi. Scara-robotin kolmella kiertävällä nivelellä työkalu saadaan tasolle oikeaan kohtaan ja kiertymäkulmaan. Neljäs lineaarinen pystyliike on työtason normaalin suuntainen. Scara-robotti muistuttaa ihmisen vaakatasossa liikkuvaa käsivartta, mutta ran-teeseen on asennettu pystyjohde. (Kuivanen 1999, 16.)



Kuva 4. Scara-robotti (KR5 SCARA 2014.)

- Kiertyvänivelisessä robotissa kaikki vapausasteet ovat kiertyviä. Nämä ovat yleisimpiä teollisuudessa käytettyjä robotteja. (Kuivanen 1999, 16.)



Kuva 5. Kiertyvänivelinen teollisuusrobotti (Mitsubishi 2014.)

2.4 Hitsausrobotti

Hitsausrobotti on tavallinen teollisuusrobotti, jolla on työkaluna esim. kaarihitsauspistooli. Suomessa yleisin robottityyppi hitsauksessa on kiertyvänivelinen robotti, jolla on 6 vapausastetta eli niveltä. Hitsaukseen riittäisi viisikin vapausastetta, sillä hitsauslangan kiertymäkulmalla itsensä ympäri ei ole merkitystä, mutta nykyään lähes kaikissa kiertyvänivelisissä roboteissa on kuusi vapausastetta. Tämä mahdollistaa hitsausrobottien käytön muissakin työtehtävissä, kun hitsauspistoolin tilalle vaihdetaan jokin toinen työkalu, esimerkiksi tarttuja. (Kuivanen 1999, 13–16.)



Kuva 6. Motoman hitsausrobotti (Motoman 2014.)

2.5 Kappaleenkäsittelypöydät

Kappaleenkäsittelypöydät ovat robotikkajärjestelmän keskeinen osa. Pöytien avulla työkappale paikoitetaan robottiin ja työhön nähden halutulla tavalla. Pöytien paikoittamiseen käytetään nykyään lähes poikkeuksetta servomootoreita. Nämä robotin ulkoiset akselit on integroitu osaksi robottiohjainta, jolloin niiden hallittavuus on robotin omien akselien veroista. (Kuivanen 1999, 112–113.)



Kuva 7. Kappaleenkäsittelypöytä (Panasonic Industrial 2014.)

Yksinkertaistettuna kääntöpöydät kääntelevät kappaletta robotille suotuisiin asentoihin, jotta robottikäden ei tarvitse tehdä mahdottomia liikkeitä. Kääntöpöytien avulla mahdollistetaan myös robottikäden pääsy vaikeampiin paikkoihin, kun kappaleen asentoa muutetaan. Esimerkiksi kaarihitsaus on tuottavinta suorittaa jalkoasennossa, jolloin kääntöpöydällä voidaan kappale kääntää siten, että robotti voi hitsata tuotetta jalkoasennossa.

2.6 Hitsauskiinnittimet

Hitsauskiinnittimet eli jigit ovat apuvälineitä, joilla työkappale kiinnitetään robotin pyörityspöytään. Kiinnittimiä käytetään myös fyysisen suorituksen helpottamiseksi, työn nopeuttamiseksi ja laadun parantamiseksi. Kiinnittimen pääasiallinen tehtävä on pitää kaikki työkappaleen hitsattavat osat asemassa toisiinsa nähden koko hitsauksen ajan. Tällöin kiinnitin muodostaa kiinteän kokonaisuuden, joka on suunniteltava ja valmistettava huolella, jotta se toimisi odotetulla tavalla. Usein kiinnittimet ovat hyvin pitkälle spesifioituja aputyövälineitä ja ne on rakennettu vain kyseistä valmistusta palvelemaan. (Lepola & Makkonen 2005, 373.)



Kuva 8. Hitsauskiinnitin

Hitsauskiinnittimien muita perustehtäviä ovat mm. työn laadun parantaminen, työturvallisuuden lisääminen, raaka- ja lisäainekustannuksien säästäminen, työn nopeuttaminen ja taloudellisen hyödyn kasvattaminen ja työntekijän fyysisen rasituksen vähentäminen (Lepola & Makkonen 2005, 373).

2.7 Robottihankinnan kannattavuus

Teknisten määrittelyjen tueksi robotisointihankkeesta on tehtävä tarkat investointilaskelmat. Robotisoinnin kannattavuus selvitetään samoilla kriteereillä kuin muiden resursseista kilpailevien investointien kannattavuus. Painotukset ja tietyt automatisoidun järjestelmän erityispiirteet on kuitenkin syytä ottaa huomioon, jotta saadaan totuudenmukainen kuva investoinnin kannattavuudesta. (Kuivanen 1999, 109–110.) Robotisointihankkeen taloudelliset laskelmat kannattaa jakaa kahteen erään: investointikustannuksiin ja käyttökustannuksiin (Aaltonen 1997, 165).

2.7.1 Robottijärjestelmän investointikustannuksia

Investointikustannukset koostuvat robotin hankintakustannuksista eli ostohinnasta, suunnittelukustannuksista eli robotin asennuksesta ja käyttöönotosta sekä työvälineiden ja oheislaitteiden hankintakustannuksista kuten tarraimien hankinnasta, syöttölaitteista, ruuvivääntimistä, paljeteista ja kuljetinradoista. Lisäksi investointikustannuksiin kuuluvat muut lisäkustannukset, jotka eivät sisälly muihin kustannusryhmiin, kuten esimerkiksi tarvittavat käsityökalut, turva-aidat ja valoverhot. (Aaltonen 1997, 166.)

2.7.2 Robottiikkajärjestelmän käyttökustannuksia

Vaikka robottijärjestelmästä pyritään rakentamaan pitkälle automatisoitu, ja tavoitteena ovat mahdollisimman pitkät miehittämättömät käyttöjaksot, käyttökustannuksista suuren osan muodostavat työkustannukset. Käyttökustannukset koostuvat välittömistä ja välillisistä palkkakustannuksista. Välittömät kustannukset ovat robottijärjestelmän käyttäjien palkkakustannukset, ja välilliset kustannukset ovat sen käyttöä tukevien ja avustavien henkilöiden palkkakustannukset (ohjelmointi, työnjohto jne.). Lisäksi kustannuksia kertyy huolto- ja kunnossapidosta sekä energia-, aine- ja tarvikekustannuksista. Robottijärjestelmän koulutuskustannukset kuu-

luvut myös käyttökustannuksiin, vaikka koulutus onkin jatkuvaa. Sitä voidaan kohdistaa investointimenon kaltaisesti robotin käyttövaiheeseen, osa käsitellään tietotaidon ylläpitona ja järjestelmän käytön tehostamiskoulutuksena. (Aaltonen 1997, 166–167.)

2.7.3 Yhteenveto kannattavuudesta

Järjestelmällisesti suunniteltu ja toteutettu robotisointi on potentiaalinen vaihtoehto, kun halutaan automatisoida tuotantoa mahdollisimman joustavaksi. Robotisointi on monissa tapauksissa jopa pakon sanelema investointivaihtoehto. Robotisoinneissa ei tällä hetkellä ole ongelmana tekniikka tai laitteet, vaan kannattavan roboti-investoinnin edellyttämät halukkuus ja tietotaito. (Kuivanen 1999, 110.)

Robottiprojektin läpiviennissä on otettava huomioon useampia asioita kuin tavallisessa konepajahankinnassa, sillä järjestelmä on lähes poikkeuksetta sovelluksen mukaan räätälöity kokonaisuus. Kokonaisuuden hallinta on projektin aikana erittäin tärkeää, niin järjestelmän toimivuuden kuin aikataulun ja kustannusten pitämisen suhteen. (Kuivanen 1999, 110.)

Vastuu toimivasta robottisovelluksesta on järjestelmien toimittajilla ja käyttäjillä. Paras lopputulos saavutetaan yhdistämällä käyttäjien sovelluskohtainen tietämys ja robottitoimittajan asiantuntemus järjestelmästä. Robottijärjestelmä on verrattavissa ketjuun, joka on juuri niin vahva kuin sen heikoin lenkki. (Kuivanen 1999, 110.)

Yksinkertaisin kannattavuustarkastelu on laskea robottijärjestelmän takaisinmaksuaika. Siinä määritetään aika, jonka kuluessa investoinnin käytön nettokassavirta on investointimenon suuruinen eli robottijärjestelmään tehdyt satsaukset on saatu kuitattua tuottojen ja säästöjen avulla. Nyrkkisääntönä robotti-investoinnin takaisinmaksuaikaa tarkasteltaessa voidaan pitää: vuosi tai lyhyempi takaisinmaksuaika takaa investoinnin kannattavuuden, kaksi vuotta on vielä hyväksyttävissä ja yli kolme vuotta johtaa projektin hyllyttämiseen. (Aaltonen 1997, 167.)

2.8 Hitsaus

Hitsaus on SFS 3052 standardin mukaan ”osien liittämistä toisiinsa käyttämällä hyväksi lämpöä ja/tai puristusta siten, että osat muodostavat jatkuvan yhteyden. Hitsauksessa voidaan käyttää lisäainetta, jonka sulamispiste on suunnilleen sama kuin perusaineen sulamispiste”. (SFS 3052 1995.) Hitsauksen kaksi tärkeintä lajia ovat päittäishitsi ja pienahitsi. Hitsausta käytetään mm. metallien, muovien ja ke-raamien liittämiseen. Hitsausta voidaan kutsua myös liitoshitsaukseksi, kun sitä käytetään liittämiseen. Hitsausta voidaan myös käyttää kappaleen pinnoittami- seen, jolloin siitä käytetään termiä päällehitsaus. (Lukkari 2002, 11.)

MIG/MAG-hitsaus eli metallikaasukaarihitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jos- sa valokaari palaa suojakaasun ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välil- lä. Sula metalli siirtyy pisaroina langan kärjestä hitsisulaan. Langansyöttölaite syöt- tää hitsauslankaa tasaisella nopeudella hitsauspistoolin lävitse valokaareen. Hit- sausvirta tulee virtalähteestä monitoimijohtimessa kulkevaa virtajohdinta myöten hitsauspistoolin päässä olevaan kosketussuuttimeen, josta se siirtyy hitsauslan- kaan. Suojakaasu suojaa kaaritilaa ja hitsisulaa ympäröivältä ilmalta. (Lukkari 2002, 159.)

Valokaari syttyy sillä hetkellä, kun hitsauslanka koskettaa työkappaletta. Koske- tushetkellä syntyy oikosulku, jolloin tehokas oikosulkuvirta sulattaa ja höyrystää langan pään, minkä ansiosta valokaari syntyy. Aineen siirtymiseen vaikuttaa mo- nia erilaisia voimia, joista tärkein on sähkömagneettinen pinch-voima. (Lukkari 2002, 159.)

Suojakaasu voi olla joko aktiivinen tai inertti kaasu. Aktiivinen suojakaasu reagoi hitsisulassa olevien aineiden kanssa, kun taas inertti kaasu ei reagoi. Aktiivinen suojakaasu on yleensä argonin ja hiilidioksidin, argonin ja hapen tai argonin, ha- pen ja hiilidioksidin kaasuseos tai puhdas hiilidioksidi. Kun suojakaasu on aktiivi- nen, niin prosessista käytetään nimitystä MAG-hitsaus (Metal-arc Active Gas Wel- ding). Inertti suojakaasu on argon, helium tai näiden kaasuseos, jolloin siitä käyte- tään nimitystä MIG-hitsaus (Metal-arc Inert Gas Welding). (Lukkari 2002, 159.)

3 OPINNÄYTETYÖPROSESSIN VALMISTELU

Valmistautuminen työhön alkoi syksyllä 2013 Sataedun tilaamalla robottikoulutuksella. Robottikoulutus oli 1.10.2013 – 3.10.2013 Sataedu Kankaanpään tiloissa, 6–8 tuntia per päivä. Koulutuksen järjesti Yaskawa Motoman ja siihen osallistui kolme Sataedun opettajaa, yksi opettaja Kokemäen toimipisteestä sekä edustajat kahdesta yrityksestä. Koulutuksessa käytiin läpi robotin perustoimintoja, liikeratoja ja ominaisuuksia. Lisäksi robotilla hitsattiin erilaisia harjoituskappaleita Motomanin kouluttajan ohjeistuksella.

Valmistautuminen koulutuksen jälkeen jatkui itsenäisellä opiskelulla, robotin ohjekirjan tutkiskelulla sekä tutustumisella syvemmin robotin ohjaamiseen ja käyttöliittymään. Muutaman päivän ajan tehtiin paljon koehitsauksia, jotka edesauttoivat tutustumista robotin perustoimintoihin ja antoivat jonkinlaista käsitystä eri asetusten vaikutuksista hitsaukseen.

Eräs paikallinen yritys tilasi Marraskuussa Sataedulta robotilla hitsattavaksi kuljettimia (kuva 9), joita oli jo aiemmin valmistettu. Työ aloitettiin parantelemalla Sataedun aiemmin valmistamaa hitsauskiinnitintä. Kuljettimen mitat muuttuivat viimekerrasta, joten kiinnittimeen täytyi tehdä tarvittavat muutokset. Seuraavat pari viikkoa tehtiin hitsausohjelmaa sekä haettiin sopivia hitsausparametreja hitsaamalla harjoituskappaleita. Kun ohjelma valmistui ja hitsausparametrit olivat kohdillaan, perehdytettiin kaksi Sataedun opiskelijaa valmistamaan kuljettimia. Opiskelijat valmistivat tilatun 500 kuljetinta noin kahdessa viikossa.



Kuva 9. Käsins hitsattu mallikappale kuljettimesta

4 HITSAUKSEN ROBOTISOINNIN KARTOITUS

4.1 Yhteydenotot

Hitsauksen robotisoinnin kartoitus aloitettiin keräämällä lista noin kymmenestä paikallisesta yrityksestä, joissa on hitsausteollisuutta ja joissa voisi mahdollisesti olla robotisoitavia työkappaleita. Lista laadittiin yhdessä Sataedun koulutuspäällikön ja tiiminvetäjän kanssa. Listalle päätyi 11 yritystä, joista neljä oli Kankaanpäästä, kolme Pomarkusta, kaksi Karvista, yksi Siikaisista ja yksi Honkajoelta. Koulutuspäällikkö ja tiiminvetäjä kokosivat listan yhteyshenkilöistä näille yrityksille, sillä he olivat vierailleet näissä yrityksissä ja tunsivat niistä henkilökuntaa.

Kun lista haastateltavista yrityksistä oli selvillä, kysymyspohjan laatiminen yhteydenottojen läpiviemiseksi alkoi. Kysymyspohjaan tulee yksinkertaisia ja nopeita kysymyksiä, joilla on tarkoitus herättää yhteyshenkilöiden kiinnostus aiheeseen.

Yhteydenotot alkavat opinnäytetyöaiheen lyhyenä esittelynä, jonka yhtenä osa-alueena on robottihitsauksen tarpeen kartoitus lähialueiden yrityksissä. Tämän jälkeen selvitetään yhteyshenkilöiden yleinen mielipide robotisoinnista sekä käydään läpi kriteerejä tuotteille, jotka soveltuvat robotisoitavaksi. Lopuksi pyritään sopimaan tapaaminen yrityksen tiloissa, jossa voidaan keskustella aiheesta syvemmin sekä käydään läpi tuotteita, joita voidaan robotisoida.

4.2 Yritysvierailut

Tapaaminen saatiin järjestettyä kolmen Kankaanpään alueen ja yhden Pomarkussa sijaitsevan yrityksen kanssa. Kankaanpään alueen yrityksiä haastattelut suoritettiin yhden viikon aikana, tapaamisten kestot vaihtelivat noin tunnista kahteen tuntiin. Pomarkussa sijaitsevan yrityksen haastattelu suoritettiin noin kolme viikkoa myöhemmin.

Haastatteluihin valmistautumien alkoi perehtymällä kohdeyritysten tuotantoon ja suunnitelmiin keskustelemalla Sataedun opettajien kanssa sekä yritysten kotisivu-

ja tutkimalla. Tämän jälkeen laadittiin eräänlainen kysymyspatteri, josta saataisiin mahdollisimman hyvä käsitys yrityksen mielipiteistä hitsauksen robotisointiin sekä heidän tulevaisuudensuunnitelmistaan. Haastattelupohjaa laadittiin yhdessä Sata-edun koulutuspäällikön ja tiiminvetäjän kanssa. Heillä oli paljon hyviä ideoita, kuten mitä kannattaa ottaa huomioon, kun lähdetään selvittämään yritysten eri tarpeita ja erityisesti miten asiat kannattaa tuoda esille. Haastateltavat henkilöt olivat korkeassa asemassa yrityksissään.

Haastattelulomakkeen laatimiseksi perehdyttiin myös alan kirjallisuuteen sekä aiheesta tehtyihin internet-artikkeleihin. Opinnäytetyön ohjaaja avusti myös rakentamaan tästä selkeää ja informatiivista kysymyspohjaa.

Haastattelut alkoivat jo puhelun aikana esille tuodun aiheen syvällisemmällä esittelyllä, jonka jälkeen pyrittiin selvittämään mahdollisia robotisointiin soveltuvia tuotteita. Aiheesta riitti jo hyvin keskusteltavaa ja kysymyksiin pyrittiin antamaan mahdollisimman informatiivisia vastauksia, jotta hitsauksen robotisoinnin edut tulisivat parhaalla mahdollisella tavalla esille. Kun mahdollinen robotisoitavaksi soveltuva tuote löydettiin, alettiin selvittämään tarkemmin sen volyymejä vuositasolla, onko kyseessä sesonkituote vai meneekö niitä tasaisesti ympäri vuoden. Tämän jälkeen keskusteltiin tuotannon kehittämisen ja modernisoinnin halukkuudesta, sekä yrityksen tulevaisuudensuunnitelmistaan, ja käytiin lyhyesti hitsauksen robotisoinnin mahdolliset hyötyvaikutukset läpi. Työturvallisuuden ja työn mielekkyyden seikat tuotiin myös esiin, sillä robotti sopii hyvin työvaiheisiin, jotka vaativat pitkäjänteistä ja huonoissa työasunnoissa tehtäviä töitä. Robotti ei väsy eikä tunne kipua, joten vaikka tapahtuisi vaaratilanteita, vahingot jäävät yleensä rahallisiksi. Lisäksi robotilla saa aina tasalaatuista työjälkeä.

Lopuksi keskusteltiin yritysten tulevaisuuden suunnitelmista ja imagosta. Onko aikomus robotisoida tuotantoa myöhemmin ja pohdittiin minkälaisena yrityksenä asiakkaat näkevät yrityksen jossa on robotteja.

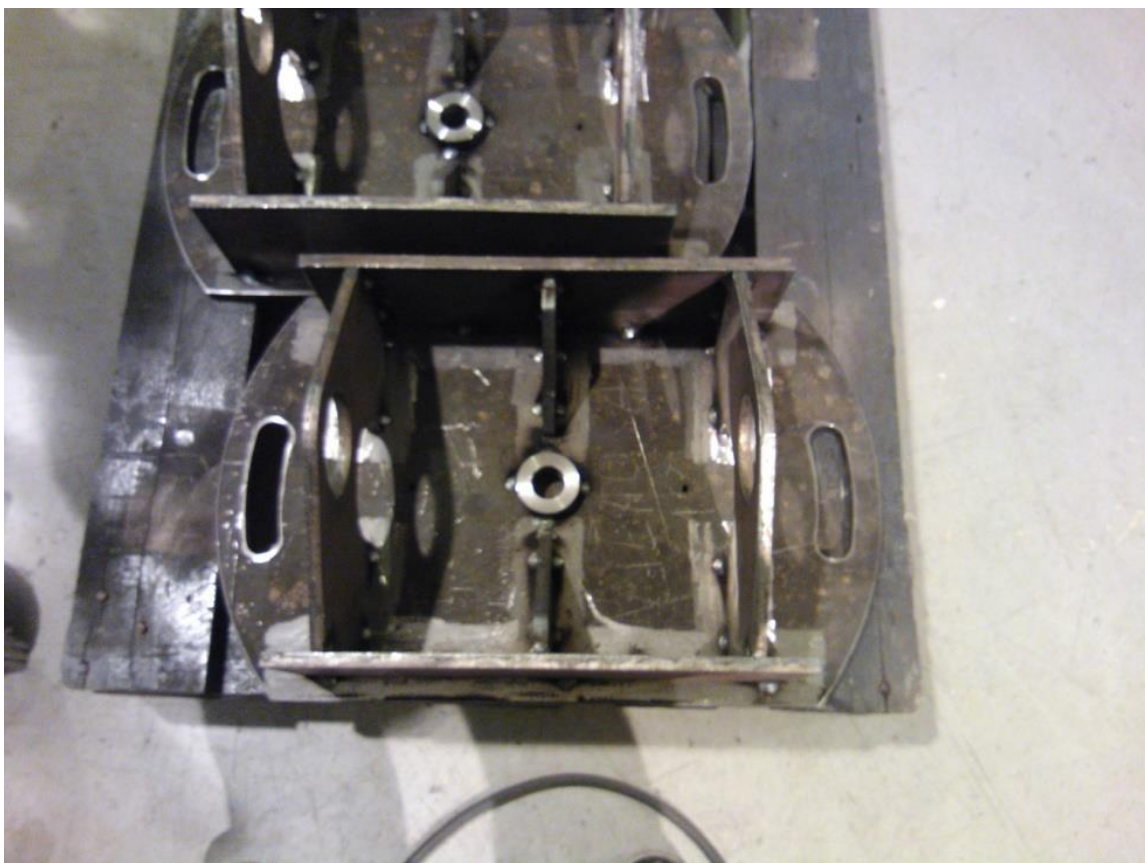
Ensimmäinen yritys sijaitsee Kankaanpäässä ja yrityksellä on kaksi ABB:n hitsausrobotia. Toisella hitsataan alumiinia ja toisella tavallista rautaa. Yritys on erikoistunut alumiinin hitsaukseen ja tästä syystä toinen robotti on vähällä käytöllä. Yrityksessä suunniteltiin täysin automatisoitua robottisolua tulevaisuudessa, johon

riittäisi vain yksi valvoja. Yrityksen imago on tärkeä, joten tuotantoa kehitetään tulevaisuudessa reilusti, jotta yrityksestä saataisiin modernimpi ja osaavampi kuva. Yrityksellä oli paljon ideoita tuotteista, joihin voitaisiin tehdä hitsausohjelmat ja kustannuslaskelmat. Kaikki tarjotut tuotteet olivat materiaaliltaan alumiinia, joka on ongelmallista. Alumiinihitsauksen opettelu veisi liian paljon aikaa, jotta voitaisiin saavuttaa vaaditut laatuparametrit. Ennen lopullista päätöstä, koulun robotti valjastettiin alumiinihitsaukselle soveltuvaksi. Muutamia koehitsauksia suoritettiin, mutta jälki ei ollut kovin mairittelevaa sekä hitsausparametrit olivat pahasti pielessä. Yrityksessä vierailtiin vielä toistamiseen yhden Sataedun kouluttajan kanssa, jolloin päätettiin lopullisesti, että nyt ei ole aikaa perehtyä alumiinihitsaukseen, joten yrityksen tuotekappaleet torjuttiin. Aiheeseen palataan mahdollisesti myöhemmin, kun robottihitsauksesta on tarpeeksi kokemusta.

Toinen haastateltava yritys sijaitsee Kankaanpäässä. Yrityksellä ei ollut robottia Kankaanpään tiloissa, mutta yrityksen toisella paikkakunnalla sijaitsevissa tiloissa oli Yaskawa Motoman -hitsausrobotti. Yritys on kehittämässä tuotantoaan jauhekaarihitsauksen suuntaan, mutta tulevaisuudessa pyritään lisäämään myös automatisointia. Automatisoinnilla täytetään paremmin yrityksen tuotteiden tiukat laatuvaatimukset. Yritys pyrkii panostamaan työntekijöiden hyvinvointiin huomioimalla hankalat työolot, joita parannetaan robotisoimalla. Yrityksen tuotteet ovat suuria ja monimutkaisia, sekä tuotemallit vaihtelevat, joten yrityksestä ei löydy esimerkkituotteita opinnäytetyöhön. Lähitulevaisuudessa yritys keskittää tuotantoaan Kankaanpäähän ja pienemmistä paikoista tulee mahdollisesti robotisoitavaksi soveltuvaa tuotantoa, joten aiheeseen palataan myöhemmin, mikäli opinnäytetyöhön soveltuvaa tuotetta ei saada muualta.

Kolmas yritys sijaitsee Kankaanpäässä eikä yrityksellä ole hitsausrobottia eikä kokemusta hitsauksen robotisoinnista. Yritys ei pitänyt automatisointia järkevänä ratkaisuna tuotantonsa kehittämiseksi. Syynä tähän oli suurimmaksi osaksi tuotannon soveltumattomuus massatuotantoon. Kappaleet olivat isoja, erät pieniä sekä mallit vaihtelivat suuresti. Lisäksi nykyinen taloudellinen tilanne ja lama vaikuttivat suuresti investointihalukkuuteen. Lisäksi yrityksen mielestä Suomessa ei pärjää sarjatuotannolla, vaan kannattaa keskittyä ammattitaitoiseen osaamiseen ja työn laatuun.

Neljäs haastateltava yritys on Pome Pomarkusta. Pomella ei ole omaa hitsausrobotia ja ensimmäisellä yhteydenotolla yrityksen edustaja antoi varovaisen kielteisen vastauksen kysyttäessä hitsauksen robotisoinnista. Myöhemmin Sataedun kouluttajan ehdotuksella otettiin yhteyttä toiseen henkilöön yrityksessä, joka kiinnostui aiheesta heti. Tapaamisella käytiin läpi robotisoinnin hyötyjä ja haittoja sekä pohdittiin robotille soveltuvaa tuotetta. Suurin osa yrityksen tuotannosta ei sovellu robotisoitavaksi, sillä yritys valmistaa muun muassa kauhoja ja auroja, joten tuotteiden koot ja muodot vaihtelevat suuresti. Yrityksellä oli kuitenkin joitakin pienempiä tuotteita, joista esimerkkituotteeksi saatiin työntörungon alaosa (kuva 10). Työntörungon alaosa on yksi auran osa-tuote. Työntörungon alaosan tarkoitus on toimia yhtenä auran ja työkoneen välikappaleista. Tämä mahdollistaa auran pysty- ja sivusuuntaisen liikkeen, antaen auran mukautua vapaasti maaston epätasaisuuksiin. (Pome 2014.)



Kuva 10. Heftattu työntörungon alaosa

4.3 Yhteenveto

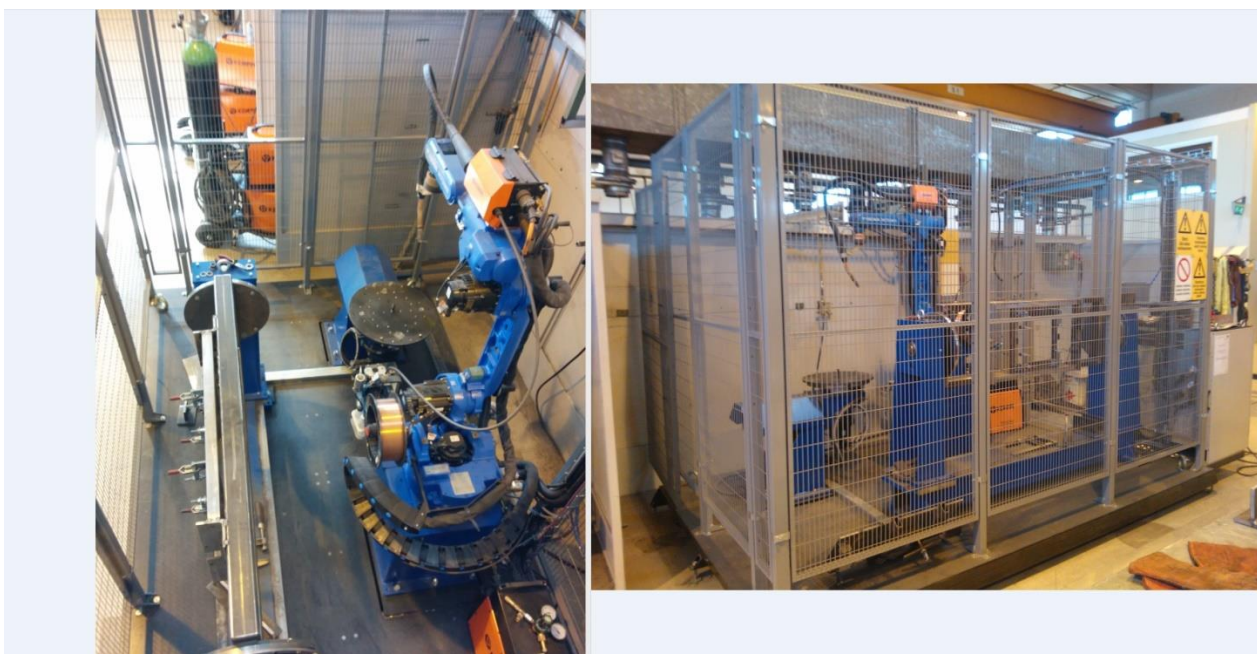
Puhelinhaastatteluissa kielteinen vastaus robotisoinnille johtui yleensä siitä, että yrityksillä ei ollut riittävän suurta massatuotantoa. Kappaleita valmistetaan usein mittatilaustöinä, joten mallit vaihtelevat ja määrät ovat pienet. Edes pienemmissä työvaiheissa ei ollut tarpeeksi samankaltaisia osia, joita olisi voitu kuvitella robotisoitaviksi. Nykyinen taloudellinen tilanne vaikutti asiaan myös, muutaman yrityksen edustajan mukaan nyt ei ole varaa investoida uusiin laitteisiin. Yhden yrityksen edustajan mukaan tulevaisuudessa robotisointi olisi mahdollista, jos taloustilanne paranee merkittävästi.

Aihe vaikuttaa melko aralta, sillä lähes kaikkien yritysten edustajat toivat esille saman yhteisen huolenaiheen, laman. Suomen talous ei ole vieläkään toipunut kunnolla lamasta ja se näkyy töiden vähenemisellä sekä työntekijöiden lomautuksilla ja irtisanomisilla ympäri maata. Vain isommat yritykset voivat olla hieman optimistisempia ja ovat kykeneväisiä suunnittelemaan tuotantonsa kehittämistä tulevaisuudessa, sillä robotisointi lisää kilpailukykyä merkittävästä. Ei vain tuottavuutensa, vaan myös laadun ja turvallisuuden takia automatisointi on loistava ratkaisu tuotannon kehittämiseksi, tästä oltiin yhtä mieltä yritysten edustajien kanssa.

Yhteenvetona todettakoon, että jos ajat olisivat toiset ja töitä olisi enemmän, olisivat monet halukkaampia kehittämään tuotantoaan kilpailukykyisemmäksi. Nykyisellään on vain pakko yrittää tulla toimeen sillä mitä on ja odottaa niitä parempia aikoja.

5 ROBOTTISOLU

Sataedun robottisolu (kuva 11) koostuu hitsausrobotista, vaakamallisesta pyörityslaitteesta ja grillistä sekä hitsausvirtalähteestä. Solu on koottu noin 4x2 metrin turvaverkkoaitaukseen, joka on korkeudeltaan noin kolme metriä, ja jossa on yksi ovi. Oven ollessa auki robottia voi liikuttaa ja sillä voi hitsata käsiajotoiminnolla, mutta automaattiajon suorittamiseksi turvaovi pitää olla suljettuna. Sataedun robottisolun layout ei ole suunniteltu massatuotantoa ajatellen, vaan kyseessä on pelkästään opetuskäyttötarkoituksiin oleva yksikkö.



Kuva 11. Sataedun robottisolu

5.1 YASKAWA MOTOMAN MH6 -hitsausrobotti

Yaskawa Motoman MH6 on kuusiakselinen käsivarsimallinen teollisuusrobotti (kuva 12), jonka työkaluna on hitsauspistooli. Robotti painaa noin 130 kilogrammaa ja sen ulottuvuus on noin 1,5 metriä ja toimintasäde ± 170 astetta (lähes täysi ympyrä, 340 asetetta). Vakioasemassaan robotilla on korkeutta jalustan kanssa noin 2 metriä ja sen toistotarkkuus on 0,08 millimetriä sekä suurin käsittelykyky on 6 kg. (Yaskawa Motoman 1 2014.)



Kuva 12. Yaskawa Motoman MH6 -hitsausrobotti

Hitsausrobotissa käytetään KempArc Pulse 450 -virtalähdettä joka pystyy tuottamaan 450 ampeerin virran. Robotissa on DX100-ohjain, jossa on Windowsin käyttöliittymällä varustettu, kosketusnäytöllinen käsiohjain (kuva 13).



Kuva 13. DX 100

5.2 MOTOMAN MT1-250 S2N -pyörityslaite

Motoman MT1-250 S2N on vaakamallinen pyörityslaite (kuva 14). Laitteessa on kaksi akselia, toinen pyörittää pöytälevyä ja toisella voidaan kallistaa laitetta molemmille sivuille. Laitteen suurin kallistuskulma molemmille sivuille on 90 astetta ja se pyörii vaakasuunnassa noin kaksi kierrosta. Pöytälevyn halkaisija on 450 millimetriä ja se on vaihdettavissa irrottamalla neljä kuusiokoloruuvia. Laitteen suurin sallittu painolasti hitsauskiinnitin mukaan laskettuna on 250 kilogrammaa ja sen toistotarkkuus on 0,1 millimetriä. (Yaskawa Motoman 2 2014.)



Kuva 14. MT1-250 S2N -pyörityslaite

5.3 MOTOMAN HSD-500 SX -grilli

Motoman HSD-500 SX on vertikaalinen pyörityslaite, jota kutsutaan usein grilliksi (kuva 15). Grilli pyörii yli kaksi kierrosta, sillä on pituutta noin kaksi metriä sekä korkeutta hieman yli metri. Suurin sallittu työkappaleen koko pituussuunnassa saa olla noin 1500 millimetriä ja leveydeltään 500 millimetriä. Työkappaleen suurin sallittu massa hitsauskiinnitin mukaan laskettuna saa olla enintään 500 kilogrammaa, ja grillin toistotarkkuus on 0,1 millimetriä. (Yaskawa Motoman 3 2014.)



Kuva 15. HSD-500 SX -grilli

6 TYÖN ETENEMINEN

6.1 Työn vaatimukset ja valmistautuminen

Valmistautuminen työhön alkoi koehitsauksien suorittamisella ja sopivien hitsausparametrien etsimisellä. Työntörungon alaosan materiaali on tavallista rautaa (S355) ja materiaalivahvuus on 12 millimetriä. Työkappale on valmiiksi heftattu yrityksessä, kappaleeseen on tarkoitus hitsata a-mitaltaan 6 millimetriä paksu sauma. Aiemmin hitsattujen kappaleiden ainevahvuudet vaihtelivat 2–6 millimetrin välillä, joten näin paksu materiaali tuotti aluksi hieman haasteita.



Kuva 16. Koehitsauksia

Alustavien hitsausparametrien hakeminen vei aikaa noin 2–3 viikkoa, päivän työtunnit vaihtelivat 5–7 tunnin välillä. Ensimmäisiä testejä hitsattiin 1,0 mm:n hitsauslangalla, mutta jonkin ajan kuluttua kävi ilmi, että se ei riitä tähän levyvahvuuteen eikä näille tehoille. Seuraavaksi siirryttiin käyttämään 1,2 mm:n seostamatonta teräslankaa ja tulokset paranivat huomattavasti. Alustavat hitsausparametrit, joilla saavutettiin haluttu a-mitta ja kohtuullisen tasainen hitsausjälki ilman roiskeita, asettuivat hitsausvirran osalta noin 350–400 ampeerin luokkaan ja hitsausjännitteen osalta noin 30–35 volttiin. Lisäksi hitsaamiseen lisättiin vaaputustoiminto, joka levittää hitsisulaa paremmin ja mahdollistaa paremman tunkeuman suuremmilla vahvuuksilla.

Hitsausjännitteen noustessa yli 27 voltin kaarta nimitetään kuumakaareksi eli ai-neensiirtyminen tapahtuu hienopisaraisena sumuna ilman oikosulkuja. Kaari on pehmeä ja vakaa. Oikein säädetyllä kuumakaarella roiskeita syntyy vähän ja hitsin pinta on sileä. Kuumakaari vaatii myös toimiakseen oikein vähintään 255 ampeerin virran ja 1,2 mm:n seostamattoman teräslangan käytön. (Lukkari 2002, 170.)

6.2 Työntörungon alaosan kiinnittäminen pyörityspöytään

Kun toivotunlaiset hitsausparametrit ja kuljetusnopeudet oli löydetty, suunniteltiin hitsauskiinnintä työntörungon alaosalle. Alusta asti oli selvää, että työkappale tulee robottisolun pienemmälle, vaakamalliselle pyörityslaitteelle. Se tarjoaa riittävät kallistelut ja mahdollistaa hitsauspistoolin pääsyn kaikkiin hitsattaviin paikkoihin yhdellä kiinnityksellä.



Kuva 17. Hitsauskiinnitys

Koska työntörungon alaosa tulee yhtenä kappaleena valmiiksi heftattuna Pomelta, ei kiinnintä tarvitse suunnitella pitkälle. Pyörityslaitteen levy vaihdettiin sileästä kierrereititettyyn malliin, jolloin siihen voitiin kiinnittää pultteja kappaleen keskittämisen helpottamiseksi. Ensin tasolevyn keskelle porattiin reikä, johon tehtiin M20-kierre. Pyörityslaitteen pöytälevyyn kiinnitettiin M20-kierretappi, jonka avulla kiinni-

tys suoritettiin. Työkappaleen pohjalevyssä on keskellä holkki, jota voitiin käyttää apuna keskitettäessä kappaletta pyörityslaitteeseen. Työkappaleiden mitat vaihtelevat hieman, joten sitä ei voi keskittää ainoastaan keskiholkin mukaan, vaan pääpaino tällä kiinnityksellä on pitää kappale paikallaan, kun pyörityslaitetta kallistellaan. Kappaletta sovitettiin pöydälle kahden M12-pultin avulla, jotka sijoitettiin kierrelvyn toiselle reunalle. Työkappale kohdistettiin pyörityslaitteeseen asettamalla sen pohjalevy päin kahta M12-pultin kantaa. Lopullinen kohdistus suoritettiin mitaamalla kappaleen päätylevystä etäisyys toisen pyörityslaitteen runkoon. Lopuksi kiinnitettiin toiset kaksi kappaletta M12-pulttia levyn toiselle puolelle, jotta kappale ei pääse liikkumaan sivuttaissuunnassa.

6.3 Työvaiheet

Seuraavaksi edessä oli hitsausohjelman suunnittelu. Aluksi mietittiin työvaiheiden järjestystä, mistä kannattaa aloittaa ja mitä kannattaa tehdä viimeiseksi. Kaikki mahdolliset ongelmakohdat pyrittiin myös pohtimaan etukäteen. Pitkällisen pohdinnan ja hitsauspistoolin sovittamisen sekä asentojen testaamisen jälkeen päätettiin tekemään hitsausohjelma kolmessa vaiheessa. Hitsausjärjestystä suunniteltaessa pyrittiin minimoimaan robotin turhat liikkeet.

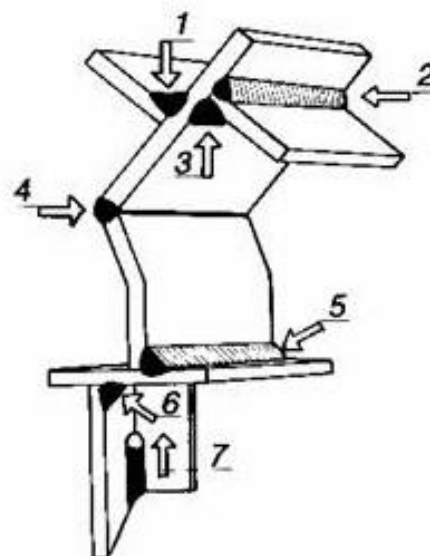
Ensimmäisessä vaiheessa hitsataan työntörungon alaosan ulkoreunat yhdellä kerralla. Hitsaaminen aloitetaan kappaleen toisen päätylevyn aukosta. Kappaletta lähdetään kiertämään vastapäivää, hitsauspistooli työntävässä asennossa.

Toisessa vaiheessa hitsataan työntörungon alaosan sisäsaumat. Tämä työvaihe on jaettu periaatteessa myös kahteen osa-alueeseen, sillä hitsaus aloitetaan kappaleen keskellä sijaitsevan tukilevyn reunasta ja kierretään myötäpäivään, kunnes saavutaan vastapuolella sijaitsevan toisen tukilevyn reunaan. Keskiholkki hitsataan myös kahdessa vaiheessa, sillä hitsauspistooli ei mahdu tekemään täyttä ympyrää riittävän hyvässä asennossa. Kun keskiholkin puolikas on hitsattu, siirrytään kappaleen toiselle puoliskolle ja tehdään sama hitsaus, tällä kertaa vastapäivää. Toinen hitsausvaihe loppuu keskiholkin toisen puolikkaan hitsaukseen.

Kolmas hitsausvaihe oli oletettavasti kaikkein vaikein. Työntörungon alaosan pystysaumojen hitsaaminen pystypiena-menetelmällä ei tullut kysymykseen, sillä hitsauspistooli ei olisi mahtunut järkevään asentoon. Kappaletta jouduttiin kallistamaan 90 astetta sivulle ja robottisolun turvaverkkoa jouduttiin modifioimaan, jotta saatiin robottikäsi ylettämään kappaleen sisälle. Lisää haastetta kallistusvaihe toi myös siksi, että kun kappaletta oli kallistettu 90 astetta sivulle, robottikäden täytyisi mennä todella alas, lähes maan tasalle – ja pystyä suorittamaan hitsaus vielä jontenkin järkevässä asennossa.

Robottisolun rajallinen tila asetti myös rajoitteita. Työntörungon alaosa päädyttiin hitsaamaan vaakatasossa eli alapienahitsauksena. Ideaalitulanteessa kappale olisi pitänyt hitsata jalkopiena-asennossa, mutta koska kappaleen pituus ylitti hieman pyörityspöydän ulkomitat, ei tämä ollut mahdollista. Kuvassa 18 näkyy erilaisia hitsausasentoja. Pääasiallisesti hitsausasento tarkoittaa sitä, missä asennossa railo, eli hitsattava rako tai sauma on.

1. jalkopiena
2. vaakapiena
3. lakipiena
4. kulmapiena
5. alapiena
6. yläpiena
7. pystypiena



Kuva 18. Hitsausasentoja (Hitsausasennot 2014.)

6.4 Koehitsaukset

Kaksi ensimmäistä työkappaletta hitsattiin manuaalisesti vaiheittain, sillä haluttiin estää vahingot ja varmistua ohjelman toimivuudesta. Lisäksi hitsausparametreja tutkittiin vielä tarkemmin. Ensimmäistä työkappaletta hitsattaessa ongelmakohdat tulivat nopeasti esille. Kulmien kierroissa oli liian suuret hitsausarvot jolloin kappaleen reunat sulivat sauman vierestä. Lisäksi 400 ampeerin hitsausvirta oli turhan suuri, sillä näillä arvoilla ei saavutettu toivotunlaista hitsausnopeutta. Suuret hitsausarvot vaikuttivat myös negatiivisesti materiaalin muodonmuutoksiin, sillä kappale vääntyi liian suuresta lämmöntuotosta johtuen jonkin verran.

Ennen kuin toista työkappaletta alettiin hitsata, palattiin koekappaleiden testaamiseen. Hitsausarvoja saatiin tiputettua aikaisemmasta 350–400 ampeerista siedettävämpiin, 280–320 ampeeriin, menettämättä kuitenkaan yhtään kuljetusnopeutta. Hitsausjännite laski myös aiemmasta 30–35 voltista lähelle sekakaarialuetta, 24–28 volttiin.

Sekakaarialue sijaitsee suunnilleen 22–27 voltin jännitealueella. Sekakaarialueella suuripisarainen siirtyminen, oikosulut ja kaarivoimat aiheuttavat runsaasti roiskeita. Sekakaarta pyritään yleensä välttämään roiskeiden takia. Sitä joudutaan kuitenkin käyttämään, mikäli lyhytkaari on liian kylmä ja pienitehoinen sekä kuumakaari on liian kuuma ja suuritehoinen. (Lukkari 2002, 169.)

Toisen työkappaleen koehitsaukseen muutettiin hitsausohjelmaa. Näillä muutoksilla pyrittiin helpottamaan kulmien kierroissa olleita ongelmallisia, liian suuria hitsausparametreja sekä tehtiin muita pienempiä parannuksia, jotta saatiin pienennettyä robotin turhia liikkeitä. Uusilla hitsausparametreilla saavutettiin parempia tuloksia, sauma oli paremman näköistä ja kaikki reunahaavat ja kulmien sulamiset saatiin pois. Ainoana ongelmana tähän jäi sekakaarialueesta johtuvat roiskeet. Roiskeet eivät kuitenkaan olleet niin suuria, että ne olisivat vaikuttaneet merkittävästi yleiseen laatuun, joten nämä arvot hyväksyttiin yhdessä opettajien kanssa lopullisiksi. Lämmönjohtuminen työkappaleeseen pieneni huomattavasti, jonka johdosta myös materiaalin muodonmuutokset vähenivät merkittävästi.

6.5 Ohjelmaesimerkki

```

NOP
MOVJ C00000 VJ=100.00 +MOVJ EC00000 VJ=100.00
MOVJ C00001 VJ=100.00 +MOVJ EC00001 VJ=100.00
MOVJ C00002 VJ=100.00 +MOVJ EC00002 VJ=100.00
MOVJ C00003 VJ=100.00 +MOVJ EC00003 VJ=100.00
MOVL C00004 V=500.0 +MOVJ EC00004 VJ=100.00
MOVL C00005 V=300.0 +MOVJ EC00005 VJ=100.00
ARCON ASF#(2)
MOVC C00006 V=5.5 +MOVJ EC00006 VJ=100.00
MOVC C00007 V=5.5 +MOVJ EC00007 VJ=100.00
MOVC C00008 V=5.5 +MOVJ EC00008 VJ=100.00
ARCCTS AC=200 AVP=90 DIS=5.0
MOVL C00009 V=5.5 +MOVJ EC00009 VJ=100.00
REFP 1 ST2 EC00010
REFP 2 ST2 EC00011
WVON WEV#(11)
MOVL C00010 V=5.5 +MOVJ EC00012 VJ=100.00
MOVL C00011 V=5.5 +MOVJ EC00013 VJ=100.00
MOVL C00012 V=5.0 +MOVJ EC00014 VJ=100.00
TIMER T=1.00
MOVL C00013 V=5.0 +MOVJ EC00015 VJ=100.00
MOVL C00014 V=5.5 +MOVJ EC00016 VJ=100.00
WVOF

```

Kuva 19. Ohjelmaesimerkki

Kuvassa 20 on lyhyt pätkä varsinaisen työn ohjelmasta. Ohjelmanpätkästä käy ilmi, että alussa robotti on kotiasemassaan, josta se liikkuu käskyjen mukaan hitsauksen aloituspisteeseen. Kun ollaan hitsauksen aloituspaikassa, annetaan ohjelmaan hitsauksen aloituskäsky (ARCON), jonka jälkeen robotti hitsaa seuraavia pisteitä pitkin sille kerrotulla tavalla. ARCCTS-toiminnolla lasketaan väliaikaisesti hitsausparametrit syötettyihin arvoihin. Esimerkissä AC = 200 tarkoittaa hitsausvirtaa ja AVP = 90 tarkoittaa hitsausjännitettä prosentteina, sillä robotti laskee itse sille optimaalisen hitsausjännitteen annetusta hitsausvirrasta. DIS=5.0 tarkoittaa siirtymäetäisyyttä millimetreinä, jonka aikana robotti muuttaa arvot halutunlaisiksi. REFP 1 ST2 ja REFP2 ST2 ovat referenssikäskyjä, joilla mahdollistetaan vaaputusliike ja kerrotaan vaaputuksen liikesuunta. WVON on vaaputuksen eli levitysliikkeen aloituskäsky ja WEV#(11) on vaaputuksen parametrien muistipaikka. TIMER T=1.00 on ajastin, jossa numeroarvot ovat sekunteina. Tässä kohtaa ohjelmaa

hitsauspistooli pysäytetään nurkkaan sekunnin ajaksi, jolloin se jatkaa hitsausta paikallaan ja täyttää nurkan hitsausaineella.

MOVJ, MOVL ja MOVC ovat liikekäskyjä.

MOVJ on nivelliike (Joint). Työkalupistettä ei kontrolloida. Tätä käytetään siirtymiin eli väliliikkeisiin, joissa robotin ei tarvitse liikkua suoraviivaisesti seuraavaan pisteeseen. Nopeusyksikkö on prosentteina 0–100.

MOVL on suoraliike (Linear). Pisteiden välinen liike lasketaan suoraviivaiseksi. Nopeusyksikkö on mm/s (0–1600).

MOVC on ympyräliike (Circular). Robotti muodostaa ympyräkaaren annetuista pisteistä. Kaaren muodostusta varten MOVC-pisteitä pitää olla vähintään kolme peräkkäin. Täyteen ympyrään tarvitaan vähintään neljä pistettä. Nopeusyksikkö on mm/s (0–1600).

Hitsauksen lopetuskäsky on ARCOFF ja vaaputuksen lopetuskäsky on WVOF.

Valmiissa hitsausohjelmassa oli loppujen lopuksi 455 eri tallennuspistettä, joista 270 oli liikekäskyjä ja loput 185 muita toimintokäskyjä, kuten ajastimia, hitsauksen aloitus ja lopetuskäskyjä, vaaputuskäskyjä ym.

6.6 Automaattiajo ja tulokset

Kolmas ja viimeinen työkappale hitsattiin robotin automaattiajotoiminnolla. Ennen hitsaamista suoritettiin kuitenkin monta varmistusta käsiajolla ilman hitsaamista. Tällä pyrittiin varmistamaan, ettei mikään työvaihe ole keskeneräinen ja ettei roboti törmää mihinkään. Automaattiajo kelloitettiin, jotta voitiin verrata ihmisen ja robotin nopeuseroja.

Kun kaikki oli valmista, automaattiajo käynnistyi kauko-ohjaimen Start-painikkeella ja samalla käynnistettiin myös sekuntikello. Hitsausohjelma toimi kuten piti ja roboti hitsasi kappaleen suhteellisen virheettömästi aikaan 17 minuuttia ja 20 sekuntia. Haluttu a-mitta saavutettiin ja hitsauksen jälki oli kohtuullista, sillä työssä esiintyi hieman roiskeita. Tarkemmat vertailut löytyvät kustannuslaskelmasta.



Kuva 20. Valmis työkappale kiinnitettynä ja hitsattuna

Ohjelman tekoon meni aluksi yllättävän paljon aikaa, sillä aluksi yksinkertaiselta vaikuttanut työkappale osoittautui odotettua haasteellisemmaksi. Vaikeat kulmaukset ja ahtaat tilat olivat työläitä ohjelmoida, jonka vuoksi ensimmäiselle työkappaleelle tehty ohjelma vei aikaa reilun viikon. Toiselle työkappaleelle tehty ohjelma vei enää vajaat kaksi työpäivää ja viimeinen kolmas ohjelma valmistui noin kuudessa tunnissa. Kaikkiin aikoihin sisältyi myös ohjelman toimivuuden testaus.

6.7 Pohdintaa työntörungon alalevyn robotisoinnista

Työntörungon alaosa ei ollut kovin hyvä tuote robotisoitavaksi. Työkappaleiden mitat vaihtelivat jonkin verran ja se asettaa hieman haasteita tuotteen automatisoinnille. Työkappaleen osat valmistetaan polttoleikkaamalla ja heftataan käsin, joten robotin vaatimaa noin millimetrin heittelytarkkuutta ei ole kovin realistista saavuttaa. Tuotteen pikkutarkka asettelu heftausvaiheessa saattaa olla liian työlästä, jotta tuote saavuttaisi vaadittavat kriteerit. Kun tuotteen hitsattava kohta muuttuu vaikkapa puolella senttimetrillä, hitsaus-sauma menee puoli senttimetriä sivuun ja kiinnityskohdasta tulee virheellinen. Lisäksi on vaarana, että robotin hitsauspistooli törmäilee tuotteeseen, sille on tarkkaan ohjelmoitu reitti omassa koordinaatistossaan ja ilman railonhakulaitetta se ei pysty näkemään fyysisiä objekteja edessään. Yksi vaihtoehto olisi valjastaa robotti railonhakulaitteella, jonka hakutapa perustuu sähköiseen kontaktiin joko lisäainelangan kärjellä tai kaasuholkilla. Haku voidaan myös suorittaa optisesti omalla anturillaan. Tämä lisälaitte maksaa liikaa, joten koulun robotille sitä tuskin hankitaan. Mikäli yritys itse aikoo robotisoida tämän tuotteen, railonhakulaitteen hankinta on suositeltavaa.

Jotta tuote soveltuisi paremmin robotille, kannattaisi sen rakenteeseen tehdä joi-tain muutoksia, vaikuttamatta lopputulokseen kuitenkin niin paljoa, että käyttö-tarkoitus kärsisi. Seuraavassa on muutamia mietteitä, joita voitaisiin mahdollisesti tehdä toisin.

Ensimmäiseksi pitkiin sivulevyihin voisi tehdä urat joihin poikittain kulkevat pääty-levyt ja välituet voisi upottaa ja hitsauksen voisi suorittaa ulkopuolelta. Tällä saavu-tetaan se, että robotilla ei tarvitse mennä erittäin hankaliin asentoihin. Saadaan tehtyä paremmat pystysaumamat sekä säästetään aikaa.

Toinen huomio voisi olla heftauksesta, sillä nykyiset heftit olivat keskellä hitsattavia saumakohtia, joten aina kun hitsauspistooli kulki niiden yli, syntyi heftin kohdalle suurempi määrä hitsisulaa ja jälki oli huonompaa. Kun heftit sijoitettaisiin kaikkiin mahdollisiin kulmiin ja päätyihin, säästettäisiin sillä myös robotin tarvetta hitsata kulmia, jotka ovat hankalia herkän sulamismahdollisuutensa takia. Jälleen kerran säästyisi hieman aikaa ja jälki olisi tasaisempaa.

7 KUSTANNUSLASKELMA

Kustannuslaskelmaa laadittaessa jätetään työvaiheen kokoamisvaihe laskuista pois kokonaan, sillä työkappale toimitettiin koululle valmiiksi koottuna ja heftattuna. Robotisoinnin hankintakustannukset ja suunnittelutyö jätetään myös laskelmista pois. Kannattaa kuitenkin huomioida nämä seikat tuloksia vertailtaessa, sillä ne vaikuttaisivat huomattavasti lopullisiin tuloksiin. Laskelmat suoritetaan Pomen ja Sataedun arvioihin perustuen yhden työtunnin hintaan. Pome arvioi yhden hitsaajan laskutettavaksi tuntihinnaksi 60€ ja Sataedu arvioi robotin laskutettavan työtunnin hinnaksi 80€. Nämä arvioidut hinnat sisältävät työntekijän palkat ja kaikki muut kustannukset, kuten materiaali- ja laitekustannukset. Hinnat perustuvat arvioihin, eivätkä anna oikeaa kuvaa tuotteiden hinnoista. Nykyään ei kuitenkaan usein hinnoitella töitä työtunneissa, vaan kappaleilla on omat kiinteät hintansa.

Tämän kustannuslaskelman on tarkoitus antaa suuntaa-antava arvio, miten paljon rahallista säästöä robotti toisi tälle yhdelle työkappaleelle. Tästä syystä laskelmassa ei huomioida robotin hankintakustannuksia ja ohjelmoinnin suunnittelukustannuksia. Voidaan hypoteettisesti olettaa, että yrityksessä on jo robotti joka tekee muitakin töitä ja ohjelma on suunniteltu tälle työkappaleelle jo aiemmin. Oletetaan myös, että työkappaleet on valmistettu riittävällä tarkkuudella tai että robotti on valjastettu railonhakulaitteella, jotta tuotetta voidaan valmistaa massatuotantona. Tarkoitus on siis vertailla pelkästään hitsausaikoja ihmisen ja robotin välillä, sekä niistä syntyviä taloudellisia eroja.

Laskennat on suoritettu Excel-taulukkolaskentaohjelmalla.

Taulukko 1. Hitsausajan vertailu

	Hitsausaika (min)	Muu väliaika (min)	Valmistusaika (min)	Valmistusaika (h)
Robotti	18	5	23	0,38
Ihminen	45	20	65	1,08

Taulukosta 1 selviää robotin ja ihmisen hitsausaikavertailut. Robotin hitsausaika on mitattu sekuntikellolla ja ihmisen hitsausaika sekä väliaika perustuvat Pomen antamiin arvioihin. Muu väliaika taulukossa tarkoittaa kappaleen asetusajaa ja sen puhdistusaikaa. Robotilla työkappaleen puhdistusaikaa ei tarvitse ottaa huomioon, sillä työkappaletta voi puhdistaa samalla, kun robotti hitsaa seuraavaa työkappaletta. Valmistusaika tarkoittaa yhden kappaleen kokonaisvalmistusaikaa ja tuloksista käy ilmi, että robotti on noin kolme kertaa nopeampi kuin ihminen.

Taulukko 2. Hintojen vertailu

	Työtunnin hinta €	Hinta valmiille työkappaleelle €	Hinta kymmenelle työkappaleelle €	Käytetyt työtunnit (10 kpl)
Robotti	80	30,67	306,67	3,83
Ihminen	60	65	650	10,83

Taulukosta 2 selviää, että robotti valmistaisi työkappaleen 30,67 €:n kappalehintaan, kun taas ihmisellä valmistuskustannuksia tulisi 65 €. Robotti tekee yhden kappaleen noin 53 % halvemmalla verrattuna ihmiseen. Kymmenen valmistetun kappaleen jälkeen säästöä on kertynyt robotin eduksi noin 340 euroa ja aikaa on kulunut 7 tuntia vähemmän.

Taulukossa 3 on hypoteettinen tilanne, jossa yritykseltä tilataan 500 kappaleen erä työntörunгон alaasia. Taulukosta käy ilmi, miten paljon nopeammin ja halvemmalla robotti suoriutuu tästä tehtävästä.

Taulukko 3. 500 kappaleen valmistuskustannukset ja aika

	Hinta €	Aika (pv)
Robotti	15333,33	7,99
Ihminen	32500,00	22,57

Taulukossa 3 näkee, että 500 työkappaleelle tulisi robotilla valmistuskustannuksia noin 15 300 euroa ja ihmistyönä valmistettuna noin 17 200 euroa enemmän. Työpäivän oletetaan olevan 8 tuntia ja huomataan, että robotti suoriutuisi urakasta kahdeksassa päivässä eli puolessatoista työviikossa. Ihmisellä sen sijaan urakkaan menisi lähes 23 työpäivää, mikä tarkoittaa hieman yli yhtä työkuukautta.

7.1 Kustannuslaskelman pohdintaa

Kuten edellä tuli ilmi, robotin hankintakustannukset, hitsauskiinnittimen suunnittelun ja hitsausohjelman teon kustannukset jätettiin laskuista pois. Näitä seikkoja ei kuitenkaan voi sivuuttaa. Sataedun hitsausrobotisolun hankinta sekä järjestetyt koulutukset maksoivat noin 100 000 euroa. Riippuen työkappaleesta, hitsauskiinnittimen suunnitteluun kannattaa yleensä käyttää paljon aikaa. Esimerkkinä aikaisemmin työssä esille tulleen kuljettimen jigin eli hitsauskiinnittimen suunnittelu ja valmistus vei noin viikon. Siihen päälle tulee vielä laskea hitsausohjelman teko, joka kuljettimelle tehtäessä vei noin kaksi viikkoa. Nämä olivat yksinkertaisia ja pienitöisiä esimerkkejä ja työtunteja niihin käytettiin silti noin 80–100. Toki ne olivat harjoitustöitä ja robotin opettelu vei suurimman osan ajasta, suunnittelu ja ohjelman teko ovat kuitenkin merkittävä tekijä työkappaleen kustannuslaskelmaa laadittaessa.

Taulukossa 1 näkyvässä ihmisen hitsausaika-arviossa kannattaa ottaa huomioon, että oikeissa olosuhteissa ihminen pystyisi hitsaamaan lähes yhtä nopeasti kuin robotti. Samoilla hitsausarvoilla hitsattaessa kumpikaan ei voi kuljettaa hitsauspis- toolia toista nopeampaa, muuten hitsauksen laatu ja jälki huononevat. Robotilla pystytään toki hitsaamaan suuremmilla arvoilla tasaisemmin, mikä mahdollistaisi suuremman kuljetusnopeuden, mutta käytännössä suurimmat erot tulevat väliliik- keistä ja työkappaleen kääntelyistä. Hitsausajan arvio perustuu valmistuneiden kappaleiden määrään yhden työpäivän aikana. Pomen mukaan yksi työntekijä hit- saa noin 6 työkappaletta päivässä, josta päästään tähän 65 minuutin aika-arvioon. Ajassa on otettu huomioon kaikki tauot ja muut järjestelyt, mitä robotilla hitsattaes- sa ei ole tarvetta huomioida. Robotin ylivertaisuus onkin sen toistettavuudessa. Kun ihminen menee tauolle, robotti voi jatkaa töitä väsymättä.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyö oli aiheena haastava, mutta erittäin mielenkiintoinen. Hitsausohjelman tekeminen oikealle tuotannon tuotteelle oli kiinnostavaa ja vierailu eri yrityksissä oli erittäin antoisaa.

Hitsauksen robotisointi -hanketta saatiin vietyä eteenpäin ja yritykset tietävät nyt mahdollisuudesta testata tuotteita Sataedun robotilla. Yrityksien edustajille on tarkoitus järjestää tutustumispäiviä ja demotilaisuuksia, jotta aihetta saadaan tutummaksi.

Yhteenvetona voidaan todeta, että nykyisen taloudellisen tilanteen vuoksi, tuotannon kehittäminen on hankalaa. Aiheesta oltiin kiinnostuneita, mutta yritykset eivät ole tekemässä laitehankintoja. Tulevaisuudessa lähialueen yritykset tulevat todennäköisesti parantamaan tuotantoaan robotisoinnilla. Nykyisessä tilanteessa on kuitenkin pakko tulla toimeen sillä, mitä on ja odottaa parempia aikoja.

Robotisoinnin hyödyistä saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että valmistettu työntörungon alaosa valmistui robotilla noin kolme kertaa nopeammin. Huomioitavaa on kuitenkin, että nykyisellään tuote ei sovellu massatuotantoon liian suurien mittaheittelyiden vuoksi. Lisäksi kannattaa huomioida, että hitsausnopeudessa ihmisen ja robotin välillä ei yksittäisessä työkappaleessa ole suurta eroa. Mutta koska hitsattavaa saumaa tuli yhteensä yli neljä metriä, erot hitsausnopeuksissa syntyivät erilaisista väliliikkeistä ja kappaleen kääntelyistä. Toinen suuri tekijä hitsausnopeudessa on työn toistettavuudessa, robotilla voidaan tehdä töitä taukoamatta. Robotisoinnilla päästäänkin eroon ihmiselle yksitoikkoisesta työstä ja saadaan mielekkäämpiä työtehtäviä, kuten vaikka robottisolun hoitaminen.

Vaikka työntörungon alaosa ei soveltunut kovin hyvin nykyisellään robotille hitsattavaksi, yhteistyö Pomen kanssa jatkuu. Pome oli tyytyväinen hitsauksen laatuun ja hitsausaikaan, kun valmiita työkappaleita käytiin esittelemässä. Työn haasteellisuudesta ja tarkkuudesta keskustelun jälkeen, seuraavien työntörungon alaosien osavalmistukseen ja kokoamisiin pyritään lisäämään tarkkuutta. Lähitulevaisuudessa saapuvat parannellut työkappaleet pyritään hitsaamaan nopeammin ja siistim-

min optimoidulla hitsausohjelmalla. Tarkoituksena on tutkia, onko tuotetta mahdollista jalostaa sarjatuotantoon. Kun uudet ohjelmat saadaan valmiiksi, Pomelle järjestetään näytöstilaisuus hitsausprosessista.

LÄHTEET

- Aaltonen, K. & Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio. Porvoo: WSOY
- Elettronica Veneta. 2014. Robot Module mod. MCS-710/EV. [www-dokumentti]. Odelco AB. [Viitattu 30.4.2014]. Saatavissa: http://odelco.co/products/productdetails_sJui.html
- Epson. 2014. Cartesian robots. [www-dokumentti]. All On Robots. [Viitattu 12.5.2014]. Saatavissa: <http://www.allonrobots.com/cartesian-robots.html>
- EURA 2007. 2014. Palvelut projektin hakijoille ja toteuttajille. [www-dokumentti]. EU:n rakennerahastojen hallintajärjestelmä. [Viitattu 7.4.2014]. Saatavissa: Euroan tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Hitsausasennot. 2014. 1.8. Hitsausasennot. [www-dokumentti]. Turun ammatti-instituutti. [Viitattu 10.4.2014]. Saatavissa: http://projektit.turkuai.fi/virtuaalikouluhankkeet/hitsaus/1_hitsaus/1_8_hitsausasennot.htm
- Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Metso, T. & Putkonen, K. 2001. Logiikat ja ohjausjärjestelmät. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy
- KR5 SCARA. 2014. Long-Reach SCARA Robots. [www-dokumentti]. Automation World. [Viitattu 30.4.2014]. Saatavissa: <http://www.automationworld.com/operations/long-reach-scara-robots>
- Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Helsinki: Talentum Oyj/MetalliTekniikka
- Lepola, P. & Makkonen, M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY
- Lukkari, J. 2002. Hitsaustekniikka. Helsinki: Edita Prima Oy
- Mitsubishi. 2014. Mitsubishi robot RV – 2SDB. [www-dokumentti]. Technical University of Košice. [Viitattu 30.4.2014]. Saatavissa: <http://kyb.fei.tuke.sk/laben/modely/mit.php>
- Motoman. 2014. Motoman's ArcWorld C-50 workcell leads in smaller arc welding applications. [www-dokumentti]. KC Robotics Industrial Automation and Integration Solutions. [Viitattu 30.4.2014]. Saatavissa: <http://www.kcrobotics.com/blog/motomans-arcworld-c-50-workcell-leads-in-smaller-arc-welding-applications/>

Panasonic Industrial. 2014. Part positioner for multi-axis robot. [www-dokumentti]. Panasonic Corporation. [Viitattu 30.4.2014]. Saatavissa: <http://www.directindustry.com/prod/panasonic-industrial-robot-welding/part-positioners-multi-axis-robots-21312-578621.html>

Pome. 2014. Pome [www-dokumentti]. Pomarkun Urakoitsijatarvike Oy. [Viitattu 25.3.2014]. Saatavissa: <http://www.pome.fi/>

Sataedu. 2014. Sataedu. [www-dokumentti]. Satakunnan koulutuskuntayhtymä. [Viitattu 12.3.2014]. Saatavissa: <http://sataedu.fi/sataedu>

Sataedu Kankaanpää. 2014. Sataedu Kankaanpää, Asemakatu 7. [www-dokumentti]. Satakunnan koulutuskuntayhtymä. [Viitattu 12.3.2014]. Saatavissa: http://sataedu.fi/toimipaikat/sataedu_kankaanpaa_asemakatu_7

SFS-EN ISO 8373. 1994. Teollisuusrobotit. Sanasto. Manipulating industrial robots. Vocabulary. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 3052. 1995. Hitsaussanasto. Yleistermit. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Teollisuusrobottitilasto 2012. 2014. Suomen teollisuusrobottitilasto 2012. [pdf-julkaisu]. Suomen Robotiikkayhdistys ry. [Viitattu 2.4.2014]. Saatavissa: http://www.roboyhd.fi/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=168&Itemid=66

Yaskawa Motoman 1. 2014. Operating and Maintenance Instructions MH6. [Viitattu 17.3.2014]

Yaskawa Motoman 2. 2014. Instruction manual MT1-250 S2N. [Viitattu 17.3.2014]

Yaskawa Motoman 3. 2014. Installation manual HSD-500 SX. [Viitattu 17.3.2014]

LIITTEET

Liite 1. Työntörungon alaosan AutoCAD-piirustus

