

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

2018

Teppo Helminen

HITSAUSROBOTTISOLUN KÄYTTÖÖNOTTO

Teppo Helminen

HITSAUSROBOTTISOLUN KÄYTTÖÖNOTTO

Naantalissa toimiva konepaja yritys Sihy Oy oli hankkinut hitsausrobottisolun teollisuusputkistojen hitsaamiseen tavoitteena tuotannon kehittäminen ja automatisointi. Opinnäytetyön tavoitteena oli käyttöönottaa hitsausrobottisolu ja tehdä käyttöohje solua käyttävälle operaattorille. Ensisijaisena tavoitteena oli luoda hitsausohjelmia, säätää hitsausparametrit sopiviksi ja optimoida robotin liikeradat.

Hitsausrobottisolulla hitsataan suoriin teollisuusputkiin esihitsattuja holkkeja ja laippoja. Hitsattavat tuotteet ovat suurelta osin yksilöllisiä, eivätkä sarjatuotantoa. Putkien koot ovat väliltä DN32–DN300 ja pituudet esihitsattujen osien kanssa 1200–6150 mm. Hitsausrobottisolun toimintaa on tarkoitus kehittää myöhemmin kattamaan myös lyhempien putkien hitsaaminen.

Opinnäytetyössä on hyödynnetty alan kirjallisuutta sekä internetin tietolähteitä. Opinnäytetyössä tehtiin yhteistyötä solun toimittaneen Robotmation Oy:n kanssa. Sihy Oy antoi kattavaa tietoa teollisuusputkistojen hitsaamisesta.

Opinnäytetyössä luotiin 33 hitsausohjelmaa 11 erikokoiselle putkelle ja niihin hitsattaville kolmelle erilaiselle osalle. Käyttöohje tehtiin helpottamaan solua käyttävän operaattorin työtä ja auttamaan uusien operaattoreiden perehdytyksessä ja koulutuksessa.

ASIASANAT:

Robotiikka, hitsaus, automaatio, hitsausrobotti, hitsausautomaatio

Teppo Helminen

COMMISSIONING OF A WELDING ROBOT CELL

Sihy Oy, a machine shop operating in Naantali, had acquired a welding robot cell for welding industrial pipes with the aim of developing and automating production. The aim of the thesis was to do a commissioning for a welding robot cell and make an instruction manual for the operator using the cell. The primary goal was to create welding programs, adjust welding parameters to fit and optimize robot motion data.

The welding robot is used to weld pre-welded sleeves and flanges to straight industrial pipes. The welded products are largely individualized, not serial production. The pipe sizes are between DN32–DN300 and the lengths with pre-welded parts 1200–6150 mm. The operation of the welding robot cell is to be further developed later to cover the welding of the shortened pipes.

In the thesis literature of the field as well as internet data sources were used. The thesis involved co-operation with Robotmation Oy, which provided the cell. Sihy Oy provided comprehensive information on welding industrial piping.

In the thesis 33 welding programs were created for 11 different sized pipes and welded to three different parts. The instruction manual was made to facilitate the operation of the cellular operator and to assist in the introduction and training of new operators.

KEYWORDS:

Robotics, welding, automation, welding robot, welding automation

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 TOIMEKSIANTO	8
2.1 Sihy Oy	8
2.2 Tavoitteet	8
2.3 Lähtökohdat	9
3 HITSAUSROBOTTI	10
3.1 Teollisuusrobotti	10
3.2 Koordinaatistot	10
3.3 MIG/MAG-hitsaus	11
4 HITSAUSROBOTTISOLU	12
4.1 Robotvisor	12
4.2 Fanuc M-900iA/600	13
4.3 Fanuc M-10iA	15
4.4 Lincoln Electric Power Wave® 455M Robotic	16
4.5 Lincoln Electric Cool-Arc® 40 Water Cooler	17
4.6 Lincoln AutoDrive™ 4R90 Wire Feeder	18
4.7 Kuljettimet	19
4.8 Putken pyöritysrullasto	19
4.9 Hitsauspolttimen puhdistusasema	19
5 KÄYTTÖÖNOTTO	21
5.1 Robotit	21
5.2 Hitsaaminen	22
5.3 Hitsausrobottisolun parannuskohteet	25
5.4 Käyttöohje	27
6 YHTEENVETO	28
LÄHTEET	29

LIITTEET

Liite 1. Hitsausrobotisolun käyttöohje

KUVAT

Kuva 1. Ruutukaappaus Robotvisor-ohjelmasta.	13
Kuva 2. Fanuc M-900iA/600.	14
Kuva 3. Putkitarttuja.	15
Kuva 4. Fanuc M-10iA.	16
Kuva 5. Lincoln Electric Power Wave® 455M (Lincoln Electric 2008).	17
Kuva 6. Lincoln Electric Cool-Arc® 40 Water Cooler (Lincoln Electric 2018).	17
Kuva 7. Lincoln AutoDrive™ 4R90 Wire Feeder (Lincoln Electric 2008).	18
Kuva 8. Abicor Binzel Torch Cleaning Station.	20
Kuva 9. A-mitta (Lepola & Makkonen. 2005, 22.).	23
Kuva 10. Putkeen hitsattu jatkosholkki.	24
Kuva 11. Putkeen hitsatun levylaipan ulkosauma.	24
Kuva 12. Putkeen hitsatun levylaipan sisäsauma.	25

TAULUKOT

Taulukko 1. Robotin ohjelmassa käytetyt hakupaikat.	22
-----------------------------------------------------	----

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys (Lähdeviite)
Ar	Argon
CO ₂	Hiilidioksidi
Hitsauksen vaaputus	Hitsattaessa poltin tekee aaltoilevaa liikettä
Hz	Hertsi, taajuuden yksikkö
MAG-hitsaus	Metal Active Gas Welding, kaasukaarihitsaus aktiivisella suojakaasulla
MIG-hitsaus	Metal Inert Gas Welding, kaasukaarihitsaus inertillä suoja-kaasulla
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka
Railon haku	Robotin railon hakutoiminto
STT	Surface Tension Transfer [®] , Lincoln Electric:n kehittämä ja patentoima erikoiskaarisovellus
TIG-hitsaus	Tungsten Inert Gas Arc Welding, kaasukaarihitsaus, jossa volframielektrodi on ympäröity suojakaasulla

1 JOHDANTO

Sihy Oy:n hankkima hitsausrobotisolu tarjosi hyvän mahdollisuuden opinnäytetyön tekemiseen. Opinnäytetyö rajattiin käsittämään käyttöönoton osalta hitsausohjelmien luominen, hitsausarvojen säätäminen, robotin liikkeiden optimointi, parannuskohteiden ja suunnitteluvirheiden havaitseminen ja käyttöohjeen tekeminen hitsausrobotisolun operaattorille.

Teollisuudessa robotteja käytetään paljon metalli-, muovi- ja elintarviketeollisuudessa. Pääkäyttötarkoitukset olivat kokoonpano, hitsaus, koneistuksen kappaleenkäsittely, ruis-
kupuristuksen kappaleenkäsittely, paketointi ja pakkaus. Robottien perustana ovat uudelleen ohjelmoitavat liikkeet käyttötarkoituksen mukaan. Robotin ohjelma voidaan vaihtaa tuotannon muuttuessa käsittelemään uutta tuotetta. Robotteja käytetään tarkkuutta vaativissa töissä ja töissä joissa on paljon samaa toistoa, myös ihmisille liian raskaissa tai vaarallisissa tehtävissä käytetään robotteja.

Opinnäytetyössä esitellään hitsausrobotisolun osat, solun toimintaa, käyttöönotto, teoriaa robottihitsauksesta ja hitsausrobotisolun käyttöohjeen tekemisestä.

2 TOIMEKSIANTO

2.1 Sihy Oy

Sihy Oy (jatkossa Sihy) valmistaa ja asentaa vaativia teollisuusputkistoja ja teräsrakenteita. Sihyn putkistot valmistetaan omalla konepajalla Naantalissa ja asennetaan asiakkaiden tarpeisiin ympäri Suomea. Erityisosaamista ovat prosessi-, petrokemian- ja laivateollisuuden putkistot- ja laiteasennukset sekä painelaitteet ja näiden kunnossapito. Sihy tuo työmaalle pitkälle esivalmistetut putkistot, mikä mahdollistaa nopeat rakennusaikataulut ja korkean laadun. Konepaja palvelee laajasti putkistokomponenttien, painelaitteiden sekä teräsrakenteiden esivalmistajana. (Sihy Oy 2017.)

Sihy on toiminut putkistojen esivalmistajana vuodesta 1988. Tuolloin yrityksen nimenä oli Konepaja Sipilä & Hyvärinen, josta yhtiön nykyinen nimi on muodostunut. Yrityksen juuret ovat vahvasti valmistavassa tilauskonepajatuotannossa, mikä näkyy nykyisin tehokkaissa valmistusmenetelmissä. (Sihy Oy 2017.)

Vuonna 2011 yrityksen toimintaa lähdettiin uudistamaan osaksi myös uusien omistajien voimin. Tehokkaaseen konepajavalmistukseen liitettiin lisäksi putkisto-, laite-, ja teräsrakennesasennukset. Tästä tuloksena saatiin vahva liiketoiminnan kasvu, onnistuneita investointiprojekteja ja tyytyväisiä asiakkaita. (Sihy Oy 2017.)

Sihyn liiketoiminta jakautuu kolmeen osa-alueeseen, jotka ovat prosessi- ja laivateollisuuden investointiprojektit, näiden kunnossapitopalvelut sekä putkistoihin erikoistunut tilauskonepaja toiminta. Yritys työllistää jatkuvasti noin 50 henkilöä, ja yrityksen liikevaihto vuonna 2016 oli 7,2 milj. euroa. (Sihy Oy 2017.)

2.2 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on käyttöönottaa hitsausrobotisolu ja tehdä sille käyttöohjeet operaattoria varten. Käyttöönotto keskittyy suurelta osin hitsausohjelmien luontiin, hitsausarvojen säätämiseen, robotin liikeratojen optimointiin sekä mahdollisten parannuskohteiden havaitsemiseen hitsausrobotisolussa. Hitsausohjelmia luodaan aluksi 11 eri putkikoolle (DN32-DN300) ja kolmelle eri osatyypille.

Tavoitteena on aluksi ajaa hitsausrobottisolua manuaalisesti robotin opetuslaitteen (HandlingTool) kanssa, kun haetaan hitsaukselle sopivat säädöt ja robotille soveltuvat liikeradat. Kun putkikokojen ja osatyyprien hitsausarvot ja robotin liikeradat mahdollistivat, siirryttiin hitsausrobottisolun automaattiajoon.

Käyttöönoton aikana parannuskohteita pyrittiin havaitsemaan robotinohjelmasta, solun toiminnasta ja käyttämisestä. Robottiohjelman parannuskohteita pyrittiin havaitsemaan robotin törmäysriskeistä ja liikeradoista, tarttujassa olevan putkikoon ja pituuden vaihdellessa. Solun toiminnan ja käyttämisen parannuskohteita pyrittiin havaitsemaan käyttämällä solua.

2.3 Lähtökohdat

Sihy oli hankkinut hitsausrobottisolun teollisuusputkistojen hitsaamiseen tavoitteena tuotannon kehittäminen ja automatisointi. Aluksi hitsausrobottisolulla on tarkoitus hitsata suorien putkien (pituudelta 1200–6150 mm ja halkaisijalta DN32–DN300) päihin levy-laippoja, läpivienti- ja jatkosholkkeja niin, että osat on esihitsattu kiinni putkiin. Myöhemmin on tarkoitus laajentaa solun soveltuvuutta myös muille osille ja lyhemmille putkille.

Hitsausrobottisolu koostuu kahdesta robotista ja näiden lisälaitteista, kahdesta kuljettimesta, putken pyöritysrullastosta, solua ohjaavasta logiikkajärjestelmästä ja turvalaitteista.

Robotmation Oy (jatkossa Robotmation) toteutti logiikan ohjelmoinnin ja robotin ohjelman rungon. Robotin ohjelman optimointi, hitsausohjelmien luonti ja säätäminen kuului opinnäytetyöhön.

3 HITSAUSROBOTTI

3.1 Teollisuusrobotti

Teollisuusrobotti on sähköisesti, paineilmalla tai hydraulisesti liikkuva, kappaleita tai työkaluja käsittelevä, tietokoneohjattu laite, jonka liikeradat ovat ohjelmallisesti muutettavissa. Robotin määrittelyä käytetään vähintään kolmea vapaasti ohjelmoitavaa liikeakselia ja vähintään yhtä työkalua. (Keinänen ym. 2007, 259.)

5- ja 6-akselisten nivelvarsirobottien joustavuus ja monikäyttöisyys on tehnyt niistä teollisuudessa yleisimmin käytetyn robottimallin. Niiden sovellusalueita ovat muun muassa erilaiset kokoonpanotehtävät, työstökoneiden palvelu, pakkaus, hitsaus ja maalaustehtävät. Nivelvarsirobotin työskentelyalue on pallomainen ja 6-akselisen robotin tarttuja voidaan asemoida mihin tahansa asentoon työskentelyalueella. Nivelvarsirobotin mekaaninen rakenne mahdollistaa hyvin laajan kokovalikoiman (1–500 kg) jolloin lähes kaikkiin käyttötarkoituksiin löytyy sopivan kokoinen robottimalli. (Keinänen ym. 2007, 260.)

3.2 Koordinaatistot

Teollisuusrobottien yleisesti tunnetut koordinaatistot ovat (Keinänen ym. 2017, 260)

- maailmankoordinaatisto
- peruskoordinaatisto
- työkalukoordinaatisto.

Maailmankoordinaatisto on robotin toimintaympäristöön sidottu koordinaatisto. Esimerkiksi työstökoneetta palvelevan robotin maailmankoordinaatisto voi olla sidottu työstökoneen akseleiden suuntaiseksi. Maailmankoordinaatisto määräytyy robotin ympäristössä olevasta laitteistosta tai rakennuksista. Liikeratojen ohjelmoinnin kannalta maailmankoordinaatiston käyttö on järkevää silloin, kun robotin asemat määräytyvät ulkoisten laitteiden perusteella. (Keinänen ym. 2007, 260.)

Peruskoordinaatisto on robotin jalkaan sidottu koordinaatisto, jonka X- ja Y-akselit muodostavat vaakasuoran tason robotin jalustan alapinnan tasolle. Z-akseli on pystyakseli,

joka kulkee ensimmäisen liikeakselin pyörähdyskeskipisteen kautta. (Keinänen ym. 2007, 261.)

Työkalukoordinaatisto on suorakulmainen koordinaatisto, jonka origo on sidottu työkalun tai käsittelevän kappaleen koordinaatistoksi. Tällöin koordinaatiston akseleiden suunta muuttuu kappaleen asennon mukana, eli X-, Y- ja Z-suuntaiset liikkeet ovat aina samansuuntaiset työkappaleeseen nähden. Tämä helpottaa liikeratojen ohjelmointia esimerkiksi hitsaus- ja kokoonpanotehtävissä. (Keinänen ym. 2007, 261.)

3.3 MIG/MAG-hitsaus

MIG-/MAG-hitsaus on puoliautomaattinen hitsausmenetelmä, jossa lisäaineena käytettävää lankaa syötetään automaattisesti vakionopeudella suojakaasulla suojattuun hitsauskohtaan, jossa palava valokaari sulattaa lisä- ja perusainetta. (Lepola & Makkonen. 2005, 103.)

MIG/MAG-hitsauksella saavutettavia etuja ovat (Lepola & Makkonen 2005, 103)

- puoliautomaattinen hitsaus, jossa lisäaineen syöttö jatkuvaa, ei katkoksia hitsin lisäaineen vaihtojen takia, kuten puikkohitsauksessa
- ei muodosta kuonaa
- kuonasulkeumien vaara pieni
- tunkeuma säädettävissä virran avulla
- hyvä tuottavuus
- laaja hitsaustehojen säätömahdollisuus, esim. Ø 1,0 mm:n lisäainelangalla lyhytkaarialueen 65A/15V – kuumakaarialueen 280A/38V.
- voidaan hitsata kaikissa asennoissa
- lisäaineen edullisuus.

Haittoja ovat (Lepola & Makkonen 2005, 103)

- arka vedolle ja tuulelle
- ulottuvuus ja luokse päästävyys hitsauskohteeseen rajoitetut
- ei sovellu asennustyömaaolosuhteisiin
- hitsausarvojen säätö vaikeampaa kuin puikkohitsauksessa
- hitsauslaitteisto vaatii enemmän huoltoa kuin esim. puikkohitsauslaitteisto
- lisäainevalikoima suppeampi verrattuna esimerkiksi puikkohitsaukseen.

4 HITSAUSROBOTTISOLU

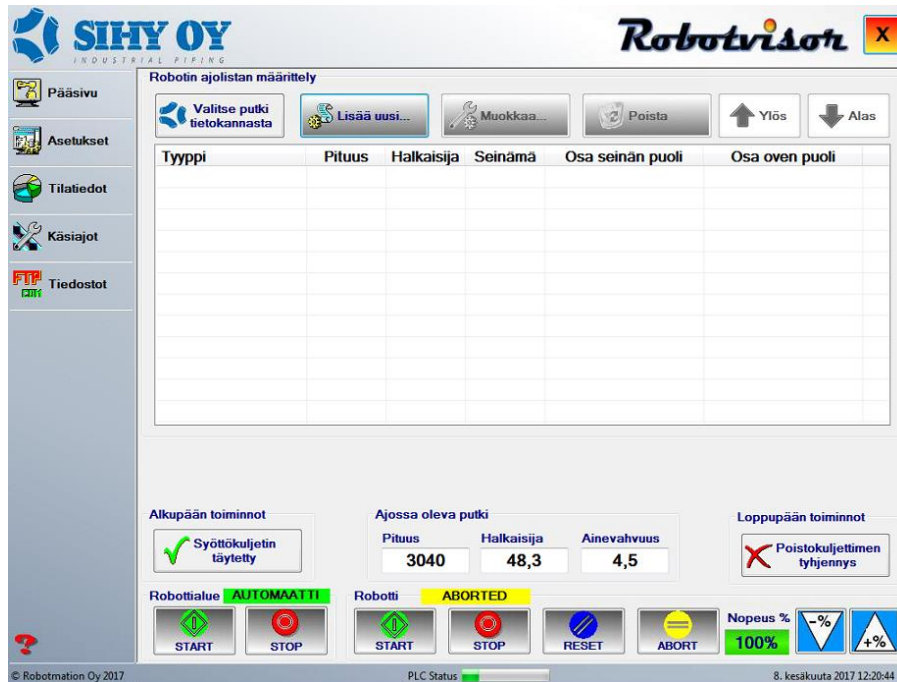
Robotmation suunnitteli ja toimitti hitsausrobottisolun Sihylle. Robotit, robottihitsauslaitteet, puhdistusaseman ja robotin häkin Sihy oli ostanut käytettynä. Robotmation suunnitteli ja toimitti putkitarttujan, logiikan ja kuljettimet soluun. Vuosimallia 2008 olevat Fanuc-robotit ovat olleet aiemmin vähällä käytöllä, käyttötunteja roboteilla oli hankintahetkellä alle 3000 tuntia.

Hitsausrobottisolun laitteisto:

- Fanuc M-900iA/600
- Fanuc M-10iA
- Lincoln Electric Power Wave® 455M
- Lincoln Electric Cool-Arc® 40 Water Cooler
- Lincoln AutoDrive™ 4R90 Wire Feeder
- Abicor Binzel Torch Cleaning Station
- Beckhoff:n Soft PLC-logiikka
- 2 kuljetinta
- putken pyöritysrullasto
- turva-aita ja turvalaitteet

4.1 Robotvisor

Robotvisor (kuva 1) on Robotmation Oy:n valmistama ohjelmisto, joka sisältää robottiohjelmiston, PLC-ohjelmiston ja PC-ohjelman. PLC-ohjelmistona on Beckhoff TwinCAT 3.



Kuva 1. Ruutukaappaus Robotvisor-ohjelmasta.

Robotvisor on monipuolinen ohjainjärjestelmä FANUC-robotisoluihin, ja sen voi tarpeen mukaan valjastaa eri rooleihin. Laitteisto sisältää teollisuus-PC:n, jossa on näyttö samassa paketissa. Ohjelmistona toimii täysiverinen Soft PLC ja nimenomaan robotisoluja varten kehitetty graafinen käyttöliittymä. Robotvisorilla on mahdollista valvoa kaikkia soluun kytkettyjä laitteita, sekä liittyä muihin PC- ja PLC-järjestelmiin. (Robotmation 2015.)

Windows-pohjaisen logiikan myötä logiikkaa voidaan etähallita TightVNC-ohjelmalla. Etähallintaa voidaan tehdä muun muassa tietokoneilla tai tableteilla käyttäen TightVNC-ohjelmaa. Hitsausrobotisolussa tätä on hyödynnetty putkitietojen syöttämisessä, tabletin avulla säästetään kävelyä syöttökuljettimen ja logiikan hallinta näytön välillä. Soluun asetettavien putkien tiedot voidaan syöttää Robotvisor-ohjelmaan syöttökuljettimen vierestä, mikä tehostaa työtä huomattavasti.

4.2 Fanuc M-900iA/600

Fanuc M-900iA/600 (kuva 2) kappaleenkäsittelyrobotti on varustettu Robotmationin suunnittelemana ja valmistamana pneumaattisella levitettävällä putkitarttujalla.

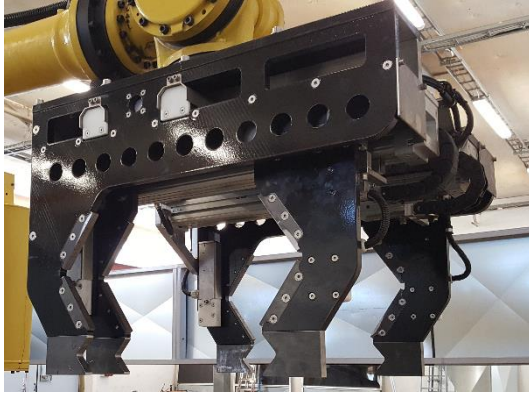
Fanuc M-900iA/600 tekniset tiedot (FANUC Robotics America Corporation 2010):

- Akseleiden lukumäärä: 6
- Ulottuvuus: 2832 mm
- Tarkkuus: $\pm 0,3$ mm
- Kantavuus: 600 kg
- Paino: 2800 kg



Kuva 2. Fanuc M-900iA/600.

Robotissa on pneumaattinen levitettävä putkitarttuja (kuva 3), jonka on suunnitellut ja valmistanut Robotmation. Tarttujassa on anturit putken hakuun, kaksi tartuntakohtaa erikokoisille putkille, ja tarttuja on levitettävissä kahdelle eri leveydelle. Tarttujan leveys kapealla on 690 mm ja leveällä 1180 mm. Pienemmällä tartunta kohdalla tartutaan putkista, joiden halkaisija on alle 100 mm ja isommalla tartutaan tätä suuremmista putkista. Tarttuja kapealla tartutaan putkiin, joiden pituus on alle 3800 mm, ja leveällä pidempiin putkiin, joiden pituus on vähintään 3800 mm.



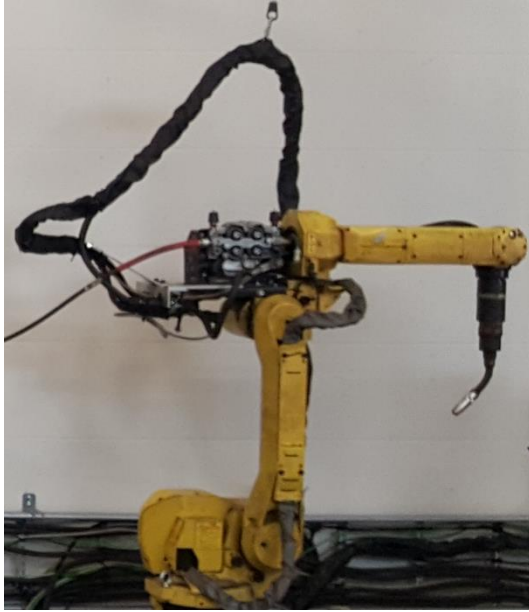
Kuva 3. Putkitarttuja.

4.3 Fanuc M-10iA

Fanuc M-10iA hitsausrobotti (kuva 4) on varustettu Lincoln Electric:n MIG/MAG-hitsauslaitteistolla.

Fanuc M-10iA tekniset tiedot (FANUC Robotics America Corporation 2017):

- Akseleiden lukumäärä: 6
- Ulottuvuus: 1420 mm
- Tarkkuus: $\pm 0,08$ mm
- Kantavuus: 10 kg
- Paino: 130 kg



Kuva 4. Fanuc M-10iA.

Robottihitsauslaitteistona on Lincoln Electric Power Wave® 455M -virtalähde, Lincoln Electric Cool-Arc® 40 -vedenkiertolaite ja Lincoln Electric AutoDrive™ 4R90 -langansyötölaite.

4.4 Lincoln Electric Power Wave® 455M Robotic

Lincoln Electric Power Wave® 455M Robotic on Lincoln Electricin valmistama robottihitsausvirtalähde. Hitsausvirtalähteen nimellisteho 50 Hz taajuudella on 400A/36V 100 % käyttömäärällä ja 500A/40V 60 % käyttömäärällä. (Lincoln Electric 2008).

Lincoln Electric Power Wave® 455M -virtalähdettä (kuva 5) voidaan käyttää MIG-, Pulsed (pulssi)-, Flux-Cored (täytelanka)- ja Surface Tension Transfer® (STT®) -prosesseissa (Lincoln Electric 2008). Surface Tension Transfer® on Lincoln Electricin kehittämä ja patentoima erikoiskaarisovellus.



Kuva 5. Lincoln Electric Power Wave® 455M (Lincoln Electric 2008).

4.5 Lincoln Electric Cool-Arc® 40 Water Cooler

Lincoln Electric Cool-Arc® 40 Water Cooler (kuva 6) on vesijäähdytteisiin MIG- ja TIG-laitteisiin sekä plasmaleikkaussovelluksiin sopiva vedenjäähdytin. Veden jäähdytin on käytettävissä 115 ja 230 voltin jännitteellä, Cool-Arc® 40 on yhteensopiva kaikkien Lincoln-vesijäähdytteisten järjestelmien kanssa, mukaan lukien Cobramatic®. (Lincoln Electric 2005.)



Kuva 6. Lincoln Electric Cool-Arc® 40 Water Cooler (Lincoln Electric 2018).

Hitsausrobotisoluissa Cool-Arc® 40 -vesijäähdyttimen tehtävä on jäähdyttää hitsauspolttinta hitsauksen aikana. Robottihitsauksessa voidaan hitsata yhtäjaksoisesti pitkiäkin aikoja, jolloin polttimen jäähdyttäminen on välttämätöntä.

Lincoln Electric on asettanut jäähdytinnesteelle seuraavia vaatimuksia.

Käytettäessä jäätymispisteen yläpuolella:

- puhdasta hanavettä, tislattua tai deionoitua vettä.

Käytettäessä jäätymispisteen alapuolella:

- 50 % puhdasta etyleeniglykoliseosta ja 50 % vettä. (Lincoln Electric 2005.)

4.6 Lincoln AutoDrive™ 4R90 Wire Feeder

AutoDrive™ 4R90 langansyöttölaitteen (kuva 7) tehtävä on syöttää hitsauslankaa hitsauksen aikana. Langansyöttölaitteen pienikoko (6 kg) on mahdollistanut sen asentamisen robotin käsivarteeseen. Langansyöttölaitteella voidaan hitsata 0,6–1,2 mm umpilangoilla ja 0,9–1,2 mm täytelangoilla. Erityyppisille ja kokoisille hitsauslangoille on omat syöttöpyörät.



Kuva 7. Lincoln AutoDrive™ 4R90 Wire Feeder (Lincoln Electric 2008).

4.7 Kuljettimet

Hitsausrobotisolussa on erilliset syöttö- ja poistokuljettimet. Molemmille kuljettimille mahtuu kerralla 7 putkea, ja putkien pituus 1200–6150 mm.

Syöttökuljettimessa on kohdistusrauta putkien asettelemista varten, jolla putken päät saadaan aseteltua samalle tasalle. Putket asetellaan kuljettimen hammastuksen joka toiseen väliin, jotta tarttuja mahtuu ottamaan putken kuljettimelta. Kuljettimen kuittaus painikkeella pyörähtää eteenpäin mahdollistaen uuden putken asettamisen kuljettimelle. Kuljettimella on raja-anturi, jolla logiikka tunnistaa, onko kuljettimen hakupaikassa putki mahdollisten robotin putken haun ja estäen kuljettimen pyörimisen enempää.

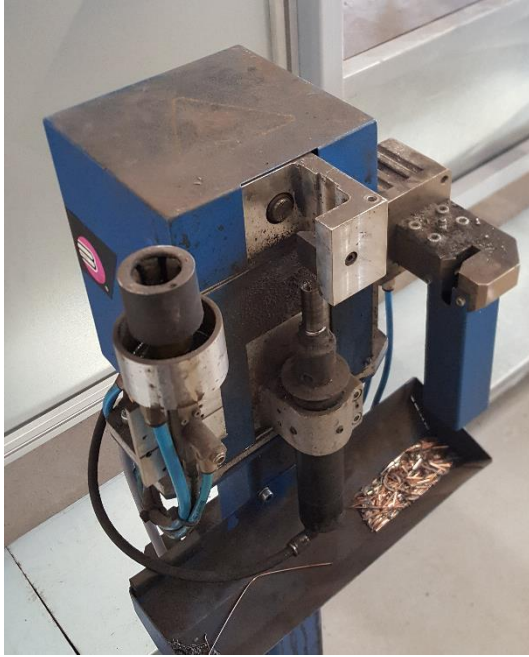
Poistokuljettimesta löytyy raja-anturi, joka tunnistaa kuljettimen lopussa olevan putken estäen kuljetinta pyörimästä ennen kuin putki on poistettu kuljettimelta.

4.8 Putken pyöritysrullasto

Putken pyöritysrullasto koostuu kahdesta osasta. Rullaston kiinteästä rulla parista, jonka toisessa rullassa on veto ja liikuteltavasta rulla parista. Vetävässä rullassa oleva pulssi-anturi mittaa milloin putki on pyörinyt kierroksen. Robotti siirtää liikuteltavaa rullaston osaa putken pituuden mukaan, mahdollistaen rullaston optimaalisen toiminnan hitsattaessa erimittaisia putkia. Rullaston liikuttamiselle on asetettu rajat robotin ohjelmaan, lyhyitä putkia hitsattaessa rullastolla on minimi leveys ja pitkiä putkia hitsattaessa rullastolla on maksimi leveys.

4.9 Hitsauspolttimen puhdistusasema

Hitsausrobotisolussa on Abicor Binzelin valmistama Torch Cleaning Station (TCS) polttimen puhdistusasema (kuva 8). Puhdistusasemassa on polttimen jysintä, roiskesuoja-aineen annostelija ja langan katkaisu. Vasemmalla puolella on polttimen roiskesuoja-aineen annostelija, keskellä polttimen jysintä ja oikealla langan katkaisu.



Kuva 8. Abicor Binzel Torch Cleaning Station.

Jyrsin puhdistaa hitsauspolttimen hitsausroiskeista, roiskesuoja-aine estää hitsaus-roiskeiden tarttumisen polttimeen ja langan katkaisulla katkaistaan vapaa lanka oikean mitaiseksi, vapaa langan pituudeksi on ohjelmoitu 14 mm.

5 KÄYTTÖÖNOTTO

Hitsausrobotisolun käyttöönotossa keskityttiin suurelta osin hitsausohjelmien luontiin, hitsausarvojen säätämiseen, robotin liikeratojen optimointiin sekä mahdollisten parannuskohteiden havaitsemiseen hitsausrobotisolussa. Parannuskohteita pyrittiin havaitsemaan käyttöönoton yhteydessä ja tekemään tarvittavia muutoksia.

5.1 Robotit

Käyttöönottoon robottien osalta kuuluu robottien ohjelmointia ja ohjelmien toiminnan optimointia. Hitsaamisen säätämisestä robottien osalta on kerrottu seuraavassa luvussa. Robottien ohjelmointi tehtiin robottien yhteisellä opetuslaitteella, jolla voitiin ohjata monempia robotteja.

Robotin ohjelma koostuu pääohjelmasta (Main) ja erilaisista apuohjelmista. Robotti suorittaa pääohjelmaa ja kutsuu tarvittavia apuohjelmia, kuten putken haku- tai hitsausohjelmaa. Myös apuohjelmat voivat kutsua toisia apuohjelmia, kuten hitsausohjelma voi kutsua polttimen puhdistusohjelmaa. Putken tiedot robotti saa muuttujana logiikalta, näitä tietoja on putken pituus, halkaisija, seinämävahvuus ja putkeen hitsattavat osat. Näiden tietojen avulla robotti osaa valita suoritettavat ohjelmat.

Hitsausrobotin Fanuc M-10iA ohjelmointiin kuului polttimen putsausohjelman säätäminen ja hitsausohjelmien luonti ja säätäminen. Robotille luotiin hitsausohjelmia erikokoisille putkille ja eri osatyypeille. Kun osatyypille oli tehty ensimmäiselle putkikoolle ohjelma, tätä voitiin hyödyntää kopioimalla ohjelma ja muokkaamalla se seuraavalle saman osatyyppin eri putkikoolle.

Putkien käsittelyrobotin Fanuc M-900iA/600 ohjelmointiin kuului rullaston säätämishjelman luominen ja säätäminen, putken haku- ja jättö-ohjelmien säätäminen, putken liikuttamisohjelmien luonti ja säätäminen, putken rullastolle jättö- ja haku-ohjelmien luominen ja säätäminen, maadoitusohjelman säätäminen ja putken kääntöohjelmien luominen ja säätäminen. Robotti-ohjelmiin tehtäviä muutoksia tehtiin tarvittaessa, jos käytön aikana ilmeni tarvetta.

Putkien vaihtelevasta pituudesta 1200–6150 mm välillä, johtuen robotilla on neljä haku- paikkaa syöttökuljettimella ja neljä jättöpaikkaa poistokuljettimella. Aluksi käytössä oli

kolme haku- ja jättopaikkaa, mutta tämä muutettiin neljään. Tällä tavoin putkesta saadaan mahdollisimman tasapainoinen ote, robotin käsittelykykyä pystytään hyödyntämään tehokkaammin, kun putken aiheuttama momentti robotin J6-akseliin pysyy pienempänä. Putken keskeltä otettu ote vaaditaan myös, jotta pitkiä putkia käsiteltäessä putki saadaan pysymään turva-aitojen sisäpuolella. Kolmella hakupaikalla ongelmaksi tuli tarttumakohdan sijainti liian kaukana putken keskikohdasta. Pitkien putkien käsittely oli hankalaa ja ne aiheuttivat liian suurta momenttia robotin J6-akseliin. Taulukossa 1 on esitetty robotilla käytetyt hakupaikat eri putken pituuksilla. HakuX on robotin ohjelmassa käytetty etäisyys putken päästä.

Taulukko 1. Robotin ohjelmassa käytetyt hakupaikat.

Hakupaikka	Putken min. pituus	Putken max. Pituus	HakuX
1.	1200	2399	282
2.	2400	3799	1127
3.	3800	4999	1650
4.	5000	6150	2600

5.2 Hitsaaminen

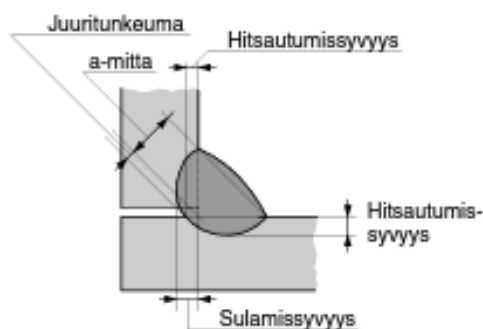
Hitsatessa käytettiin Lincoln Electricin puoliautomaattiseen hitsauksiin ja robottisovelluksiin tarkoitettua SupraMig Ultra umpilankaa, jonka halkaisija on 1,2 mm. Hitsauslanka tuli 250 kg Accutrak® tynnyristä. Hitsauskaasuna käytettiin SK-25 kaasua, jossa on 25 % hiilidioksidia (CO₂) ja 75 % Argonia (Ar).

Putkia hitsattiin yhdellä hitsauspalolla ja monipalkohitsauksella, jossa hitsataan samaan kohtaan useampi sauma mahdollistaen suuremman a-mitan hitsaamisen. Monipalkohitsauksella hitsattiin kaksi saumaa, jos piti saada suurempi a-mitta tai putkissa oli liian suuri ilmarako yhdelle hitsauspalolle. Monipalkoa hitsattaessa, ensimmäisellä saumalla eli juuripalolla oli tarkoitus saada tukittua kokonaan putken ja hitsattavan osan välissä oleva ilmarako. Monipalkohitsauksen tarve riippui suurelta osin hitsattavasta putki-koosta, koska putkikoon vaihtuessa myös putken ja hitsattavan osan väliin jäävän ilma- raon koko vaihteli. Lisäksi ilma- raon kokoon vaikutti suuresti kuinka hyvin hitsattava osa oli keskitetty putkeen nähden esihitsaus vaiheessa.

Hitsattaessa yli 4 mm a-mitalla olevaa saumaa, käytettiin hitsauksessa vaaputtamista eli poltin tekee aaltomaista liikettä hitsauksen aikana. Alle 4 mm a-mitalla olevat saumat

hitsattiin ilman vaaputtamista. Monipalkoa hitsattaessa juuripalko eli ensimmäinen sauma hitsattiin ilman vaaputtamista, toinen palko hitsattiin ensimmäisen päälle käyttämällä vaaputtamista.

Putkiin hitsattiin putken seinämä vahvuutta vastaava a-mitta (kuva 9). Esimerkiksi DIN 200 putkeen, jonka halkaisija on 219,1 mm ja seinämävahvuus 6,3 mm hitsattiin 6,3 mm a-mitalla oleva sauma.



Kuva 9. A-mitta (Lepola & Makkonen. 2005, 22.).

Hitsausarvot haettiin säätämällä hitsauspistettä, polttimen asentoa, hitsausjännitettä, langansyöttö nopeutta, robotin hitsaus nopeutta, robotin liikenopeutta, rullaston pyörimisnopeutta ja vaaputusarvoja; taajuus, amplitudi ja ääripisteiden viivettä.

Railon haku suoritettiin kahden pisteen haulla. Haku suoritetaan yksittäin jokaiselle saumalle. Monipalkohitsauksessa haku suoritetaan erikseen molemmille saumoille, näin putken mahdollinen liikkuminen rullastolla ei vaikuta hitsattaessa toista saumaa. Ulkosaumojen ensimmäinen railon haku piste haettiin putken ulkopinnasta ja toinen hitsattavan osan reunasta. Levylaiipan sisäsaumassa ensimmäinen railon haku piste on levylaiipan ulkoreunassa ja toinen levylaiipan sisäpinnassa.

Hitsattaessa ilman vaaputusta tehdään noin 10 mm mittainen suora alkuhitsaus robotin liikkeellä, jonka jälkeen hitsauspoltin pysyy paikoillaan ja rullaston pyörytyksellä tehdään varsinainen hitsaus pyörittämällä putkea kierros.

Hitsattaessa vaaputuksen kanssa tehdään noin 10 mm mittainen suora alkuhitsaus robotin liikkeellä, jonka jälkeen hitsauspoltin alkaa tekemään vaaputusliikettä ja rullaston pyörytyksellä tehdään varsinainen hitsaus pyörittämällä putkea kierros. Vaaputtaessa hitsauspoltin etenee eteenpäin 0,1 cm/min, koska vaaputtaessa polttimen pitää liikkua.



Kuva 10. Putkeen hitsattu jatkosholkki.

Jatkosholkit (kuva 10) ja läpivientiholkit hitsataan ulkopuolelta. Jatkosholkki ja läpivientiholkki eroavat toisistaan ainoastaan pituuden osalta, jatkosholkki 50 mm ja läpivientiholkki 150 mm. Levylaiplat hitsataan ulkopuolelta (kuva 11) ja sisäpuolelta (kuva 12). Levylaippaan hitsataan ensin sisäpuolen sauma, jolloin vältetään mahdollisen ilmaraon suuremmilta vaikutuksilta.



Kuva 11. Putkeen hitsatun levylaiipan ulkosauma.

Aluksi hitsausarvoja säädettiin kokeilemalla ja muuttamalla edellisen hitsauksen perusteella arvoja kunnes saatiin oikeanlainen sauma. Saumoja pyrittiin hitsaamaan samoilla arvoilla vähintään kaksi, jolloin hitsattavista kappaleista aiheutuneita muuttujia voitiin sulkea pois. Näitä oli muun muassa putken ja osan välinen ilmarako, osan keskeisyys putkeen nähden, putken ja osan soikeus, ruosteinen putki ja jatkos- tai läpivientiholkki. Hitsauksen säätäminen helpottui kun oikeanlaisia arvoja alkoi löytyä, ja näistä voitiin katsoa millaisilla arvoilla kannattaa lähteä kokeilemaan seuraavia putkikokoja. Lisäksi selvitettiin minkä kokoinen sauma on mahdollista saada hitsaamalla yksi palko ja minkä kokoinen hitsaamalla monipalkko. Kokeilujen perusteella päädyttiin hitsaamaan alle 5,0 mm a-mitalla oleva saumat aina hitsataan yhdellä palolla ja yli 8,8 mm a-mitalla oleva sauma monipalkohitsauksella, tehden kaksi päällekkäistä saumaa. Saumat joiden a-mitta on 6,3 mm ja 7,1 mm hitsattiin sekä yksi- ja monipalkohitsauksella riippuen putken koosta. Pienin säädetty a-mitta oli 3,6 mm ja suurin 12,5 mm.



Kuva 12. Putken hitsatun levylaipan sisäsauma.

5.3 Hitsausrobotisolun parannuskohteet

Solun parannuskohteet voidaan jakaa kahteen osa-alueeseen, kohteisiin joihin tehtiin toiminnalle välttämättömiä muutoksia ja parannuksia ja kohteisiin joiden muokkaaminen tulevaisuudessa parantaa ja tehostaa solun toimintaa.

Syöttökuljettimessa ollut kohdistuspyörä vaihdettiin kohdistusrautaan ja sen paikkaa muutettiin. Kohdistuspyörän paikkaa muutettiin kauemmaksi, kun pyörä ei toiminut halutulla tavalla. Tilalle asennettiin neliöputkesta tehty kohdistusrauta, joka mahdollisti putken kohdistamisen helpommin. Kohdistusrauta kestää myös kovemman putken osumisen aseteltaessa putkia kuljettimelle.

Poistokuljettimeen lisättiin alkupään stoppareihin 10 mm lattaraudat. Pienimmät putket pääsivät kuljettimelle jätön jälkeen pyörähtämään kuljettimen päässä olevaan koloon ja hyppäämään ketjussa olevien hampaiden yli. Tällöin syntyi tilanne jossa putki oli eri paikassa, missä robotti oletti sen olevan. Tässä tilanteessa robotti olisi törmännyt putkeen, kun se olisi ollut jättämässä seuraavaa putkea poistokuljettimelle. Kuljettimen päässä oleviin stoppareihin lisättiin 10 mm lattaraudat, jolloin putki ei enää päässyt hyppäämään hampaan yli.

Poistokuljettimen lopussa olevan tunnistusanturin keinuvartta jatkettiin. Anturin on tarkoitus havaita onko kuljettimen päässä putki ja estää tarvittaessa kuljettimen liikkuminen. Tunnistusanturin keinuvarsi oli liian lyhyt, jolloin putket pääsivät pyörimään varren ohi eikä anturi havainnut kuljettimen päässä olevaa putkea. Tässä tilanteessa kuljetin saattoi pyöriä vaikka kuljettimen päässä oli putki. Vartta jatkettiin n. 100 mm ja lisättiin painoa toiselle puolelle, jotta keskeltä kiinnitetty keinuvarsi saatiin pysymään halutussa asennossa.

Rullastoa kehitettiin koko opinnäytetyön ajan. Ongelmina oli rullastosta aiheutuneet ongelmat putkea jätettäessä ja haettaessa, putken luistaminen rullaston pyöriessä ja maadoitus. Rullaston rakenne aiheutti ongelmia, koska se rajoitti kohtia jossa tarttujalla voitiin ottaa putkesta kiinni. Rullaston rakennetta kavennettiin rakentamalla suoraan vetävän pyörän akselissa kiinni olleen sähkömoottorin ja pulssianturin tilalle ketjuveto. Ketjuvedolla saatiin sähkömoottori ja pulssianturi siirrettyä sivummalle, jonne tarttuja ei osu. Putken luistaminen rullilla pyöritettäessä korjattiin muuttamalla putken paikkaa, jolloin putken massasta suurempi osa saatiin kohdistumaan vetävään rullaan.

Maadoitusta kehitettiin koko opinnäytetyön ajan. Aluksi maadoitus oli kiinni rullastossa ja maadoitti putken alapinnasta. Maadoitus kuitenkin poistettiin pian rullastosta, koska se aiheutti putken keventymistä vetävällä rullalla ja lisäsi putken luistamista. Maadoitukselle rakennettiin erillinen teline johon putkenkäsittelyrobotilla voitiin tarttua. Robotilla asetettiin maadoitus hitsauksen ajaksi kiinni putkeen. Tällä maadoitus tuli putken yläpintaan ja se lisäsi pitoa vetävällä rullalla. Liian suurella voimalla maadoitusta painettaessa

kiinni putkeen, putken ja maadoituksen välinen kitka aiheutti ongelmia putken pyörimiseen. Kokeilemalla löydettiin sopiva kohta maadoitukselle. Maadoituksen hiilikupari-seoksen tilalla kokeiltiin myös kuparista maadoituselementtiä, tämä kuitenkin aiheutti liian suurta kitkaa haitaten putken pyörimistä. Päädyttiin käyttämään hiilikupari-seoksesta valmistettua maadoituselementtiä.

Putkia ei ole pintakäsitelty ennen niiden hitsattaviksi tuloa, mistä johtuen putkien pinta saattoi olla ruosteinen. Ruosteisista putkista aiheutui ongelmia hitsaussauman laadussa, railonhaussa ja maadoituksessa. Hitsaussaumaan ruoste aiheutti epäpuhtauksia ja sauman laadun huonontumista. Railonhaussa ruoste aiheutti ongelmia kontaktin saamisessa putkesta. Huonon kontaktin takia robotti ei tunnistanut haussa putken pintaa, langan osuessa putken pintaan. Tästä seurasi polttimen törmäminen putkeen. Maadoituksen kanssa ruoste aiheutti hitsauksen katkeamista, kitkan lisääntymisestä johtuvaa ongelmaa putken pyörimisessä ja maadoituselementin kiinni hitsautumista putken pintaan. Ruoste ongelma korjattiin putsaamalla ruoste ennen hitsaamista sauman, railonhaun ja maadoituksen kohdilta. Tulevaisuuden kehityskohteeksi alustavasti suunniteltiin mahdollisuutta putsata ruosteesta tarvittavat kohdat robotilla.

Hitsausrobotisolun toimintaa kehitettiin käyttämällä tabletti-tietokonetta ja TightVNC-ohjelmaa ottamalla etäyhteys. Etäyhteyden avulla putkien tiedot pystyi syöttämään Syöttökuljettimen luota, eikä tarvinnut kävellä varsinaisen näytön luokse täyttämään putkien tietoja. Etäyhteys tehosti toimintaa huomattavasti.

5.4 Käyttöohje

Käyttöönoton yhteydessä hitsausrobotisoluuun luotiin käyttöohje. Liitteessä 1 on käyttöohjeen sisällysluettelo. Käyttöohje tehtiin käyttöönoton ja käytön perusteella. Käyttöohjeen on tarkoitus helpottaa operaattorin työtä ja auttaa uusien operaattorien perehdytyksessä.

Käyttöohje sisältää tietoa hitsausrobotisolun laitteista, roboteista ja Robotvisor-ohjelmasta. Käyttöohjeessa on kerrottu robottien liikuttamisesta, hitsauksen säätämisestä ja hitsausrobotisolun operoimisesta.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli käyttöönottaa hitsausrobotisolu ja oppia ymmärtämään robottien toimintaa teollisuusympäristössä. Työn alussa rajattiin asioita, jotka kuuluvat opinnäytetyöhön ja tämä tarkentui opinnäytetyön edetessä. Kaikille mahdollisille erikoisille putkille ja osille ei säädetty hitsausohjelmia valmiiksi työn vievän ajan ja putkien suuren määrän takia, vaan niille tehtiin ainoastaan alustavat ohjelmat, mitkä on helppo säätää myöhemmin. Hitsausohjelmat tehtiin yleisimmille putkille ja niille joita tuli tuotannossa hitsattavaksi.

Haasteita työn aikana oli johtuen vähäisestä kokemuksesta hitsaamisesta, sekä työkappaleiden yksilöllisyydestä. Myös pitkien työkappaleiden käsittely ahtaassa solussa aiheutti haasteita. Hitsaamisen säätämiseen ja robotin ohjelmointiin sain kuitenkin hyvin apua.

Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen, haastava ja käytännön läheinen. Työn tekeminen kehitti itseäni ja osaamistani robottien ja hitsausautomaation parissa, sekä kasvatti tietämystäni asiasta. Työssä oli monia eri osaamisalueita, jotka vaativat tutustumista aiheeseen, jotta haasteita pystyi ratkaisemaan.

LÄHTEET

Keinänen, T. Kärkkäinen, P. Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. (2007). Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Lepola, P. & Makkonen, M. (2005). Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY.

Sihy Oy 2017. Yritysesite.

Robotmation Oy 2015. Viitattu 27.8.2017. <http://www.robotmation.fi/files/media/Robotvisor-esitys-2015-robotmation.pdf>

Fanuc Robotics America Corporation 2010. Viitattu 27.8.2017. http://www.fanucrobotics.com/cmsmedia/datasheets/M-900iA%20Series_22.pdf

Fanuc Robotics America Corporation 2017. Viitattu 27.8.2017. <http://www.fanucamerica.com/products/robots/productsbyseries/default.aspx?seriesId=6&robotseries=M-10iA>

Lincoln Electric 2018. Viitattu 26.2.2018. <http://www.lincolnelectric.com/>

Lincoln Electric 2008. Viitattu 26.2.2018. <http://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/K2262-1/e1090.pdf>

Lincoln Electric 2005. Viitattu 26.2.2018. <http://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/K1813-1/e12170.pdf>

Lincoln Electric 2008. Tuote esite

Hitsausrobotisolun käyttöohje

Sihy Oy

HITSAUSROBOTTISOLUN KÄYTTÖOHJE

SISÄLTÖ

1 HITSAUSROBOTTISOLU	5
1.1 Robotvisor	5
1.1.1 Pääsivu	5
1.1.2 Asetukset	7
1.1.3 Tilatiedot	7
1.1.4 Käsiäjot	8
1.2 Robotit	8
1.2.1 Fanuc M-900iA/600	9
1.2.2 Fanuc M-10iA	9
1.2.3 Fanuc R-J3iC Controller Standard Operator Panel	10
1.2.4 Fanuc R-J3iC HandlingTool	12
1.3 Putkitarttuja	17
1.4 Robottihitsauslaitteisto	18
1.5 Puhdistusasema	18
1.6 Putken pyöritysrullasto	19
1.7 Syöttökuljetin	20
1.8 Poistokuljetin	21
2 ROBOTTIEN LIIKUTTAMINEN	22
2.1 Näppäimet	22
2.2 Koordinaatistot	22
2.3 Liikekomennot	24
2.4 Robotin liikuttaminen	24
2.4.1 Tarttujan ohjaus manuaalisesti opetuslaitteella	25
2.4.2 Tarttujan ohjaus Robotvisor-ohjelman kautta	26
3 HITSAUSROBOTTISOLUN KÄYTTÖ	27
3.1 Syöttökuljettimen täyttö	27
3.2 Putkitietojen syöttö	28
3.2.1 Tietokannasta	28
3.2.2 Manuaalisesti	29
3.3 Manuaaliajo	30
3.4 Automaattiajo	31
3.5 Poistokuljettimen tyhjennys	32

4 HITSUKSEN SÄÄTÄMINEN	33
4.1 Hitsausarvojen muuttaminen	33
4.2 Vaaputusarvojen muuttaminen	35
4.3 Pyörimisnopeuden muuttaminen	37
4.4 Railonhaun muuttaminen	37
4.5 Hitsauspisteen muuttaminen	40
LÄHTEET	43
LIITTEET	44
Robots Technical Data	
Weld Schedule Data	
Weave Schedule Data	
Welding Data	
Welding Programs	