

Henri Viinikainen

## **Ongelmatilanteiden ratkaisuopas hitsausrobotille**

Opinnäytetyö

Kevät 2017

SeAMK Tekniikka

Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

**SeAMK** 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Henri Viinikainen

Työn nimi: Ongelmatilanteiden ratkaisuopas hitsausrobotille.

Ohjaaja: Jarkko Pakkanen

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 37

Liitteiden lukumäärä: 2

---

Tarkoituksena tässä opinnäytetyössä oli laatia ja kirjoittaa käyttöopas laser-seurannalla varustetun hitsausrobotin ongelmatilanteiden varalle, Finncont Oy:lle. Opinnäytetyöhön sisältyi selvityksen tekeminen mahdollisista ongelmatilanteista ja niiden ratkaisemiseen tarkoitetun oppaan kirjoittaminen. Opas sisältää yksityiskohtaiset ohjeet tietyn ongelman ratkaisemiseen.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään robotiikkaan, sekä laseriin ja sen käyttömahdollisuuksiin. Laserin ja robotiikan lisäksi opinnäytetyössä käydään läpi robottihitsaukseen tarvittavaa laitteistoa, sekä railon seurannan eri metodeita. Tulokseksi saatiin määräaikaan mennessä laadittu ratkaisuopas sekä pikaopas hitsausrobotille.

Avainsanat: robottihitsaus, laser, robotiikka, railon seuranta

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Machine Automation

Author: Henri Viinikainen

Title of thesis: A Troubleshooting manual for a welding robot.

Supervisor: Jarkko Pakkanen

Year: 2017

Number of pages: 37

Number of appendices: 2

---

The purpose of this thesis was to compile and write a troubleshooting manual for a welding robot with a laser seam tracker used by a company called Finncont Oy. This thesis involved the documentation of all possible problem situations and also finding solutions to the problems.

This thesis concentrated on robotics as well as laser and its use. Along with robotics and laser, this thesis introduced the equipment needed for robot welding and the different methods of seam tracking.

Keywords: robot welding, laser, robotics, seam tracking

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
SISÄLTÖ .....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	6
1 JOHDANTO .....	7
1.1 Työn tausta .....	7
1.2 Työn tavoite .....	7
1.3 Työn rakenne .....	7
1.4 Finncont Oy.....	8
2 JÄRJESTELMÄN KOKOONPANO.....	10
2.1 Yleistä järjestelmästä .....	10
2.2 Kemppi PRO 5000 .....	10
2.3 Kemppi ProCool 10 .....	11
2.4 Kemppi PROMIG 510 .....	11
2.5 Motoman SK16 .....	11
2.6 Meta laser / Meta vision systems Ltd. Smart laser pilot .....	12
2.6.1 Toiminta .....	13
3 ROBOTIIKKA .....	14
3.1 Robottiikka ja sen historia .....	14
3.2 Robottityypit ja rakenteet.....	15
4 LASER .....	21
4.1 Yleistä laserista.....	21
4.2 Laserluokat .....	22
4.3 Laserin käyttömahdollisuudet.....	24
4.4 Laserin käytön rajoitteet .....	26
5 RAILONSEURANTA JA PAIKOITUS .....	27
5.1 Yleistä .....	27
5.2 Railonseurantametodit .....	28
6 TYÖN KULKU .....	30

6.1 Robottiin ja ohjelmiin perehtyminen .....	30
6.2 Ongelmatilanteet .....	31
6.3 Käyttäjien haastattelu .....	32
6.4 Ratkaisuoppaan laatiminen .....	32
7 YHTEENVETO JA POHDINTA .....	34
LÄHTEET .....	35
LIITTEET .....	37

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Finncont Oy:n maantieteellinen markkina-alue. (Finncont Oy 2016.).....	8
Kuvio 2. Finncont Oy:n Virtain tehdas. (Finncont Oy, [Viitattu 20.1.2017].) .....	9
Kuvio 3. SK16-hitsausrobotin työpiste. (Finncont Oy 2016.).....	10
Kuvio 4. Laserseurannalla varustettu Motoman SK16 -hitsausrobotti. (Finncont Oy 2016.).....	11
Kuvio 5. Smart Laser Pilot SLS -anturipää. (Meta Vision Systems Ltd 2011.) .....	12
Kuvio 6. Varoitusmerkki 3B-luokan laserista. (STUK 2015.) .....	13
Kuvio 7. Smart Laser Pilot SLS -anturipään toiminta. (Meta Vision Systems Ltd. 2011.).....	13
Kuvio 8. Prusan 3D-tulostin. (Prusaprinters 2015.) .....	15
Kuvio 9. ABB:n Scara-robotti (ABB 2016.).....	16
Kuvio 10. ABB:n valmistama kiertyvänivelinen IRB 2600 -robotti. (ABB, [Viitattu 6.5.2016].).....	17
Kuvio 11. Sylinterirobotin mekaniikka. (New Equipment Digest 2016.).....	18
Kuvio 12. ABB:n delta-robotti. (ABB, [Viitattu 6.5.2016].).....	18
Kuvio 13. ABB:n valmistama yhteistoimintarobotti, YuMi. (ABB, [Viitattu 6.7.2016].) .....	20
Kuvio 14. Hitsausauma, jonka toteutukseen on käytetty laserrailonseurantaa. (Finncont Oy 2016.) .....	29
Kuvio 15. Robottiohjain (Finncont Oy 2016.) .....	31

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>MMA-hitsaus</b>	Manual Metal Arc welding eli puikkohitsausmenetelmä. Tässä menetelmässä valokaari palaa hitsauspuikon pään ja työkappaleen välissä. Puikossa on sydänlanka, joka sulaa, ja sula metalli lentää hitsisulaan valokaaren läpi kuonan ympäröiminä pisaroina.
<b>MIG-hitsaus</b>	Metal Inert Gas welding on hitsausmenetelmä, jossa valokaari palaa lisäainelangan ja hitsattavan kappaleen välissä hitsauskaasun suojaamana. Valokaari sulattaa perusaineen ja lisäaineen, joista muodostuu kiinteä kokonaisuus.
<b>TIG-hitsaus</b>	Tungsten Inert Gas welding on hitsausmenetelmä, jossa valokaari palaa sulamattoman volframielektrodin ja hitsattavan kappaleen välillä inertin suojakaasun ympäröimänä.
<b>IBC-säiliö</b>	Intermediate Bulk Container on uudelleenkäytettävä teollisuussäiliö, joka on suunniteltu erilaisten nesteiden, esimerkiksi kemikaalien ja ruoka-aineiden säilömiseen ja kuljettamiseen.
<b>LVDT-anturi</b>	Linear variable differential transformer eli differentiaalimuuntaja. Toiminta perustuu muuntajaperiaatteeseen, jossa keskellä on lähetinkäämi ja päissä mittakäämit, joiden välissä liikutetaan rauta- tai ferriittisydäntä.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Opinnäytetyön toimeksianto tuli Pirkanmaalla, Virroilla toimivalta Finncont Oy:ltä. Yritys tarvitsi ratkaisuoppaan hitsausrobotin ongelmatilanteita varten. Ennen ratkaisuehdotusten kokoamista täytyi ongelmatilanteen sattuessa hakea paikalle aina osaava henkilö, mikä hidasti huomattavasti tuotannon etenemistä. Ongelmatilanteiden ratkaisuoppaan avulla pystyisi robottia käyttävä työntekijä itsenäisesti ratkaisemaan ongelmia ja jatkaa tuotantoa ilman turhia viivytyksiä. Valmis ratkaisuehdotus helpottaisi työtä varsinkin kun robottia käytetään vuorotyössä, sillä aina osaavaa henkilöä ei edes ole paikalla.

## 1.2 Työn tavoite

Tavoitteena oli selvittää ratkaisuopasta koskevat taustatiedot ja tarpeet. Ohjeiden laatimisessa tuli ottaa huomioon mahdolliset ongelmatilanteet sekä niiden ratkaisuun vaadittavat työntekijäresurssit. Ennen oppaan varsinaista laatimista tuli tutustua tarkoin hitsausjärjestelmän, robotin ja laserin toimintaan, ohjelman kulkuun sekä virhetilanteisiin, jotta oppaasta saataisiin mahdollisimman selkeä käyttäjän näkökulmasta.

## 1.3 Työn rakenne

Tämän opinnäytetyön aloittaa johdanto, jossa esitellään työn tausta ja tavoite sekä toimeksiantaja, Finncont Oy. Teoriaosiossa kerrotaan yleistä robotiikasta ja sen historiasta sekä laserin käytöstä teollisuudessa ja sen eri luokista, joihin laserit jaetaan niiden voimakkuuden mukaan. Lisäksi perehdytään railonseurantaan ja sen eri metodeihin. Lopussa käydään läpi työn kulku sekä pohditaan tuloksia ja mitä olisi voitu tehdä toisin, lisäksi käydään läpi työn aikana ilmenneitä ongelmia.



## 1.4 Finncont Oy

Pirkanmaan maakunnan pohjoisosassa sijaitsevassa Virtain kaupungissa toimiva Finncont Oy on osa Finncont-konsernia. Finncont Oy on perustettu vuonna 1974 ja on yksi Euroopan johtavia IBC-säiliöiden valmistajia. IBC-säiliöitä valmistetaan niin muovista kuin metallistakin. Finncont Oy on myös rotaatiovalulla valmistettujen muovituotteiden johtava sopimusvalmistaja Pohjoismaissa. Pääasiakaskunnat ovat kemian-, elintarvike- ja ympäristöteollisuuden yritykset ympäri Eurooppaa. Finncont Oy:n liikevaihto on lähes 20 miljoonaa euroa ja se työllistää Virroilla noin 130 henkeä (Finncont Oy 2016.)



Kuvio 1. Finncont Oy:n maantieteellinen markkina-alue. (Finncont Oy 2016.)

Finncont Oy:n erottaa muista saman alan yrityksistä mm. Finncont Design Studio® ja Finncont Akatemia®. Finncont Design Studio pitää sisällään huipputasaajien tuotekehitystiimin, joka mahdollistaa nopeat tuotelanseeraukset ja luovat ratkaisut. Lisäksi tähän kuuluu vahva erityisosaaminen viranomaisten hyväksyntävaatimuksissa. Finncont Akatemia vuorostaan sisältää henkilöstön osaamisen kehittämis- ja sidosryhmien koulutusjärjestelmän. (Finncont Oy 2016.)



Kuvio 2. Finncont Oy:n Virtain tehdas. (Finncont Oy, [Viitattu 20.1.2017].)

Finncont Oy tahtoo luoda turvallisia ja kestäviä tuotteita, sekä kehittää älykkäitä raaka-aineita säästäviä materiaalien hallintaratkaisuja. Tarkoituksena on myös rakentaa asiakassuhteista pitkäaikaisia ja auttaa asiakkaitaan menestymään. Yrityksen arvomaailman keskeiset asiat ovat osaaminen ja sen kehittäminen sekä luotettavuus, yhteistyö ja tavoitteellinen toiminta. Yrityksellä on myös Inspectan myöntämä ISO 9001 -laatu järjestelmän sertifikaatti, joka osoittaa yrityksen toimivan asiakaslähtökohtaisesti ja järjestelmällisesti laadun kehittämisessä. (Finncont Oy 2016.) ISO 9001 standardi on maailman tunnetuin ja käytetyin johtamismalli, joka perustuu jatkuvan parantamisen filosofiaan (ISO 9001:2015 2015).

## 2 JÄRJESTELMÄN KOKOONPANO

### 2.1 Yleistä järjestelmästä

Robottihitsauksessa käytettävä järjestelmä pitää sisällään Kempin hitsausvirtalähteen, jäähdyttimen, langansyöttöyksikön, Yaskawan MRC -ohjauskeskuksen, Meta Visionin seurantalaserin ja Motomanin SK16 -hitsausrobotin. Järjestelmä mahdollistaa railon seurannan ja siistin hitsausauaman. Seuraavaksi on eritelty ja kerrottu hieman enemmän robottihitsausprosessissa tarvittavista laitteista.



Kuvio 3. SK16-hitsausrobotin työpiste. (Finncont Oy 2016.)

### 2.2 Kemppi PRO 5000

Kempin pro 5000 on useaan toimintaan suunniteltu, ammattikäyttöön tarkoitettu virtalähde. Virtalähde soveltuu MMA/MIG- ja pulssi-MIG -hitsaukseen, mutta myös **TIG**-hitsaukseen tasavirralla. Pro 5000 -virtalähdettä voidaan käyttää hitsausautomaatissa tai robotissa. (Operation instructions KEMPPI PRO 5000, [viitattu 10.7.2016].)

### 2.3 Kemppi ProCool 10

Kempin ProCool 10 on nestejäähdytinsyksikkö, joka on suunniteltu jäähdyttämään MIG/MAG- ja TIG-hitsaimen poltinta vaativassa ammattikäytössä. ProCool 10 -jäähdytintä ohjaa mikroprosessori ja se soveltuu useisiin eri hitsausmetodeihin. (Operation instructions KEMPPI ProCool 10, [viitattu 10.7.2016].)

### 2.4 Kemppi PROMIG 510

Kempin PROMIG 510 on vaativaan ammattikäyttöön suunniteltu langansyöttöyksikkö. PROMIG 510 -langansyöttöyksikön toimintoja ohjaa ja säätää mikroprosessori. Langansyöttömootorissa on kierroslukumittari, jonka avulla pystytään säätämään langansyöttöä tarkasti. (Operations instructions KEMPPI PROMIG 501, 510, 511, 501L, [viitattu 10.7.2016].)

### 2.5 Motoman SK16

Motoman SK16 on teollisuusrobotti, joka soveltuu mm. kappaleenkäsittelyyn, hitsaukseen ja plasmaleikkaukseen. Robotissa on kuusi vapaasti ja erikseen ohjelmoitavaa niveltä. Robottia ohjataan robottiohjaimella (MRC). SK16-malli pystyy käsittelemään 16 kilon taakkaa ja sen toimintasäde on 1555 mm. (RobotWorx, [viitattu: 7.11.2016].)



Kuvio 4. Laserseurannalla varustettu Motoman SK16 -hitsausrobotti. (Finncont Oy 2016.)

## 2.6 Meta laser / Meta vision systems Ltd. Smart laser pilot

Meta laser on Meta Vision systems Ltd:n valmistama hitsausrobottiin liitettävä rai-  
lon seuraamiseen tarkoitettu 3B-luokan laser. Laser toimii jatkuvalla aallolla, jonka  
pituus on 650–699 nm.



Kuvio 5. Smart Laser Pilot SLS -anturipää. (Meta Vision Systems Ltd 2011.)

Smart Laser Pilot MTE System koostuu seuraavista osista:

- Smart Laser Pilot (SLPi) -ohjain.
- SLS-anturin kaapeli.
- SLS-anturipää, joka muodostuu kamerasta ja laserista.
- The Smart Laser Pilot (SLPi) työkalut -ohjelma Windows 7/XP:lle.
- Videovalvonta. (Meta Vision Systems Ltd. 2011.)

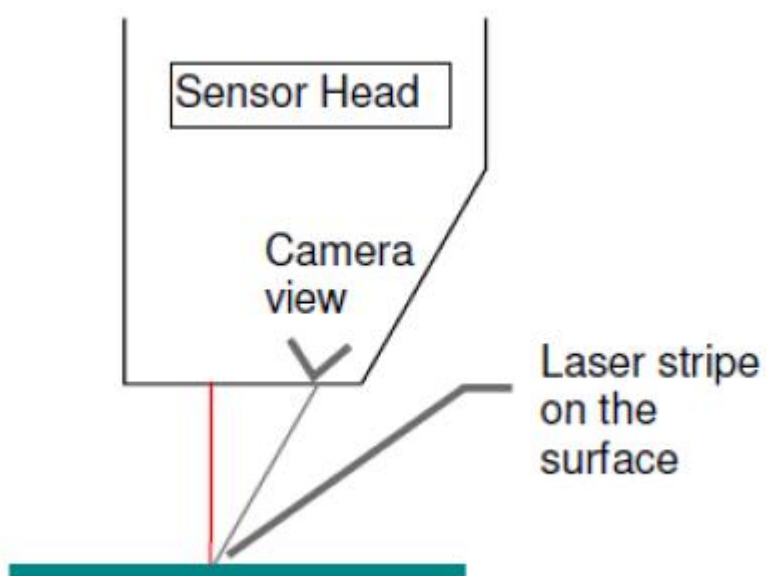




Kuvio 6. Varoitusmerkki 3B-luokan laserista. (STUK 2015.)

### 2.6.1 Toiminta

Anturipää sisältää kehittyneen kameran ja laserin. Laser heijastaa punaisen viivan anturin alle. Kamera kuvaa tätä viivaa ja viivan muodosta kamera pystyy näkemään rillon profiilin. Kameran edessä on erikoissuodatin joka päästää laserin valon läpi mutta pitää lähes kaiken uun valon ulkona, kuten esimerkiksi hitsauksessa syntyvän valokaaren aiheuttaman valon. (Meta Vision Systems Ltd. 2011.)



Kuvio 7. Smart Laser Pilot SLS -anturipään toiminta. (Meta Vision Systems Ltd. 2011.)

## 3 ROBOTIIKKA

### 3.1 Robottiikka ja sen historia

Läpi historian robotit ovat kiinnostaneet ihmisiä. Yleisesti ottaen, robotit ovat koneita tai laitteita jotka toimivat automaattisesti tai kauko-ohjaimen avulla. Sana ”robotti” tulee tšekin kielestä sanasta ”robota” (käskynalaisuus, pakkotyö), joka keksittiin vuonna 1923. (Kurfess 2005, 5.)

Vaikka media luonnehtii robotteja koneiksi jotka muistuttavat ihmisiä, ovat ne paljon muutakin. Teknologian kehittyessä robottien käyttö teollisuudessa kasvaa huijaa vauhtia. Nykyisin meillä on robotteja, jotka kokoavat autoja, hitsaavat ja tutkivat ankarissa ympäristöissä. Vaaralliset tai yksinkertaiset työt sopivat siis roboteille. (Kurfess 2005, preface.)

Robotin määrittely on yllättäen kiistelty aihe, jopa robotiikan asiantuntijoiden keskuudessa. Robotti voidaan määritellä ihmistyyppiseksi tai toistavaa ja tehokasta työtä tekeväksi robotiksi teollisuusautomaatiossa. (Kurfess 2005, 1-1.) ISO 8373 -standardi määrittelee robotin kuitenkin ”automaattisesti toimivaksi, uudelleen ohjelmoitavaksi, monikäyttöiseksi manipulaattoriksi jossa on kolme tai useampi nivel” (ISO 8373:2012 2012).

Sanaa ”robotiikka” käytettiin ensimmäisen kerran vuonna 1942 Isaac Asimovin novellissa ”Runaround”. Sanalla tarkoitettiin teknologiaa, joka käsittelee robottien suunnittelua, rakentamista ja ohjaamista. Isaac Asimov esitteli myös robotiikan kolme pääsääntöä. Vuonna 1985 hän lisäsi pääsääntöihin niin kutsutun ”nollannen (0) säännön”:

- Nollas sääntö: Robotti ei saa vahingoittaa ihmiskuntaa tai laiminlyönnein tuottaa ihmiskunnalle vahinkoa.
- Ensimmäinen sääntö: Robotti ei saa vahingoittaa ihmisolentoa tai laiminlyönnein saattaa tätä vahingoittumaan.
- Toinen sääntö: Robotin on noudatettava ihmisolentojen sille antamia määräyksiä, paitsi jos ne ovat ristiriidassa ensimmäinen ja nollannen pääsäännön kanssa.

- Kolmas sääntö: Robotin on suojeltava omaa olemassaoloaan, kuitenkin siten, että sen toimet eivät ole ristiriidassa aiempien sääntöjen kanssa. (Kurfess, 2005, 1-3, 1-4.)

### 3.2 Robottityypit ja rakenteet

**Suorakulmaiset robotit.** Suorakulmaisten robottien tyypillisintä edustajaa kutsutaan portaalirobotiksi. Kolme ensimmäistä vapausastetta ovat lineaarisia ja portaalirobotin rakenne on tuettu työalueen kulmista.

Suorakulmaisten robottien koko vaihtelee paljon, logistiikka- ja varastosovelluksissa käytetään isoja portaalirobotteja ja työstökoneiden panostuksessa ja pienissä kevyissä töissä käytetään pieniä portaalirobotteja. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2016.)



Kuvio 8. Prusan 3D-tulostin. (Prusaprinters 2015.)

**Scara-robotit.** Scara tulee sanoista Selective Compliance Assembly Robot Arm. Näissä roboteissa on joustava kokoonpanokäsivarsi ja yleensä kolme kiertyvää niveltä. Scara-robotti muistuttaa ihmisen vaakatasossa liikkuvaa käsivartta. Scara-



robotteja käytetään yleensä kappaleiden nostamisessa liukuhihnalta ja kokoonpanorobottina pienille kappaleille elektroniikkateollisuudessa. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2016.)



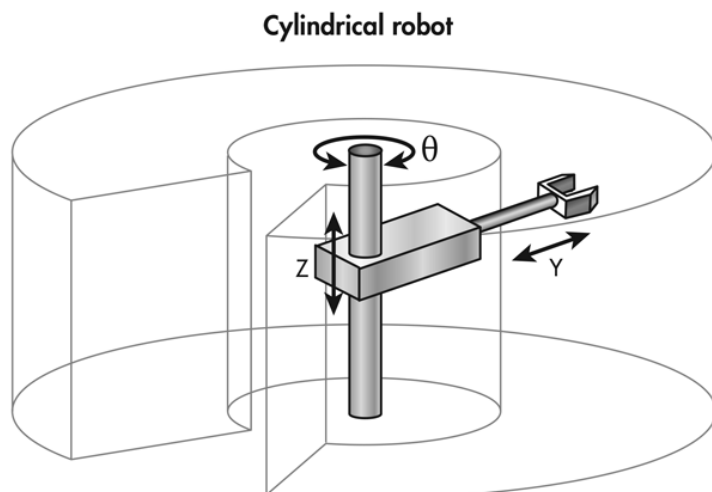
Kuvio 9. ABB:n Scara-robotti (ABB 2016.)

**Kiertyväniveliset robotit.** Kiertyväniveliset robotit ovat yleisimpiä teollisuusrobotteja, niissä on yleensä neljä tai kuusi kiertyvää vapausastetta. Nykyiset teollisuusrobotit perustuvat lähes poikkeuksetta mekaniikkaan, jossa tukivarret on kytketty peräkkäin. Tästä johtuen robottien kuormankantokyky on melko pieni, mutta ulottuvuus on saatu suureksi. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2016.)



Kuvio 10. ABB:n valmistama kiertyvänivelinen IRB 2600 -robotti. (ABB, [Viitattu 6.5.2016].)

**Sylinterirobotit.** Sylinterirobotit ovat nykyisin melko harvinaisia eikä niitä enää juurikaan käytetä. Sylinterirobotin nimitys tulee sen sylinterikoordinaatistosta. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2016.)



Kuvio 11. Sylinterirobotin mekaniikka. (New Equipment Digest 2016.)

**Rinnakkaisrakenteiset robotit.** Rakennetta voidaan tukevoittaa siten, että joitain robotin toimilaitteita kytketään rinnakkain, näin robotit saadaan kestävämmän suurilla voimilla, mutta myös toimialue rajoittuu samalla pienemmäksi. Tällaiset robotit soveltuvat hyvin nopeisiin tehtäviin kuten pakkaamiseen, kokoonpanoon tai asennukseen. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2016.)



Kuvio 12. ABB:n delta-robotti. (ABB, [Viitattu 6.5.2016].)

**Yhteistoimintarobotit (collaborative robots).** Automatisoinnilla ja robotiikalla voidaan oleellisesti helpottaa laadun parantamista ja tuotantokustannuksien alen-

tamista. Yhteistoimintarobottien käyttö ei välttämättä ole monimutkaista ja vaikeaa, vaikka ne edustavatkin uutta teknologiaa. Teollisuusrobotit on yleensä tarkoitettu suurille tuotemäärille, kun taas yhteistoimintarobotit mahdollistavat järkevän käytön myös pienille tuotemäärille.

Yhteistoimintarobotit eroavat normaaleista teollisuusroboteista siten että ne omaavat erilaisia ominaisuuksia:

- Ohjelmointi ei vaadi ammattilaista sen yksinkertaisuuden ja nopeuden vuoksi.
- Asennusvaatimukset ovat huomattavasti pienemmät.
- Useimmat sovellukset eivät vaadi turva-aitoja.
- Robotti on helppo integroida yksinkertaisestiin työtehtäviin.
- Ne ovat helposti uudelleen käytettävissä uusissa työtehtävissä. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2016).

Yhteistoimintaroboteissa tärkeimpinä vaatimuksina ovat voiman mittaaminen ja muotoilun toteuttaminen niin että se on turvallisempi ihmiselle. (Lahden Ammattikorkeakoulu 2016). Näiden robottien suunnittelussa noudatetaan kolmea eri standardia:

SFS-EN ISO 10218-1 -standardin avulla varmistetaan että turvallisuusnäkökohdat otetaan huomioon robotin suunnittelussa ja rakenteessa (SFS-EN ISO 10218-1 2011).

SFS-EN ISO 10218-2 pitää sisällään robotiikkalaitteiden ja robottien turvallisuusvaatimuksen teollisuusroboteille. Standardi kertoo myös, mitä koneita se koskee ja huomioon otettavia vaaratilanteita. Standardin ohjeet liittyvät turvallisuuden varmistamiseen asennuksen, testauksen, käytön ja huollon aikana. (SFS-EN ISO 10218-2 2011.)

ISO/TS 15066 -standardi määrittelee turvallisuusvaatimukset yhteistyörobottien systeemille, työympäristölle ja sisältää lisäyksiä yllämainittujen standardien vaatimukseen sekä ohjeisiin koskien yhteistyörobotteja (ISO/TS 15066 2016).



Kuvio 13. ABB:n valmistama yhteistoimintarobotti, YuMi. (ABB, [Viitattu 6.7.2016].)

## 4 LASER

### 4.1 Yleistä laserista

Laser eli optinen valonvahvistin keksittiin vuonna 1960. Se on lyhenne sanoista ”Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”, tämä tarkoittaa suomeksi valon vahvistamista säteilyn stimuloitun emission avulla. Yksinkertaisesti sanottuna laser on keinotekoinen tiivistetty valonsäde, joka sisältää vain yhtä väriä. Luonnossa laservaloa ei ole, vaan se on tavallista valoa, jota on manipuloitu, jotta aikaansaataisiin tietty väri ja ominaisuus. (Peltonen, Perkiö & Vierinen, 2012, 379.)

Stimuloitu emissio tarkoittaa sitä kun atomi on virittyneessä tilassa ja sen ohi kulkee foton, jonka energia on atomin viritystilan ja esimerkiksi perustilan erotus, ja saa näin aikaan viritystilan laukeamisen. Tällöin atomi palaa perustilaan ja lähettää samalla fotonin jonka polarisaatio, vaihe ja etenemissuunta ovat samat kuin fotonilla, joka aiheutti emission. Kun laseraineessa on metastabiilin energiatilan atomeja suuri määrä, syntyy ketjureaktio, ja laserin sisälle saadaan iso määrä samaan suuntaan eteneviä samanvaiheisia fotoneja. (Peltonen, Perkiö & Vierinen, 2012, 380.)

Laserit jaetaan yleensä kiinteän aineen lasereihin, kaasulasereihin, puolijohde-lasereihin sekä muihin lasereihin. Kiinteän aineen laser oli ensimmäinen toimiva laser, joka saatiin aikaan rubiinikiteellä. Kaasulasereista mainittakoon esimerkkinä helium-neon-laser, jossa heliumkaasua ja neonkaasua on matalassa paineessa suhteessa 5:1 tai 10:1. 5:1-suhdetta käytetään punaista valoa lähetettävissä He-Ne-lasereissa ja suhdetta 10:1 lasereissa jotka lähettävät infrapunaista valoa. He-Ne-laserin lasersiirtymistä mikään ei päädy perustilalle, joten samaa ongelmaa fotonien absorboitumisesta ei ole, toisin kuin lasereissa, joissa käytetään rubiinikiteitä. He-Ne-laserin hyötysuhde jää kuitenkin matalaksi (0,01 ... 0,1 %), sillä siirtymät tapahtuvat korkeiden energiatilojen välillä. Kaasulasereista tehokkain on hiilidioksidilaser. Ne jaetaan eri tyypeihin siitä riippuen, miten kaasuun syötetään energiaa. Kaikki kuitenkin perustuu CO<sub>2</sub>-molekyylin värähdystilojen hyödyntämi-

seen. CO<sub>2</sub>-lasereissa on hiilidioksidin lisäksi typpeä ja heliumia. (Peltonen, Perkiö & Vierinen, 2012, 384–386.)

Ensimmäinen puolijohdelaser onnistuttiin rakentamaan vuonna 1962. Puolijohdelasereissa on puolijohdekomponentti eli hohtodiodi (LED), jossa aukkoihin yhdistetään elektroneja rajapinnalla. Näin saadaan aikaan näkyvää valoa kun virta kulkee myötäsuntaan diodin läpi. Ensimmäisiä puolijohdelasereita voitiin käyttää vain pulssimaisesti ja nestetyphenlämpötilassa sillä niiden ongelma oli lämpiäminen. Tämä johtui siitä, että ne vaativat toimiakseen suuren virran. Muita lasereita on olemassa erittäin paljon mutta yksi yhteinen asia niiden kehittämisessä on: Aallonpituuksia pyritään saamaan mahdollisimman lyhyiksi. Tällöin valon diffraktion aiheuttama epätarkkuus on vähäisempää. (Peltonen, Perkiö & Vierinen, 2012, 387–391.)

## 4.2 Laserluokat

Laserlaitteet numeroidaan eri turvallisuusluokkien mukaan: 1, 1M, 1C, 2, 2M, 3R, 3B ja 4. 1- ja 1M-luokkiin kuuluvat laserlaitteet eivät käytännössä aiheuta vaaraa, kun taas luokan 4 laserit voivat aiheuttaa todella vakavia silmä- tai ihovaurioita. (STUK 2015.)

**Luokka 1.** Luokan 1 laserit ovat näkymättömiä ja toimivat ultraviolett- ja infrapunasäteilyn sekä näkyvän valon kanssa samoilla aallonpituuksilla, eivätkä näin ollen aiheuta vaaraa. Normaaleissa käyttötilanteissa ei tarvita suojaustoimenpiteitä edes pitkällä altistusajoilla. Aallonpituusalue vaihtelee 500–700 nm:n välillä ja jatkuvatoimisen luokan 1 laserin suurin sallittu säteilyteho on 0,39 milliwattia. Lelut ovat tyypillisiä luokan 1 laserilaitteita, mutta myös laitteet joissa säde kulkee vain laitteen sisällä kuuluvat luokkaan 1, kuten CD- ja DVD-soittimet sekä lasertulostimet. (STUK 2015.)

**Luokka 1M.** Luokan 1M laserit toimivat myös UV-säteilyn, näkyvän valon ja infrapunasäteilyn aallonpituuksilla. Tämän luokan jatkuvatoimisen laserin suurin sallittu säteilyteho on 500 mW (0,5 W). Luokan 1M laserin teho tai pulssienergia yleensä ylittää luokan 1 laserin. Luokan 1M lasersäde hajoaa laajalle alueelle tai sitä on levitetty optiikkaa apuna käyttäen. Näin vain pieni osa koko lasersäteestä voi koh-

distua silmään tai iholle, joten altistumisrajat eivät näin ollen ylity. Luokkamerkin-  
nässä oleva kirjain M tulee englannin kielen sanasta "magnification" (suurennus,  
suurennuskyky), joka viittaa siihen, että säteilyvaara on olemassa, jos sädettä kat-  
sotaan optisen apuvälineen kautta. 1M-luokan laserin käyttökohteena on mm. lan-  
gaton tiedonsiirtojärjestelmä. (STUK 2015.)

**Luokka 1C.** Luokan 1C laitteet voivat aiheuttaa ihovaurioita, sillä niiden tuottama  
säteily voi ylittää ihoaltistuksen enimmäisarvot. Laitteet on suunniteltu turvallisiksi  
silmille. Kirjain C viittaa englanninkieliseen sanaan "contact" (kosketus, kontakti).  
Luokan 1C laitteita voidaan esimerkiksi käyttää ihon kosmeettiseen käsittelyyn  
ihokontaktissa. Luokan 1C laitteet voivat kuitenkin sisältää suuritehoisen luokan  
3B tai 4 laserin. (STUK 2015.)

**Luokka 2.** Luokkaan 2 kuuluvat laserit ovat pienitehoisia ja toimivat näkyvän valon  
aallonpituusalueella (500–700 nm). Jatkuvatoimisen luokan 2 omaavan laserin  
suurin sallittu säteilyteho on 1 mW. Laserin säteily voi olla haitallista vain jos säde  
suunnataan silmään ja tietoisesti pitkitetään siihen katsomista. Suomessa hyväk-  
sytyt laserosoittimet ja viivakoodinlukijat ovat luokan 2 lasereita. (STUK 2015.)

**Luokka 2M.** Myös luokan 2M laserit toimivat 500–700 nm aallonpituuksilla. Jatku-  
vatoimisen luokan 2M laserin säteilytehon suurin sallittu määrä on sama kuin luo-  
kalla 1M, eli 500 mW. Luokan 2M laserien kokonaisteho tai pulssienergia ylittää  
yleensä luokan 2 lasereille sallitun rajan ja säde on levinnyt kuten luokassa 1M.  
Luokan 2M laser voi siis aiheuttaa myös silmävaurion vain, jos säteeseen katso-  
mista tietoisesti pitkitetään tai jos sädettä katsotaan optisen apuvälineen kautta.  
Esimerkiksi taso- ja suuntauslasereita, joita käytetään rakennustöissä, kuuluvat  
luokkaan 2M. (STUK 2015.)

**Luokka 3R.** Luokan 3R lasereiden emissiorajat voivat olla yli viisinkertaiset verrat-  
tuna luokan 1 ja 2 lasereihin. Suurin sallittu säteilyteho on 5 mW 3R-luokan lase-  
reilla, jotka toimivat näkyvän valon aallonpituuksilla. 3R-luokan laserit sisältävät  
sellaisen turvamarginaalin, että vaikka suojaamattoman silmän altistuksen enim-  
mäisarvot ylittyvät, vahinkoja ei käytännössä esiinny. Periaatteessa kuitenkin suo-  
raan silmään osuva säde tai heijastuva säde sileästä pinnasta voi aiheuttaa pysy-



viä vaurioita silmässä. Osa lasereista, joita käytetään rakentamisen mittauksissa, kuuluvat 3R-luokkaan. (STUK 2015.)

**Luokka 3B.** 3R-luokan emissiorajat ylittävät laserit kuuluvat luokkaan 3B. Suurin sallittu säteilyteho jatkuvatoimiselle 3B-luokan laserille on 500 mW. Luokan 3B laserin säde on aina vaarallinen silmille, niin suorana kuin peiliheijastuneena. Kyseisen luokan laser voi aiheuttaa myös pieniä ihovaurioita. Muun muassa tutkimuksessa käytetään usein luokan 3B lasereita. (STUK 2015.)

**Luokka 4.** Säteilyn ylittäessä muiden luokkien emissiorajat puhutaan luokasta 4. Luokan 4 lasereiden voimakkuuden ylärajaa ei ole määritelty. Lasersäde voi olla niin tehokas, että sillä voidaan polttaa esimerkiksi puuta tai kangasta. Laserkirurgiassa ja metallien leikkauksessa käytetään esimerkiksi luokan 4 lasereita. (STUK 2015.)

### 4.3 Laserin käyttömahdollisuudet

Laserilla on hyvin monipuoliset käyttömahdollisuudet. Laseria pystytään nykyään hyödyntämään aina viihteestä lainvalvontaan asti. Lääketieteessä laseria käytetään näönkorjausleikkauksissa ja tatuointien poistoissa. Hammaslääkäri voi käyttää laseria poran sijaan. Lasereilla voidaan mitata myös nopeutta ja etäisyyttä. Kohteiden valaisuun tarkoitettuja lasereita on suunniteltu esimerkiksi sotilaskäyttöön. Teollisuudessa laserilla voidaan leikata, hitsata tai pinnoittaa. Elintarviketeollisuus hyödyntää myös laseria jolla saadaan tehtyä esimerkiksi nopeasti paistojälkiä. (Viljakainen 2014.)

**Laserilla merkitseminen.** Laseria voidaan käyttää useiden materiaalien merkitsemiseen nopeasti ja tarkasti. Kaivertamiseen ja aineen poistamiseen soveltuu CO<sub>2</sub>-laser. CO<sub>2</sub>-laserin lämpövaikutusta hyödyntämällä saadaan esimerkiksi harmaasävykuva materiaaleihin, jotka reagoivat lämpöön. Metalleissa ja muoveissa värimuutoksia saadaan aikaan käyttämällä Nd YaG- ja kuitulasereita. Lasermerkinnällä voidaan tehdä erittäin nopeasti pysyviä merkintöjä, ja merkintöjä voidaan tehdä niin että merkittävä kappale on liikkeessä. (Viljakainen 2014.)

**Laserilla kaivertaminen.** Etenkin leimasinvalmistuksessa laser on nykyään syrjäyttänyt muita tekniikoita sillä se on helppo ja nopea tapa. Helppouden ja nopeuden vuoksi myös perinteisessä kaivertamisessa laser on syrjäyttänyt mekaanisesti tapahtuvan kaivertamisen. (Viljakainen 2014.)

**Laserilla leikkaaminen.** Laserilla leikkaamisessa on monia etuja. Leikattavaan kappaleeseen ei ole mekaanista kosketusta, joten sitä ei tarvitse erikseen kiinnittää. Laserilla on mahdollista työstää pienetkin yksityiskohdat ja kappaleet, joita on mahdotonta leikata käyttämällä muita tekniikoita. Laserin ominaisuuksia voidaan siis hyödyntää esimerkiksi ohuiden materiaalien, kalvojen ja muovien leikkaamisessa. Lisäksi laserin leikkujälki on täysin kirkas eikä kiillotusta tarvita ja näin vältetään ylimääräiseltä hitaalta työvaiheelta. Myös leikkaussyvyys saadaan juuri halutun syvyyseksi, sillä laserin tehoa voidaan säätää erittäin tarkasti. (Viljakainen 2014.)

**Laserhitsaaminen.** Laserhitsaus prosessissa laservalo kohdistetaan pieneen pisteeseen työkappaleen pinnalle. Tämän avulla materiaali saadaan sulamaan. Metallien laserhitsaus jaetaan yleensä kahteen eri prosessiin: sulattavaan laserhitsaukseen ja syvätunkeumalaserhitsaukseen. Laserin tehotiheys työstettävän kappaleen pinnalla sekä teho/hitsausnopeus-suhde määrittelevät, onko toiminto sulattavaa laserhitsausta vai syvätunkeumahitsausta. (Ionix Oy, [viitattu 2.2.2017].)

**Syvätunkeumahitsauksessa** voimakkaasti laajeneva metallihöyry ja plasma muodostavat kapean sylinterimäisen reiän sulaan metalliin. Tätä kutsutaan ”avaimenreiäksi”. Tämän avaimenreiän synnyttämiseksi teräkseen on vaadittu tehosiheys noin  $10 \text{ kW/mm}^2$ . Tämän tehosiheyden alapuolella hitsaus on sulattavaa laserhitsausta. Lasersäteen kulkiessa työstettävän kappaleen pinnalla sulattaa se metallia avaimenreiän etureunalla ja sula metalli siirtyy lasersäteen taakse ja jäähmettyy hitsiksi. Laserhitsauksessa hitsisula on pisaran muotoinen, ja sula on lämpötilaltaan huomattavasti korkeampi kaarihitsausprosesseihin verrattuna. Avaimenreikähitsauksella saadaan aikaan syvä ja kapea hitsi. (Ionix Oy, [viitattu 2.2.2017].)

**Sulattavassa laserhitsauksessa** edellä mainittua ”avaimenreikää” ei muodostu, sillä lasersäteen tehosiheys ei ole riittävän suuri. Tässä tapauksessa lasersäde

sulattaa materiaalin pintaa, jolloin kappaleeseen siirtyy lämpöä sulan pinnalta johtamalla. Tuloksena on perinteisiä hitsausmenetelmiä muistuttava leveä ja matalalle yltävä hitsi. (Ionix Oy, [Viitattu 2.2.2017].)

#### **4.4 Laserin käytön rajoitteet**

Niin kuin myös muillakin tekniikoilla, laserilla myös on omat rajoituksensa. Leikkauksessa ja kaiverruksessa syntyy aina pölyä ja kaasuja, jotka on poistettava mahdollisimman hyvin laitteesta ja itse työstökohdasta. Tämä vaikuttaa suuresti laitteen huollontarpeeseen. Täytyy myös huomioida, että kaikki materiaalit eivät ole työstettävissä laserilla. PVC ei esimerkiksi sovellu laserilla leikkaamiseen, sillä materiaalista syntyy erittäin haitallisia myrkyjä. (Viljakainen 2014.)

Soveltuvuus yleisesti ottaen voidaan kuitenkin määritellä siten, että mikäli materiaalia voidaan hävittää polttamalla, voidaan sitä myös työstää laserilla. Lasertyöstössä syntyvä lämpö voi olla myös ongelmana. Tätä voidaan hallita jossain määrin työstökohtaan johdettavalla suojakaasulla tai paineilmalla. (Viljakainen 2014.) Laserhitsauksessa on tiukat toleranssit hitsattaville kappaleille, ja säteellä on korkea paikoitustarkkuusvaatimus, jolloin railonseuranta on usein tarpeen. Lisäksi tuotantovolyymien on oltava riittävän suuri, että laserteknologian investointi on kannattavaa. (Ionix Oy 2017.)

## 5 RAILONSEURANTA JA PAIKOITUS

### 5.1 Yleistä

Automaattisesta railonseurannasta on tullut tärkeä osa teollisuutta. Siitä asti kun teollisuusrobotteja on ryhdytty käyttämään erilaisissa prosesseissa, kuten hitsaamisessa, liimaamisessa ja saumojen tiivistämisessä, on railon seuraamiseen ja kohtien paikoittamiseen tarkoitetuista antureista tullut elintärkeitä. Ympäri maailmaa tutkijat kilpailevat siitä kuka kykenee ensimmäisenä tuottamaan yleiseen tarkoitukseen tarkoitetun anturin, jota pystytään käyttämään mukautuvasti railonseurannassa. (Prinz & Gunnarson 1984, 1.)

Tähän mennessä on monia fyysisesti koskettavia ja optisia railonseurantalaitteita kehitetty. Kuitenkin mikään näistä railonseurantajärjestelmistä ei täytä kaikkia vaatimuksia kaarihitsauksessa. Railonseurantalaitteen vaatimuksista on laadittu pitkä lista, joista seuraavia kohtia laatijat pitävät tärkeimpinä:

- Yleistarkoitus: Saman järjestelmän pitäisi olla käytettävissä erilaisille hitsausgeometreille.
- Järjestelmän täytyy toimia teollisessa ympäristössä.
- Järjestelmän pitäisi toimia eri kaarihitsaustekniikoissa.
- Järjestelmän pitäisi toimia reaaliajassa: Paikka- ja hitsausparametrit pitäisi voida yhdistää hitsaustilanteessa.
- Järjestelmän pitäisi tarjota kolmiulotteinen tieto railosta ja sopeutua siihen.
- Aistivien laitteiden pitäisi olla suhteellisen pieniä, jotta ne eivät rajoittaisi hitsauksen liikettä.
- Anturijärjestelmän pitäisi olla edullinen verrattuna robottihitsausjärjestelmän kokoonpanoon. (Prinz & Gunnarson 1984, 1.)

## 5.2 Railonseurantametodit

Seurantajärjestelmät voidaan jakaa kahteen isompaan kategoriaan: Taktiilisiin ja ei-taktiilisiin, eli kosketusseurantaan ja seurantaan ilman fyysistä kosketusta. Taktiiliset koettimet ovat yksinkertaisia ja luotettavia. Kosketussensori koostuu yleensä yhdestä tai useammasta LVDT-anturista. Yleisiä ovat myös elastiset rasitusmittarit, jotka sijaitsevat koskettimessa. Käytettäessä taktiilisia antureita on erityisen vaikeaa tuoda tietoa liitoksen sovitukselta. Railonseurannassa taktiiliset anturit voivat välittää erittäin hyödyllistä tietoa osan sijainnista. Mikäli esimerkiksi kaksi osaa täytyy hitsata toisiinsa ja niissä olisi yksinkertaiset, hyvin määritellyt geometriset piirteet, kuten tasainen lokaali alue tai pyöreä pintaleikkaus, voi taktiilisen koettimen käyttö vähentää näissä tapauksissa reaaliaikaisten anturien monimutkaisuutta. (Prinz & Gunnarson 1984, 1-2.)

Putkiliitosten hitsauksessa yksinkertainen kosketus riittää mahdollistamaan putken liitoksen geometrian määrittämisen ja näin pystytään tuottamaan liitokselle automaattisesti hitsausohjelma. Tällaisessa tapauksessa voidaan käyttää esimerkiksi sähköistä kontaktia hitsauslangan ja hitsattavan kohteen pinnan välillä. Mikäli huonosti istuva osa tai satunnaiset poikkeamat liitoksissa estävät tämän yksinkertaisen tavan käytön, kohteen paikoitusanturin ja reaaliaikaisen railonseurantajärjestelmän yhdistelmä saattaa taata parhaimman joustavuuden. Kosketusanturi havaitsee systemaattiset poikkeamat esiohjelmoidusta kohdasta, ja railonseurantajärjestelmä korjaa satunnaiset poikkeamat railoa hitsattaessa. (Prinz & Gunnarson 1984, 1-2.)

Valtaosa railonseurantaan koskevista tutkimushankkeista nykyisin keskittyy ei-taktiilisiin seurantamenetelmiin. Pohjimmiltaan on olemassa kaksi tapaa saada tieto siirrettyä ilman kosketusta: ääniaalloilla tai sähkömagneettisilla aalloilla. Kosketuksettomat seurantajärjestelmät toimivat useilla eri taajuuksilla: antureita, jotka säteilevät sähkömagneettisia aaltoja 10–100 khz:n taajuudella, kutsutaan usein magneettisiksi antureiksi. Keskimäärin 100 Thz:n taajuutta käytetään mm. laser seurantajärjestelmissä ja järjestelmissä, jotka perustuvat fotodiodien käyttöön. Akustiset anturit toimivat siten, että etäisyys kohteesta saadaan mittaamalla ajan erotus lähtevän ja palaavan pulssin välillä. Optiset järjestelmät toimivat muutaman senttimetrin etäisyydeltä kohteesta ja käyttävät kolmiomittauskaavoja, joiden avul-

la järjestelmä laskee etäisyyden anturin ja kohteen pinnan väliltä. (Prinz & Gunnarson 1984, 1-2.)

Railonseuranta voidaan myös toteuttaa mittaamalla muutos hitsausvirrassa tai kaaren jännitteessä. Tätä menetelmää tosin voidaan käyttää ainoastaan kaarihittauksessa, ja mikäli tietyt geometriset edellytykset sen sallivat. (Prinz & Gunnarson 1984, 1-2.)



Kuvio 14. Hitsausauma, jonka toteutukseen on käytetty laserrailonseurantaa. (Finncont Oy 2016.)

## 6 TYÖN KULKU

### 6.1 Robottiin ja ohjelmiin perehtyminen

Ongelmatilanteen sattuessa oli robottia osattava liikuttaa oikeaan suuntaan jotta välttyttäisiin turhilta törmäyksiltä. Työ alkoi siis tutustumalla robottiin ja sen ohjaimiseen. Robottia liikuteltiin ohjaimen avulla, ja näin opittiin tuntemaan sen liikera-dat. Robotin käytön opettelussa oli paljon muutakin kuin vain liikeratojen tuntemi-nen, joten pelkästään käytön oppiminen kunnolla vei runsaasti aikaa. Robotin käy-tön oppi vanhan manuaalin avulla ja tarvittaessa apua sai kokeneelta käyttäjältä.

Kun robotin liikkeisiin oli perehdytty, siirryttiin tutustumaan ohjelmien rakentee-seen. Parhaiten jokaisen ohjelman rakenteen ja kohdat oppi seuraamalla ohjelman etenemistä hitsausprosessin aikana. Ongelman esiintyessä täytyi robottia liikutella manuaalisesti käyttäen XYZ-koordinaatistoa tai ohjata robottia suoraan valmiisiin pisteisiin. Toimenpiteitä tehdessä oli mahdollista hukata kohta ohjelmasta johon robotti oli jäänyt ongelmatilanteessa, ja jotta kohta löytyisi nopeasti, olivat ohjelmat hyvä tuntea ainakin pääpiirtein.



Kuvio 15. Robottiohjain (Finncont Oy 2016.)

## 6.2 Ongelmatilanteet

Kun robotin ohjaamiseen ja yleisimpiin käskyihin oli perehdytty, sekä ohjelmiin oli tutustuttu, voitiin siirtyä ongelmatilanteiden pariin. Näissä ongelmallisissa tilanteissa hitsausprosessi keskeytyi syystä tai toisesta.

Oppaaseen kirjatut ratkaisut käsittelivät seuraavia ongelmatilanteita: virtasuuttimen palaminen, valokaaren syttyminen, valoverhon aktivoituminen hitsauksen aikana, robotin törmäys, railon hukkaaminen kesken hitsausprosessin ja railon haun epäonnistuminen.

Hitsausprosessin keskeytyessä täytyi ensimmäiseksi selvittää keskeytymisen syy tarkistamalla ohjaimen näytölle ilmestynyt ilmoitus. Seuraavaksi oli robotti ohjattava irti hitaasti hitsattavasti kohteesta, jotta välttyttäisiin törmäyksiltä, ja tämän jälkeen tarkistettiin virtasuutin, kaasuholkki ja hitsaussauman laatu. Jokaisesta erilaisesta ongelmatilanteesta kirjattiin ylös, mikä ongelma oli kyseessä ja kuinka kyseinen ongelmatilanne saadaan ratkaistua oikein.



Vei todella paljon aikaa oppia virhetilanteiden ja ongelmien ratkaisut, sillä niitä ei voinut mielensä mukaan harjoitella. Vasta ongelmatilanteiden ilmetessä pystyttiin perehtyä niiden ratkaisuun kokeneen käyttäjän ja vanhan manuaalin avulla. Jokaisen tilanteen kohdalla tehtiin ensin alustavat, mutta huolelliset muistiinpanot käsin ja otettiin ylös tarvittaviin toimenpiteisiin kuluva aika. Ensimmäisillä ratkaisu kerroilla saattoi yksinkertaisenkin virheen ratkaisemiseen kulua opastuksineen tunti. Kun jokaisen ongelmatilanteen ratkaisu opittiin, kului ongelmasta riippuen ratkaisemiseen aikaa viidestä viiteentoista minuuttiin.

### **6.3 Käyttäjien haastattelu**

Yrityksessä työskenteli kaksi kokenutta hitsausjärjestelmän käyttäjää, joita haastatteleamalla saatiin lisätietoa järjestelmän toiminnasta, ongelmatilanteista ja ongelmatilanteiden ratkaisusta.

Haastattelut aloitettiin ensimmäisen viikon aikana ja niitä pidettiin viikoittain muutamana kuukauden ajan. Näin varmistuttiin siitä, että kaikki mahdollinen tieto järjestelmästä ja siihen liittyvistä seikoista välittyi eteenpäin ja mahdollisilta turhilta virheiltilta vältyttiin.

Viimeiseksi haastateltiin Finncont Oy:n metallipuolen valmistuspäällikköä, jolta saatiin laajaa tietoa yrityksestä, sen historiasta ja toiminnasta.

### **6.4 Ratkaisuoppaan laatiminen**

Kun koossa oli tarpeeksi tietoa järjestelmän toiminnasta ja ongelmatilanteista, päästiin laatimaan ratkaisuopasta (Liite 1). Ratkaisuopas laadittiin siten, että se olisi mahdollisimman helposti ymmärrettävissä käyttäjän näkökulmasta. Ratkaisuopas helpottaa huomattavasti uusien käyttäjien työskentelyä itsenäisesti, sillä kokeneen käyttäjän ei tarvitse olla aina paikalla ongelmatilanteen esiintyessä. Ratkaisuopas sisältää sellaisten ongelmatilanteiden ratkaisut, joita esiintyi 8 kuukauden tutkimisen ja työskentelyn aikana. Esimerkiksi jonkin laitteen rikkoutumisesta johtuvan vian ratkaisu ei sisälly ratkaisuoppaaseen.

Ratkaisuoppaan toimivuus todettiin etenemällä sen mukaan ongelman esiintyessä. Ratkaisuoppaan lisäksi laadittiin pikaopas, josta sai selville nopeasti pääpiirteet, miten tulee toimia tietyn ongelman sattuessa. Pikaoppaasta näkee myös miltä sivulta ratkaisuoppaasta löytyy tarkat ohjeet tiettyyn ongelmaan (Liite 2). Huomioon tulee ottaa vielä, että järjestelmän käyttöön on silti aina annettava laajamittainen perehdytys.

## 7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tämä opinnäytetyö tehtiin Finncont Oy:lle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia ongelmatilanteiden ratkaisupuos laserseurannalla varustettuun Motomanin SK16-hitsausrobottiin, jolla hitsataan pääasiassa IBC-kontteja.

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin käytössä olevaa järjestelmää ja perehdytään robotiikkaan sekä laseriin. Ratkaisupuosta laatiessa täytyi perehtyä järjestelmän jokaiseen osaan: ohjelmaan, robottiin, ohjaimeen, laseriin ja hitsauslaitteiston toimintaan.

Haasteita tässä työssä olivat järjestelmän käytön opettelu sekä ohjelmien rakenteen ja toiminnan oppiminen. Haasteina olivat myös ongelmatilanteiden tunnistaminen ja ratkaiseminen sekä monipuolisen kirjallisuuden löytäminen. Myös järjestelmästä piti hakea tietoja jopa valmistajilta, sillä dokumentteja vanhemmista laitteista oli huonosti saatavilla.

Lopputuloksena saatiin laadittua määräaikaan mennessä monipuolinen ja käyttäjän näkökulmasta selkeä ja yksinkertainen ratkaisupuos. Tämän opinnäytetyön avulla voidaan robotin ongelmatilanteet ratkaista huomattavasti lyhyemmällä perehdyttämällä. Lisäksi apua löytyy aina läheltä, eikä kokeneen henkilön tarvitse kiiruhtaa paikan päälle ratkaisemaan virhetilannetta. Tämän ansiosta tuotanto voi jatkua ripeämmin.

## LÄHTEET

- ABB. 2016. ABB IRB 910SC SCARA. [Verkkosivu]. Zurich: ABB. [Viitattu 6.1.2017]. Saatavana: [https://library.e.abb.com/public/7f61db64693b4c2ab60d1ccbd28e82e6/SCARA\\_Final\\_External.pdf](https://library.e.abb.com/public/7f61db64693b4c2ab60d1ccbd28e82e6/SCARA_Final_External.pdf)
- ABB. Ei päiväystä. ABB IRB 2600. [Verkkosivu]. Zurich: ABB. [Viitattu 6.5.2016]. Saatavana: <http://new.abb.com/products/robotics/fi/teollisuusrobotit/irb-2600>
- ABB. Ei päiväystä. IRB 360 FlexPicker. [Verkkosivu]. Zurich: ABB. [Viitattu 6.5.2016]. Saatavana: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-360>
- ABB. Ei päiväystä. YuMi robot. [Verkkosivu]. Zurich: ABB. [Viitattu 6.7.2016]. Saatavana: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/yumi>
- Finncont Oy. 2016. Finncont Oy:n esittely. [PDF-tiedosto]. Virrat: Finncont Oy. [Viitattu 20.1.2017]. Saatavana Finncont Oy:n tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Finncont Oy. Ei päiväystä. Finncont Oy:n tehdas Virroilla. [Verkkosivu]. Virrat: Finncont Oy. [Viitattu 20.1.2017]. Saatavana: <http://finncont.com/index.php/fi/yritys/tietoa-yrityksestae>
- Ionix Oy. Ei päiväystä. Laserhitsaus. [Verkkosivu]. Hyvinkää: Ionix Oy. [Viitattu 2.2.2017]. Saatavana: <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/lasertyosto/laserhitsaus/>
- ISO 8373:2012. 2012. Robots and robotic devices.
- ISO 9001:2015. 2015. Laadunhallintajärjestelmä.
- ISO/TS 15066. 2016. Robots and robotic devices – Collaborative robots.
- Kurfess, T. 2005. Robotics and automation handbook. Boca Raton: CRC Press
- Lahden ammattikorkeakoulu. 2016. Robotiikka yleinen. [Verkkojulkaisu]. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu. [Viitattu 6.7.2016]. Saatavana: [http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf\\_tiedostot/Robotiikka\\_yleinen.pdf](http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Robotiikka_yleinen.pdf)
- Meta Vision Systems Ltd. 2011. Smart Laser Pilot MTE Installation Manual. Oxfordshire: Meta Vision Systems Ltd. Saatavana yritykseltä. Vaatii käyttöoikeuden.

New Equipment Digest. 2016. What's the Difference Between Industrial Robots?. [Verkkosivu]. New York: New Equipment Digest. [Viitattu 10.9.2016]. Saatavana: <http://www.newequipment.com/industry-trends/what-s-difference-between-industrial-robots>

Operation instructions KEMPPI PRO 5000. Ei päiväystä. [PDF-tiedosto]. Helsinki: Kemppe Oy. [Viitattu 10.7.2016]. Saatavana Kemppe Oy:n tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.

Operation instructions KEMPPI ProCool 10. Ei päiväystä. [PDF-tiedosto]. Helsinki: Kemppe Oy. [Viitattu 10.7.2016]. Saatavana Kemppe Oy:n tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.

Operations instructions KEMPPI PROMIG 501, 510, 511, 501L. Ei päiväystä. [PDF-tiedosto]. Helsinki: Kemppe Oy. [Viitattu 10.7.2016]. Saatavana Kemppe Oy:n tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.

Peltonen, H., Perkiö, J. & Vierinen, K. 2012. Insinöörin (AMK) fysiikka: Osa 2. 8.p. Lahti: Lahden Teho-opetus Oy.

Prinz, F.B. & Gunnarsson, K.T.1984. Robotic Seam Tracking. Pittsburgh, Pennsylvania: Carnegie-Mellon University

Prusaprinters. 2015. Prusa i3 3D printer. [Verkkosivu]. Prusaprinters. [Viitattu 2.9.2016]. Saatavana: [http://www.prusaprinters.org/prusa-i3/#\\_ga=1.144825456.575719202.1486389257](http://www.prusaprinters.org/prusa-i3/#_ga=1.144825456.575719202.1486389257)

RobotWorx. Ei päiväystä. Motoman SK16. [Verkkolähde]. Marion: RobotWorx. [Viitattu: 7.11.2016]. Saatavana: <https://www.robots.com/motoman/sk16>

SFS-EN ISO 10218-1. 2011. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit.

SFS-EN ISO 10218-2. 2011. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottisolut.

STUK. 2015. Laserluokat. [Verkkosivu]. Helsinki: Säteilyturvakeskus. [Viitattu 6.7.2016]. Saatavana: <http://www.stuk.fi/aiheet/laserit/laserluokat>

Viljakainen, K. 2014. Laserin käyttömahdollisuudet. [Verkkosivu]. Tuusula: Serideco Oy. [Viitattu 2.9.2016]. Saatavana: <http://serideco.blogspot.fi/2014/05/laserin-kayttomahdollisuudet.html>

## **LIITTEET**

Liite 1. Esimerkki ongelmanratkaisusta

Liite 2. Pikaopas

## Liite 1: Esimerkki ongelmanratkaisusta

3

## 1. Ongelmat ja virheet

### 1.1 Meta laser-virhe

Mikäli robotti kadottaa railon ja pysähtyy, antaa se Meta laser -virheilmoituksen. Status kohdassa lukee: Error| SEAM LOST.

Toimi tällöin seuraavien ohjeiden mukaan:

1. Kuittaa hälytys painamalla ohjaimesta CANCEL tai F5.
2. TEACH -tila päälle.
3. ENABLE päälle.
4. Valitse ohjaimesta WLD/CYL -tila käyttämällä COORD -painiketta.  
Nyt voit ajaa robotin kauemmaksi kappaleesta käyttämällä +X -näppäintä. Aloita aina hitaalla nopeudella ja kun olet varma robotin liikesuunnasta, voit lisätä nopeutta tarvittaessa.
5. Sammuta seuranta laser valitsemalla SELECT -> MORE -> (F1) RELE AUKI -> Seurantatila #OUT002 -> (F4) OFF.

Kohtien 1-5 jälkeen avaa kontin railoa kulmahiomakoneella.

Seuraavaksi kytke jatkuva laserpäälle ja paikoita railo käsin: SELECT -> MORE -> RELE AUKI -> Jatkuva laser #OUT007 -> (F3) ON.

Käytä -X näppäintä ja siirrä varovasti robotti ensin silmämääräisesti siihen kohtaan josta hitsauksen on tarkoitus jatkua. Käytä tarvittaessa ohjausyksikönlukitusta.

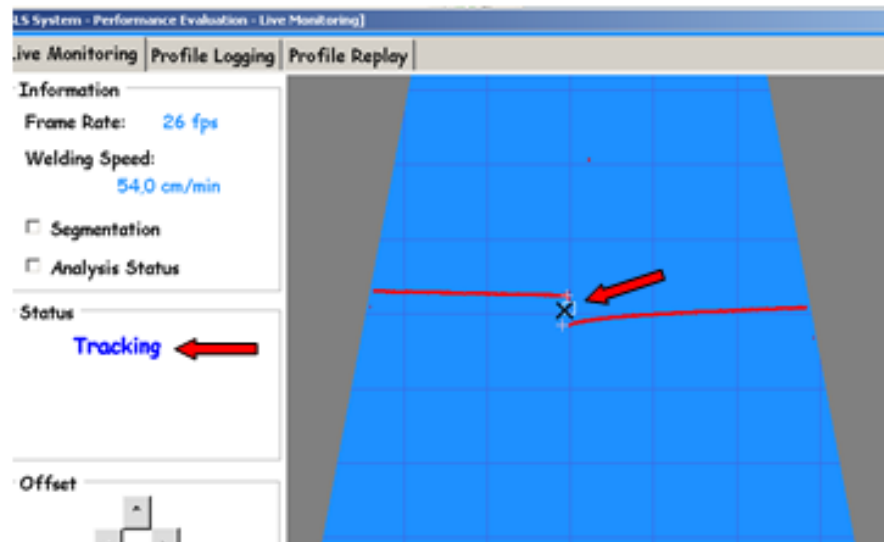
Tämän jälkeen laske nopeutta ja siirrä tietokoneen näytöllä näkyvä musta rasti valkoisen neliön keskelle käyttämällä -Y, +Y, -X, +X ja -Z, +Z näppäimiä.



6. Kytke jatkuva laser pois päältä: SELECT -> MORE -> RELE AUKI -> Jatkuva laser -> (F4) OFF.
7. Takaisin ohjelmaan: DISP -> (F1) TYÖ -> (F2) MASTER
8. Katso kohdat "2. Käskyjen hallinta" ja "3. Käskyjen luontikohdat"
9. Vie kursori seurantakutsun päälle (CALLJOB: CF11SE2 (SE = Seuranta)), kuittaa valoverhot, ENABLE pois päältä ja vaihda TEACH -tila PLAY -tilaan.

Starttia painettaessa robotti lähtee hitsaamaan normaalisti kohdasta johon se on ajettu.

**HUOM! Mikäli Meta laser-virheen sattuessa robotti on oikeassa kohdassa ja tietokoneen näytöllä "Status" kohdassa lukee "Tracking", suutin on ehjä sekä musta rasti on yhä valkoisen neliön keskellä, tarvitsee vain painaa "START" takaisin päälle, eikä muita toimenpiteitä tarvita (Katso kuva).**





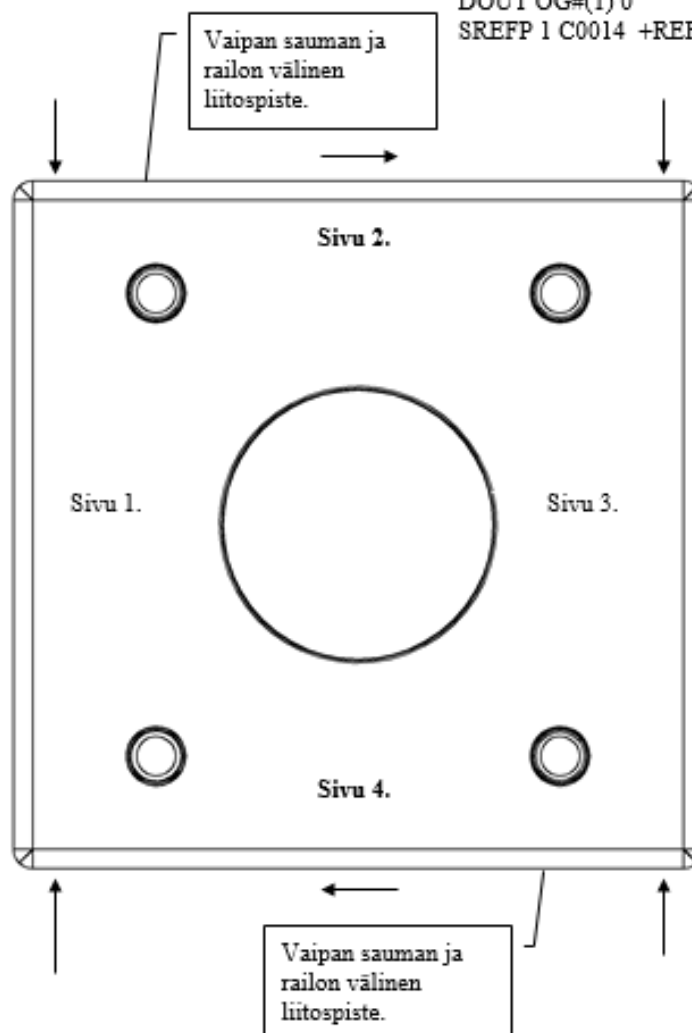
**SIVUT 2 JA 4.**

Tässä tapauksessa sivuilla 2 ja 4 sijaitsee liitospisteet, jotka täytyy ottaa huomioon (SMOVL C0012 V=13.0 +MOVJ EC0012). Lisää käskyt oikeanpuolen mukaisesti, liitospisteen alapuolelle. Eli laitetaan robotti hitsaamaan sivun loppua kohti, eikä liitospistettä päin.

```
CALL JOB:MC11SE2
ARCCTS AC=115 AV=23.0 DIS=50.0
ARCCTE AC=70 AV=23.0 DIS=30.0
SMOVL C0012 V=13.0 +MOVJ EC0012
ARCCTS AC=115 AV=23.0 DIS=30.0
ARCCTE AC=70 AV=23.0 DIS=15.0
SMOVL C0013 V=13.0 +MOVJ EC0013
SENSOF SACOR
DOUT OG#(1) 0
SREFP 1 C0014 +REFP EC0014
```



```
CALL JOB:MC11SE2
ARCCTS AC=115 AV=23.0 DIS=50.0
ARCCTE AC=70 AV=23.0 DIS=30.0
SMOVL C0012 V=13.0 +MOVJ EC0012
CALL JOB:MC11SE2
ARCON ASF#(9)
ARCCTS AC=115 AV=23.0 DIS=30.0
ARCCTE AC=70 AV=23.0 DIS=15.0
SMOVL C0013 V=13.0 +MOVJ EC0013
SENSOF SACOR
DOUT OG#(1) 0
SREFP 1 C0014 +REFP EC0014
```



## 2. Käskyjen hallinta

### 2.1 Hitsauskäskyn luonti


1. Valitse tilaksi TEACH
2. ENABLE päälle
3. Siirry kursorinäppäimillä haluttuun kohtaan ja paina EDIT -> INSERT -> 8 (ARCON)  
-> 9 (Taulukkoarvo) -> Enter -> Enter -> DISP

### 2.2 Seurantakutsun kopioiminen ja liittäminen

1. Valitse tilaksi TEACH
2. ENABLE päälle
3. Siirry seurantakutsun päälle käyttämällä nuolinäppäimiä. (Niin että valittuna on käsky eikä rivinumero)
4. Näppäile EDIT -> (F4) C&P -> (F2) Kopioi -> (F5) Suorita -> Siirry kohtaan johon haluat liittää seurantakutsun -> (F3) Liimaa -> (F5) Suorita.

**HUOM! Ota ylös luodun käskyn rivinumero ja aliohjelman nimi käskyn poistoa varten! Esim. 240 MC11AV**

### 2.3 Luotujen kutsujen ja käskyjen poistaminen

1. Valitse tilaksi TEACH.
2. ENABLE päälle.
3. Etsi nuolinäppäimiä käyttäen aliohjelma joihin kutsut ja/tai käskyt on luotu, esim. CALLJOB: MC11AV.
4. Siirry aliohjelman sisälle painamalla oikealle osoittavan nuolinäppäimen alapuolella olevaa näppäintä jossa on puhekuplan kuva. 
5. Näppäile (F5) etsi -> (F1) Rivi -> näppäile rivin numero johon esimerkiksi "ARCON ASF#(9)" käsky luotiin -> ENTER.
6. Poista käsky painamalla EDIT -> DELETE -> ENTER.

Painamalla uudelleen puhekupla näppäintä pääset takaisin pääohjelmaan. Jos painat DISP näppäintä ollessasi aliohjelman sisällä, et pääse takaisin pääohjelmaan käyttämällä puhekupla näppäintä. Hae koko ohjelma uudestaan painamalla SELECT -> (F4) VALTYÖ -> Etsi oikea ohjelma -> Enter.

## Liite 2. Pikaopas

<b>Virhe</b>	<b>Tunnistaminen</b>	<b>Ratkaisu</b>	<b>Sivu</b>
<b>Meta Laser</b>	Robotti on lopettanut hitsaamisen. Ohjaimessa lukee Meta laser -virhe.	Avaa railoa kulmahiomakoneella ja paikoita railo käsin.	Katso sivu 3
<b>Suutin</b>	Kun suutin palaa tukkoon, ääni muuttuu voimakkaammaksi ja valokaari vihertäväksi	Mikäli ehdit, pysäytä robotti HOLD – painikkeella. Vaihda suutin ja siirrä robotti kohtaan josta hitsausta on tarkoitus jatkaa.	Katso sivu 4
<b>Valokaari ei syty</b>	Robotti ei aloita hitsaamista, ohjaimessa lukee: "Kaari ei syty".	Tarkista langan määrä, langansyöttö, suuttimen kunto.	katso sivu 4
<b>Haku ongelma</b>	Pysähtyy hitsattavan vaiheen alkuun. Antaa ilmoituksen: "Robotti pysähtyi PAUSE - käskyllä [0000 _0011]..."	Robotti ei löydä railoa, avaa railoa kulmahiomakoneella ja siirry aliohjelman alkuun.	Katso sivu 5
<b>Törmäys</b>	HOLD – valo syttyy, ohjain ilmoittaa törmäyksen tapahtuneen.	Poista robotti HOLD – tilasta ottamalla törmäyksen ohitus käyttöön. Ohjaa robotti kauemmaksi kohteesta.	Katso sivu 5
<b>Valoverhot</b>	Valoverhon kuittauspainike palaa, ohjaimessa lukee: "Turvatoiminto vaikutettuna"	Kuittaa ilmoitus, kuittaa valoverho, paina <u>start</u> .	Katso sivu 5