



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# PESUKAMMION HITSAUKSEN ROBOTISOINTI

Franke Medical Oy

TEKIJÄ: Seppo Vuokare

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Seppo Vuokare	
Työn nimi Pesukammion hitsauksen robotisointi	
Päiväys 4.12.2018	Sivumäärä/Liitteet 33/1
Ohjaajat Tutkimus- ja kehittämisspäällikkö Esa Jääskeläinen, tutkimusinsinööri Aku Tuunainen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Franke Medical Oy, venti-insinööri Markku Siltanen	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ruostumattomasta teräksestä tehdyn pesukammion hitsaamisen robotisointia Froniuksen CMT-virtalähteellä. Ongelmaa tutkitaan materiaalin hitsattavuuden, robotin ohjelmoitavuuden ja investoinnin hinnan kannalta. Työssä tutkittiin ensin CMT-hitsauksen soveltuvuutta ruostumattoman ohutlevy-teräksen hitsaukseen.</p> <p>Työ aloitettiin tutkimalla CMT-prosessin soveltuvuutta kammiossa käytettävään materiaaliin samalla kun tutustuttiin CMT:n säädettäviin arvoihin ja niiden merkitykseen. Testien edistyessä siirryttiin tutkimaan pesukammioiden hitsattavuutta enemmän tuotantoa vastaavassa tilanteessa. Testien päätyttyä tehtiin kustannusarvio hitsauksen robotisoinnista ja verrattiin sitä nykyisen käsinhitsauksen kustannuksiin.</p> <p>Työn tuloksena selvisi, että CMT ei sovellu tämän tuotteen hitsauksen automatisointiin. Menetelmätesteissä ei saatu aikaan hitsin juuren laatua, joka kilpailisi TIG-hitsauksen kanssa. Kammion runkojen testeissä CMT osoitautui myös alttiiksi hitsausvirheille kohdatessaan sovitusrvirheitä. Uuden sukupolven CMT-virtalähteissä on kuitenkin ominaisuuksia kuten Cycle Step, joka voisi mahdollistaa CMT:n käytön tällaisessa käyttökohteessa. Robotti oli helppo ohjelmoida hitsaamaan kammion hitsit eikä sen ulottuvuudessa ollut ongelmaa. Robotisointi päätettiin tehdä TIG-robotilla, jonka hankkimisesta tehtiin kustannusarvio. Kustannusarviota varten saatiin kaksi tarjousta robottisolusta ja laskettiin robotisoinnin kannattavuutta vertaamalla sitä nykyiseen käsinhitsaukseen. Yhden pesukammion hitsauksen juoksevat kustannukset olivat robotilla pienemmät mutta korkeiden hankintakustannusten vuoksi robottisolulla pitäisi hitsata vähintään kolmea eri tuotetta, että siitä saataisiin kannattavaa kolmen vuoden sisällä.</p>	
Avainsanat robottihitsaus, cmt, tig, ruostumaton teräs, kustannusarvio	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author Seppo Vuokare			
Title of Thesis Robotizing the welding of a washing chamber			
Date	4.12.2018	Pages/Appendices	33/1
Supervisors Manager of Research and Development Esa Jääskeläinen, Research Engineer Aku Tuunainen			
Client Organisation / Partners Franke Medical Oy, Export Sales Engineer Markku Siltanen			
<p>Abstract</p> <p>This thesis was made for Franke Medical Oy located in the Naarajärvi suburb of Pieksämäki. The company currently TIG welds their washing chambers by hand and has considered robotizing the process, possibly with a Fronius CMT power supply. The aim of this thesis was to study the viability of robotizing the welding process with CMT and to estimate its costs.</p> <p>The work begun by searching for information about welding stainless steel and how the different parameters in CMT affected the weld. Franke Medical made strips of the same material used on the washing chamber to find the most suitable CMT parameters. Once there was no more progress to be found in testing them, the tests moved on to testing the parameters on actual washing chambers that were sent to the welding laboratory. After testing reached its conclusion, a cost estimate for robotizing the process was made.</p> <p>As a result of this thesis it was found out that CMT is not suitable for automating this process. CMT could not achieve a weld root quality to match TIG welding and additionally the CMT process had problems with bridging imperfections in the washing chamber tests. However, newer CMT power supply units have new features that could solve these problems, such as Cycle Step. Programming the welds was easy and there were no problems regarding reachability. Franke Medical decided to use a TIG welding robot for robotizing this welding process and a cost estimate was made. Two offers for the TIG robot welding cells were received and the operating costs of manual welding and robot welding were compared. The operating costs for robot welding turned out considerably lower than manual welding but because of the high investment costs, the robot needs to be used to weld at least three different products to make it profitable within 3 years.</p>			
Keywords robot welding, cmt, tig, stainless steel, cost estimate			

## ESIPUHE

Haluan kiittää Franke Medical Oy:n Markku Siltasta opinnäytetyön aiheesta sekä Jani Räihää, joka otti minut töihin Kevako Oy:lle kahden viimeisen harjoittelujakson ajaksi. Haluan kiittää myös perhettäni ja ystäviäni, heidän tukensa oli tärkeää vaikeina aikoina.

Siilinjärvellä 4.12.2018

Seppo Vuokare

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
1.1	Työn tavoite .....	7
1.2	Työn toteutus .....	7
1.3	Lyhenteet ja määritelmät.....	7
2	FRANKE MEDICAL OY .....	8
2.1	Naarajärven tehtaan historia.....	8
2.2	Franke Group .....	8
3	RUOSTUMATTOMAN TERÄKSEN HITSAUS .....	9
3.1	Ruostumattoman teräksen pääryhmät.....	9
3.1.1	Austeniittiset teräokset .....	9
3.1.2	Ferriittiset teräokset .....	9
3.1.3	Austeniittis-ferriittiset teräokset .....	10
3.1.4	Martensiittiset teräokset .....	10
3.2	Lämmötuonti .....	10
4	ROBOTTIHITSAUS.....	11
4.1	Etäohjelmointi .....	12
4.2	Railonhaku ja –seuranta .....	12
4.2.1	Erilliset sensorit.....	13
4.3	Robottihitsauksen tulevaisuus .....	13
5	TIG-HITSAUS .....	14
5.1	TIG-pulssihitsaus .....	14
5.2	MicroTack.....	15
5.3	TIP TIG.....	15
6	CMT-HITSAUS.....	15
6.1	Säädöt .....	16
6.2	CMT:n edut .....	17
7	MENETELMÄTESTAUS.....	17
7.1	Hitsauskiinnitin .....	17
7.2	Parametritestit.....	19
8	PESUKAMMION HITSATTAVUUS .....	20
8.1	Kiinnitin.....	20

8.2	Hitsaustestit .....	21
9	KUSTANNUSARVIO .....	24
9.1	Nykytilanne .....	24
9.2	Robottihitsauksen kustannukset.....	25
9.3	Vertailu .....	26
10	TYÖN TULOKSET .....	28
10.1	Menetelmätestit .....	28
10.2	Kammio-testit .....	28
10.3	Kustannusarvio .....	28
11	YHTEENVETO.....	29
	LÄHTEET .....	31
	LIITE 1: HITSAUSTESTIARVOT .....	32

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Työn tavoite

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia Franke Medical Oy:lle Deko 190 –desinfiointikoneen pesukammion hitsauksen robotisointia. Tällä hetkellä pesukammiot hitsataan käsin TIG-laitteistolla, ja Franke Medical haluaa tietää, että olisiko hitsauksen robotisointi CMT-laitteistolla kannattavaa. Epäergonomisen hitsauksen automatisoinnin toivotaan myös vähentävän sairauspoissaoloja.



Kuva 1: Deko 190 (Franke Medical Oy, 2018)

### 1.2 Työn toteutus

Työ suoritettiin kolmessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa testattiin CMT-hitsauksen ja tuotteen materiaalin yhteensopivuutta. Testit suoritettiin Savonian hitsauslaboratorion ABB-robotihitsausso-  
lulla (<http://hit.savonia.fi/index.php/palvelut/robotisoitu-hitsaus-abb-robotisolussa>). Kun sopivat arvot löydettiin, siirryttiin toiseen vaiheeseen eli pesukammion hitsauksen ohjelmointiin. Pesukammiotestit vastaavat paremmin tuotantotilannetta, jotta voitaisiin selvittää CMT-hitsauksen käytettävyys tuotannossa. Sen lisäksi niissä testataan robotin ohjelmoitavuutta ja ulottuvuutta. Kolmannessa ja viimeisessä vaiheessa arvioitiin automatisoinnin hankinta- ja käyttökustannukset ja pohdittiin sen kannattavuutta vertaamalla niitä käsin hitsauksen kuluihin.

### 1.3 Lyhenteet ja määritelmät

- CMTA: CMT Advanced, joka vaihtaa kaaren napaisuutta oikosulun tapahtuessa.
- MicroTack: Kempin kehittämä silloitustapa TIG-laitteille, muistuttaa pistehitsiä.
- OLP: OffLine Programming, robotin etäohjelmointi
- Synergiakäyrä: Perusaineen ja lisäainelangan halkaisijan yhdistelmälle tehty virtapulssin muoto. Kytkeyty langansyötön nopeuteen digitaalisen prosessinhallinnan avulla tasaisen lisä-  
aineen irtoamisen takaamiseksi. (The Welding Institute, 2018)

## 2 FRANKE MEDICAL OY

Franke Medical Oy on Pieksämäen kunnan Naarajärven taajamassa toimiva osa Franke-konsernia. Franke Medicalilla on noin 40 työntekijää ja sen liikevaihto vuoden 2017 lopulla oli 8,6 miljoonaa euroa. (Fonecta, 2017) Franke Medical valmistaa pesu- ja desinfiointikoneita sairaalakäyttöön ja tuotevalikoiman jatkona on kuivauskaappeja. Franke Medical tarjoaa myös määräaikaishuoltoja ja valiidointipalveluja. (Franke Medical Oy, 2018)



Kuva 2: Ilmakuva tehtaasta (Franke Medical Oy, 2018)

### 2.1 Naarajärven tehtaan historia

Naarajärven tehdas aloitti toimintansa vuonna 1970 kun Hackman siirsi pesuallastuotantonsa sinne Hyvinkäältä. Asiakkaan toivomuksesta ensimmäistä pesu- ja desinfiointikonetta alettiin kehittämään 1970-luvun alkupuolella. Ensimmäiset koneet saatiin myyntiin vuosikymmenen puolivälissä, josta siirryttiin pian Norjan kautta vientimarkkinoille.

Vuonna 1989 Oy Hackman Ab perusti Hackman Meka Oy:n, joka alkoi 1990 maahantuomaan Franken keittiöratkaisuja. Franke Holding osti Naarajärven, Suonenjoen ja Ramnäsin tehtaat Hackmanilta vuonna 1994 ja toimi Suomessa nimellä Franke Hackman Oy. Yrityksen nimi vaihdettiin pian Franke Finland Oy:ksi ja siitä lopulta Franke Medical Oy:ksi vuonna 2011 kun Franke Finland Oy jakautui. (Franke Medical Oy, 2014)

### 2.2 Franke Group

Franke-konserni alkoi vuonna 1911 levymetallipajana Sveitsin Rorschachissa. Franken ensimmäinen ruostumaton teräslavaari löi läpi ja tuotanto piti siirtää suurempaan tehtaaseen Aarburg bei Olteniin. Vuonna 1939 yrityksen johto siirtyi Hermannin pojalle Walter Frankelle. Toisen maailmansodan jälkeen, kun terästä oli taas saatavilla, Franke keskittyi valmistamaan standardoituja keittiöitä teolliseen käyttöön ja alkoi laajentua Sveitsin rajojen yli. (Franke Holding AG, 2018)

Tänä päivänä Franke Groupin alaisuudessa toimii 67 yritystä 40 eri maassa, viidellä eri mantereella. Koko konsernin liikevaihto on noin 1,8 miljardia euroa ja henkilöstöä sillä on noin 9000. Franke Groupin alaiset yritykset tekevät pääasiassa elintarvike- ja terveydenhuoltoalan laitteita ruostumattomasta teräksestä. (Franke Holding AG, 2018)



### 3 RUOSTUMATTOMAN TERÄKSEN HITSAUS

Ruostumattoman teräksen runsaat seosaineet voivat tehdä sen hitsauksesta vaikeampaa. Seoksen koostumus voi tehdä materiaalista herkästi karkenevaa tai tehdä siitä alttiimpaa lämpömuodonmuutoksille. Tämän takia ruostumattoman teräksen hitsaamista varten täytyy usein tehdä valmisteluja esimerkiksi esilämmityksen tai runsaan silloituksen muodossa.

#### 3.1 Ruostumattoman teräksen pääryhmät

Kaikki ruostumattomat teräkset vastustavat ympäristön syövyttävää vaikutusta kromipitoisuutensa ansiosta. Seoksen pitää sisältää vähintään 12 % kromia luodakseen luotettavasti passivoivan oksidikalvon materiaalin pinnalle. Ruostumattomiin teräksiin saadaan erilaisia ominaisuuksia lisäämällä niihin muita seosaineita ja käyttämällä erilaisia mikrorakenteita. Ruostumattomat teräkset ovat jaettu neljään pääryhmään mikrorakenteidensa perusteella. (Lepola & Ylikangas, 2016, s. 213)

##### 3.1.1 Austeniittiset teräkset

Suurin osa ruostumattomista teräksistä ovat austeniittisiä. Mikrorakenteensa ansiosta austeniittinen teräs ei karkene eikä tartu magneettiin. Austeniittiset ruostumattomat teräkset sisältävät kromia enemmän kuin muut ruostumattoman teräksen ryhmät, yleensä 18 – 20 %. Kromin lisäksi seokseen on lisätty reilusti nikkeliä (8 - 12 %) ja usein molybdeeniäkin 1 - 4 %. Austeniittista terästä on verrattain helppo hitsata sen karkenemattomuuden vuoksi, jonka vuoksi sitä käytetään kun materiaailta ei vaadita erityisen paljon kovuutta tai lujuutta. Runsaampihiilissä seoksissa on kuitenkin oltava tarkkana lämmöntuonnin suhteen, sillä austeniittisten seosten kromi muodostaa kromikarbideja kun materiaalin lämpötila pysyy liian kauan 500 – 900 °C alueella. Kromikarbidi muodostuu mikrorakenteen raerajoille vähentäen kromipitoisuutta muualla, mahdollisesti aiheuttaen raerajakorroosiota kun alueen kromipitoisuus laskee alle vaaditun. (Lepola & Ylikangas, 2016) Nykyaikaisten terästen kanssa riski on kuitenkin paljon pienentynyt, sillä hiilen ja epäpuhtauksien määrä seoksessa on vähentynyt. Koostumuksen optimoinnin ansiosta myös kuumahalkeilu on harvinaisempaa. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s. 158)

##### 3.1.2 Ferriittiset teräkset

Ferriittisiä ruostumattomia teräksiä kutsutaan myös ruostumattomiksi kromiteräksiksi niiden pääseosaineen mukaan. Seokset kestävät korroosiota ja hapettumista paremmin kromipitoisuuden kasvaessa mutta samalla kärsii teräksen sitkeys ja hitsaus hankaloituu. Kromipitoisuus vaihtelee 12 – 30 %. Eniten niiden hitsattavuuteen vaikuttaa hiilipitoisuus ja stabiloiminen, joka tehdään seostamalla teräkseen niobia ja titaania. (Kyröläinen & Lukkari, 2002) Ferriittiset ruostumattomat teräkset ovat lujempia kuin austeniittiset seokset, minkä takia niitä käytetään mekaanisesti vaativammissa kohteissa, kuten autojen pakoputkissa ja katalyysaattoreissa. Ferriittisiä ruostumattomia teräksiä pitää yleensä lämmittää hitsausta varten 150 – 200 °C työlämpötilaan ja niitä on jälkihehkutettava hitsauksen jälkeen 750 – 850 °C. (Lepola & Ylikangas, 2016, s. 214)

### 3.1.3 Austeniittis-ferriittiset teräkset

Austeniittis-ferriittiset teräkset tunnetaan myös Duplex-teräksinä. Vähentämällä nikkelin määrää seoksessa on saatu kahta erilaista mikrorakennetta, joiden ansiosta Duplex-teräksen lujuus on tavalliseen austeniittiseen teräkseen verrattuna noin kaksinkertainen. Muihin etuihin lukeutuu kestävyys piste- ja jännityskorroosiota vastaan sekä pinnan kovuus. Duplex-teräksiä käytetään kun materiaailta vaaditaan sekä suurta lujuutta että korroosionkestävyyttä, kuten paineastioissa öljyteollisuudessa. Hitsausta varten railon ja lisäaineiden on ehdottomasti oltava kuivia ja puhtaita, sillä kosteus lisää halkeamisherkkyyttä ja voi aiheuttaa huokosia. Hitsaus tehdään mieluiten ilman vaaputusta ja ylikuumentamista on vältettävä. (Lepola & Ylikangas, 2016, s. 214) Huono hitsattavuus johtuu rakenkasvun aiheuttamasta haurastumisesta, suuresta ferriittipitoisuudesta sekä muutosvyöhykkeen sigmafaasin erkautumisesta. Muutosvyöhyke jäähtyy myös hitsauksen jälkeen niin nopeasti, ettei austeniitti kerkeä muodostua uudelleen, joka johtaa muutosvyöhykkeen huonoon sitkeyteen. Korkeampi hiilipitoisuus altistaa teräksen myös raerajakorroosiolle ja herkistymiselle. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s. 199)

### 3.1.4 Martensiittiset teräkset

Martensiittiset ruostumattomat teräkset sisältävät 12 – 17 % kromia niin kuin matalakromiset ferriittisetkin, mutta niissä on paljon enemmän hiiltä, 0,1 - 1 %. Hiilipitoisuus mahdollistaa kovuuden ja lujuuden mihin muut ruostumattomat teräkset eivät yllä. Samalla se kuitenkin tekee hitsauksesta erittäin vaikeaa, eikä martensiittisiä teräksiä yleensä olekaan tarkoitettu hitsattaviksi karkenevuutensa vuoksi. Se on kuitenkin mahdollista korkean työlämpötilan sekä jälkihehkutuksen avulla. Martensiittisten terästen tärkein ominaisuus on niiden kovuus, jonka takia niitä käytetään paikoissa, joiden pitää kestää sekä kulutusta että syöpmistä, kuten turbiinien siivissä sekä veitsissä. (Lepola & Ylikangas, 2016, s. 214)

Martensiittisen teräksen hitsauksesta tekee vaikeaa sen alttius vetyhalkeilulle. Vetyhalkeilu edellyttää haurasta mikrorakennetta, vetyä hitsissä sekä vetojännityksiä. Martensiitti on kova ja hauras mikrorakenne, lämpömuodonmuutokset tuovat vetojännityksiä sekä vetyä pääsee hitsiin vähäisenkin kosteuden mukana. Hitsauksessa voidaan vain pyrkiä minimoimaan vetytekijä kuivaamalla huolellisesti railopinnat ja lisäaineet sekä valitsemalla mahdollisimman niukkavetyisiä lisäaineita. Vedyn määrää voidaan vähentää myös tarkalla lämpökäsittelyllä. Hitsattu kappale saa jäähtyä 100 - 150 °C lämpötilaan mutta sen jälkeen sitä on hehkutettava useita tunteja ennen kuin se voi jäähtyä huoneenlämpötilaan. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s. 232)

## 3.2 Lämmöntuonti

Austeniittisilla ruostumattomilla teräksillä on sekä pienempi lämmönjohtavuus että suurempi lämpölaajenemiskerroin kuin muilla terässeoksilla. Tämä johtaa suuriin hitsausmuodonmuutoksiin eli vetelyihin, varsinkin verrattuna rakenneteräksiin. Muodonmuutosten minimoimiseksi on oltava tavallista huolellisempi kappaleen sovituksissa, silloitettava tiheämpään ja käytettävä kiinnittimiä. Myös esimerkiksi taka-askelhitsaus ja esitaivutus ovat keinoja, joilla voidaan minimoida muodonmuutoksia.

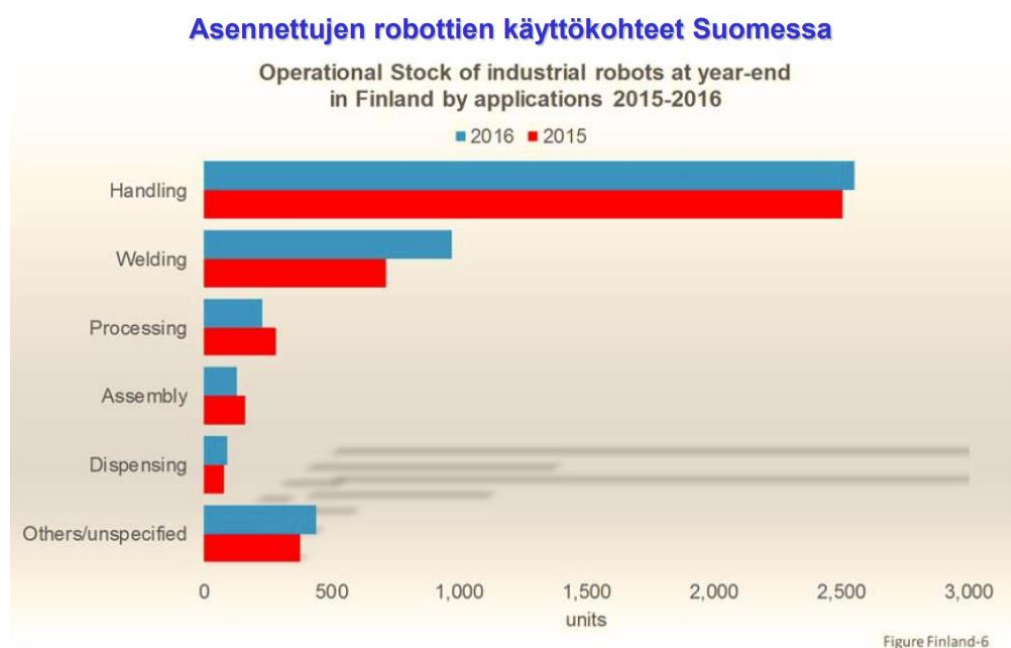
(Kyröläinen & Lukkari, 2002) Taka-askelhitsaus kuitenkin luo paljon aloitus- ja lopetuskohtia, jotka ovat alttiita hitsausvirheille.

Austeniittisten terästen sulamisaalue on noin 100 °C matalampi kuin rakenneteräksillä, joka nopeuttaa perusaineen sulamista. Rakenneteräkseen verrattuna varsinkin austeniittisilla ruostumattomilla teräksillä on myös todella korkea sähköinen ominaisvastus, joka luo samalla hitsausvirrallakin enemmän lämpöä kuin rakenneteräksessä. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s. 150)

Austeniittinen teräs ei ole magneettista niin kuin muut teräkset mutta sillä ei ole käytännössä suurta merkitystä, ellei sitä olla hitsaamassa kiinni teräkseen, joka on magneettista. Tällöin valokaari ohjautuu magneettista terästä kohti, minkä vuoksi perusaineet sulavat eri nopeuksilla ja se voi luoda hitsisulaan huonon mikrorakenteen. (Kyröläinen & Lukkari, 2002)

#### 4 ROBOTTIHITSAUS

Hitsaus on Suomessa toiseksi yleisin käyttötarkoitus roboteille (Kaavio 1) ja hyvästä syystä. Hitsauksen robotisoimisella on monia hyviä puolia, vaikka automaatiosta maalaillaankin paljon uhkakuvia. Hitsaajat altistuvat jatkuvasti hitsisulasta nouseville metallioksidihöyryille, jotka aiheuttavat pitkällä aikavälillä ongelmia niin hengityksen, hermoston kuin lisääntymiskyvynkin kanssa. Ruostumattomissa teräksissä yleiset kromi ja nikkeli taas lisäävät hengitettynä syöpäriskiä. (Lepola & Ylikangas, 2016) Myös hitsaamisen väistämätön huono ergonomia aiheuttaa terveysongelmia, varsinkin hitsaajakannan vanhetessa. Hitsausrobotti tekee nopeasti ja laadukkaasti pitkät, monotooniset hitsit, jotka olisivat hitsaajille kaikkein epäterveellisimpiä. Sen lisäksi hitsausrobotit myös luovat työpaikkoja muun muassa etäohjelmoijille ja operaattoreille. Tuotannon siirtyessä halpatyömaihin robotit ovat välttämättömiä Suomen kilpailuaseman ylläpitämiseksi teollisuudessa.



Kaavio 1: Robottien käyttökohteet (Suomen Robotiikkayhdistys Ry, 2016)

Ääritapauksessa hitsausrobotti voi tehdä muutamassa tunnissa muutaman päivän työt. Suuria kappaleita hitsatessa robotin kyky hitsata tauotta ja vaihtaa erittäin raskaankin kappaleen asentoa käsitelypöytää kääntämällä on valtava apu. Tarvitaan paljon alkuvalmisteluja ennen kuin robottia voidaan käyttää täydellä tehokkuudella, mutta kun robotin ohjelmointi luonnistuu, hitsausohjeet ovat selvät ja laitteet toimivat hyvin yhteen on helppoa tehdä tasaista laatua nopeasti.

#### 4.1 Etäohjelmointi

Varsinkin pitkiä ohjelmia varten on järkevää käyttää etäohjelmointia, sillä ohjelmointiaika on muuten aina tuotannosta pois. Sen takia eri ohjelmointitavoille onkin nimitykset offline programming ja online programming, joissa viitataan internet-yhteyden sijaan tuotantolinjaan. Näistä etäohjelmointia tarkoittaa offline programming (OLP), jota voidaan tehdä toimistossa robotin hitsatessa. Etäohjelmoidessa voidaan myös simuloida ohjelma ja välttää törmäykset ennen kuin ohjelma siirretään robotille. On kuitenkin muistettava, että simulaatiossa ja tuotantotilanteessa voi olla eroja ja se, mikä toimii simulaatiossa, ei aina toimi tuotantotilanteessa. Robotin 3D-malli simulaatiossa on pakostakin suurpiirteinen, mikä voi aiheuttaa törmäyksiä, joista simulaatio ei osaa varoittaa. Esimerkiksi 3D-mallista puuttuvat virtajohdot ja kaasuletku voivat olla vaarassa, kun liikkuvaan alustaan kiinnitetty robotti liikkuu lähellä kappaletta. Etenkin isoissa kappaleissa voi myös olla suuria mittavaihteluita niiden 3D-malliin verrattuna, jonka vuoksi ohjelmoidut pisteet voivat usein olla millimetrien päässä oikeasta paikasta. Tämän vuoksi on parasta, että operaattori käy uudet ohjelmat alusta loppuun läpi ennen kuin ohjelmaa käytetään tuotannossa.

#### 4.2 Railonhaku ja -seuranta

Ellei robottiin lisätä erillisiä sensoreita, se on käytännössä sokea. Etäohjelmoitu ohjelma voi erota oikeista paikoituksista usealla tärkeällä millimetrillä, jonka lisäksi kappaleen kiinnitys tai silloitus voi aiheuttaa lisää eroavaisuuksia kappaleen sijainnin ja ohjelmoitujen pisteiden välille. Tämän takia oli keksittävä menetelmiä, joilla robotti voi sopeutua sarjatuotannossa näihin muutoksiin ilman tarvetta tarkistaa ja muokata hitsausohjelmaa jokaiselle kappaleelle. Railonhaku on tekniikka, jossa robotti käyttää hitsausvirtalähdettä kappaleen pintojen tunnusteluun. Vakiopituista vapaalankaa käyttämällä ja virta-arvoja tarkkailemalla robotti voi havaita kappaleen pinnan kun jännite vapaalangasta purkautuu. Robotti pystyy sitten vertaamaan havaittua pintaa ohjelmoituihin koordinaatteihin ja kompensoimaan hitsauspisteitä havaitun eron verran. Kaikissa hitsausprosesseissa ei kuitenkaan käytetä vapaalankaa, jolloin on käytettävä erillistä sensoria pintojen tunnusteluun. Railonseurannassa käytetään vaaputusliikettä ja virta-arvojen seurantaa yhdessä niin, että railo pysyy vaaputusliikkeen keskikohdassa. Menetelmä on kuitenkin liian suuripiirteinen, että sitä voitaisiin käyttää ohuiden materiaalien tai matalien pienten kanssa.

#### 4.2.1 Erilliset sensorit

Erilliset railon seurantasensorit perustuvat samoihin aisteihin kuin mitä ihminen käyttäisi pintojen etsimiseen: näköön ja tuntoon. Optiset sensorit käyttävät joko laserviivaa ja kameraa railon löytämiseen tai vaihtoehtoisesti konenäköä, joka löytää railon tarkastelemalla harmaan sävyjä kuvassa. Yksi optisen railon seurannan etu on se, että se ei löydä railoa vain kahden pinnan leikkauskohtana vaan se näkee railon ja sen ansiosta se voi tunnistaa myös ilmaraot ja silloitushitsit. (Scansonic IPT GmbH, 2018)

Kosketussensori tunnistaa pintaa ja havaitsee eroavaisuudet ohjelman pisteiden ja havaitun pinnan koordinaateissa. Kosketussensori ei ole arka ylimääräisille valoille tai roiskeille niin kuin optinen sensorin voi olla ja sen yksinkertainen toimintaperiaate helpottaa sen käyttöä. Se ei myöskään tarvitse niin paljon etumatkaa valokaareen kuin optinen sensorin. Molemmat sensorit voivat toimia joko robotin ajamina tai erillisinä laitteina robotin kärjessä. Robotin ajaman sensorin etuna on pienempi koko ja paino mutta erillisen laitteen käyttö on helpompaa. (Scansonic IPT GmbH, 2018)

#### 4.3 Robottihitsauksen tulevaisuus

Robotin ohjelmointi on aikaa vievä tehtävä varsinkin tuotteiden jatkuvasti muuttuessa. Robottien joustavuuden ja tehokkuuden kehittämiseksi on tutkittu keinoja, joilla robotin opettamisen voisi kokenaan ohittaa. Robotti voi jo nyt sopeutua pieniin eroavaisuuksiin railonhaulla ja railon seurannalla mutta se pitää silti ohjelmoida erikseen jokaista erilaista kappaletta varten ja siksi on keksitty tapoja, joilla robotti pystyy havaitsemaan kappaleen niin tarkasti, että kappaleelle voidaan luoda hitsausohjelma automatisoidusti. (Tarn;Chen;& Fang, 2011, s. 23)

Robottihitsauksen joustavuutta voi kehittää esimerkiksi käyttämällä laserskanneria ja kuvantamista. Telakoilla robottihitsataan valtava määrä erikokoisia paneeleita. Suurimmat niistä ovat 16 x 4 metriä ja erilaisia malleja noin 20. Hitsausohjelmia on hyvin paljon paneelien monien eri kokojen takia ja etäohjelmointi on aloitettava viikkoja etukäteen kun samalla paneelien mitat muuttuvat usein ohjelmoinnin aikana. Ongelman ratkaisuksi kehitettiin laserskanneri, joka loi paneeleista 3D-mallin ja teki sen pohjalta sille hitsausohjelman alle kolmessa minuutissa. Ohjelman tarkkuus osoittautui olevan  $\pm 0,5$  mm, joka on helposti korjattavissa railonhaulla ja -seurannalla. (Tarn;Chen;& Fang, 2011, s. 15)

Hitsausrobotteja rajoittaa myös niiden ulottuvuus. Useimmat robotit ovat pultattu paikalleen ilman mahdollisuutta liikkua ja pitkälläkin radoilla liikkuvat robotit ovat silti rajoitettu liikkumaan niiden ratojen rajoissa. Tutkimusmielessä on kehitetty pyörillä liikkuvia hitsausrobotteja, jotka ovat varustettu erilaisilla sensoreilla, esimerkiksi hitsisulaa tarkkailevalla kameralla, hitsausprosessinhallinnalla sekä konekuulolla. Näiden sensorien avulla robotti pystyy ennustamaan hitsin tunkeumaa sekä seuraamaan hitsisulaa. Robotti tarvitsee myös konenäön, jolla se voi luoda hitsausohjelmia sekä näkee ympärilleen. Liikkumista voi ennestään auttaa erillinen "jalka", jolla robotti voi nostaa itseään pienten esteiden yli. (Tarn;Chen;& Fang, 2011, s. 3)

## 5 TIG-HITSAUS

TIG-hitsauksessa luodaan valokaari sulamattoman volframielektrodin ja hitsattavan kappaleen välille. Elektrodi ja hitsisulaa suojataan inertillä kaasulla (yleensä argon), josta tulee hitsausprosessin nimi, Tungsten Inert Gas Arc Welding. Yhdysvalloissa prosessi tunnetaan paremmin nimellä GTAW, Gas Tungsten Arc Welding. Toisin kuin MIG/MAG-hitsausta, TIG-hitsausta voidaan tehdä myös ilman lisäainetta. Käsinhitsauksessa lisäainelankaa työnnetään toisella kädellä hitsisulaan, jolloin se sulaa tiipoittain hitsisulan sekaan. Automatisoidussa TIG-hitsauksessa langansyötön tekee erillinen langansyöttölaite. TIG-hitsauksen edut ovat hyvin säädettävä lämmöntuonti, hyvä tunkeuman ja sulan hallinta, lisäaineettoman hitsauksen mahdollisuus sekä puhtaus, niin metallurgisesti kuin kuonattomuuden kannalta. TIG-hitsaus on myös helppo mekanisoida, minkä vuoksi se on suosittu esimerkiksi orbitaalihitsauksessa. (ESAB, 2018)

TIG-hitsaus soveltuu lähes kaikille materiaaleille ja kaikkiin hitsausasentoihin mutta sitä käytetään tyypillisesti laadullisesti hyvin vaativissa kohteissa kuten putkissa, lämmönvaihtimissa ja paineastioissa. Prosessi soveltuu myös erittäin hyvin ohutlevyjen ja pienien työkappaleiden hitsaukseen, minkä vuoksi se on suosittu elektroniikkateollisuudessa. (AGA Oy, 2018)

TIG-hitsausta ei kuitenkaan käytetä kaikkeen hitsaukseen koska se on varsinkin paksuilla perusaineilla hidasta. Sen lisäksi TIG-hitsaus on arka vedolle ja epäpuhtauksille. Suojakaasu ei myöskään riitä hitsin juuripuolelle, jonka lämpötila nousee yli hapettumislämpötilan. Ruostumaton teräs ja titaani on suojattava juuripuolelta joko juuriteipillä, -tuella, -tahnalla tai erillisellä juurikaasulla, muuten juuren puolelle syntyy korroosionkestävyyttä heikentävä oksidikerros. (Lepola & Ylikangas, 2016)

### 5.1 TIG-pulssihitsaus

TIG-pulssihitsaus on kehitetty helpottamaan entisestään lämmöntuonnin hallintaa. Yhden tasaisen ampeerimäärän sijaan TIG-pulssihitsauksessa voidaan määrittää kaksi erisuuruista hitsausvirtaa sekä pulssiaika ja tauko aika. Hitsausvirta vaihtelee pulssivirran ja perusvirran välillä niin, että pulssivaiheessa syntyy hitsisula sekä tunkeuma ja perusvirtavaiheessa sula jäähtyy. TIG-pulssihitsauksella voidaan saavuttaa pienemmällä lämmöntuonnilla sama tunkeuma kuin normaalissa TIG-hitsauksessa. Perusvirta on yleensä 10 - 50 % pulssivirrasta ja käsinhitsauksessa pulsseja tulee yleensä vain 1 – 10 sekunnissa. TIG-pulssihitsausta käytetään usein ruostumattoman teräksen hitsauksessa sekä lämmöntuonnin suhteen vaativissa kohteissa kuten ohuiden materiaalien hitsauksessa sekä eripaksuisten materiaalien yhteen hitsaamisessa. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s. 352)

Mekanisoidussa hitsauksessa käytetään myös TIG-pulssihitsausta mutta tuottavuuden lisäämiseksi pulssitaajuutta on nostettu käsinhitsauksen 1 – 10 Hz:stä jopa 20 kHz:in asti. Korkeataajuisella pulssituksella saavutetaan korkea kaaripaine, joka parantaa tunkeumaa ja samalla hitsausnopeutta. Parantuneen tunkeuman epäillään johtuvan korkeataajuisen pulssin aiheuttamista sähkömagneettisista voimista valokaarissa ja hitsisulassa. Mekanisoidun TIG-hitsauksen tuottavuutta voidaan parantaa

myös lisäämällä koneellinen lisäainelangan syöttö, joka on suositeltavaa esimerkiksi paksuseinäisiä putkia hitsatessa. Lisäainelankaa voidaan syöttää joko kylmänä tai kuumana lämmittämällä sitä sähkövirralla. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s. 353)

## 5.2 MicroTack

MicroTack on Kempin kehittämä silloitusmenetelmä ohutlevyille. Se on kehitetty erityisesti ruostumattomaa ja niukkaseosteista terästä sekä titaania mielessä pitäen ja toimii aina hienotyöstösovelluksista 4 mm paksuun materiaaliin asti. MicroTackin idea on hyvin lyhyt mutta tehokas virtapulssi, joka sulattaa levyt yhteen minimaalisella lämmöntuonnilla. MicroTack on hyvin helppo, nopea ja siisti silloituskeino, muttei toimi ilmarakojen kanssa, joten railo on esivalmisteltava hyvin. (Lepola & Ylikangas, 2016)

## 5.3 TIP TIG

TIP TIG on yksi monesta kuumalanka-TIG-hitsaustekniikasta, joilla on pyritty parantamaan TIG-hitsauksen nopeutta ja tuottavuutta. TIP TIGin ero normaaliin TIG-hitsaukseen on jatkuva langansyöttö, jonka sulamisnopeutta parannetaan lämmittämällä sitä erillisellä sähkövirralla. Langansyöttölaite myös täristää lankaa, jonka tarkoitus on poistaa hitsisulasta huokoisuutta aiheuttavia kaasuja. Hitsauksen nopeutta kasvattamalla TIP TIG säästää työtunteja sekä kaasun kulutusta. Hitsaajan kaariaika myös lyhenee, joka tarkoittaa lyhyempää altistusta metallikaasuille ja lyhyempiä aikoja hitsausasennossa. TIP TIG lupaa säästöjä myös käyttämällä halvempaa MIG/MAG-lankaa syöttölaitteessaan sekä vähentämällä railon esivalmistelu-aikaa. (TIP TIG, 2018)

## 6 CMT-HITSAUS

Cold Metal Transfer (CMT) on Froniuksen vuonna 2004 kehittämä hitsaustekniikka. Tavallisesta MIG/MAG-hitsauksesta se eroaa langansyöttötekniikallaan ja nopealla digitaalisella prosessinhallinnalla. CMT-prosessissa lisäainelankaa vedetään sisään kun virtalähde havaitsee oikosulun. Tämä laskee virran lähelle nolaa lisäainepisaran irrotessa, joka laskee lämmöntuontia merkittävästi. Matalan lämmöntuonnin ansiosta CMT soveltuu hyvin ohutlevyihin, alumiiniin ja erilaisten materiaalien yhteen hitsaamiseen. (Selvi; Vishvaksenan; & Rajasekar, 2018) CMT Advanced eroaa normaalista CMT-prosessista vaihtamalla kaaren polaarisuutta havaitessaan oikosulun kun tavallinen CMT vain laskisi virran lähelle nolaa nostamalla lisäainelankaa. Säättämällä polaarisuuden tasapainoa voidaan säästää lämmöntuontia entistäkin tarkemmin ja nostaa tuottavuutta, tarkkuutta ja vakautta. (Fronius International GmbH, 2013)



Kuva 3: CMT-virtalähteen kauko-ohjausyksikkö

## 6.1 Säädot

CMT-virtalähteessä ei säädetä suoraan hitsausvirtaa tai –jännitettä, vaan langansyöttönopeutta, valokaaren pituutta ja pulssin korjausta. CMT Advanced –tilassa säädetään pulssin korjauksen sijaan EP/EN-tasapainoa, sillä virtalähde vaihtaa CMTA-tilassa napaisuutta havaitessaan oikosulun. Säädetytkin arvot elävät hieman hitsauksen aikana, esimerkiksi langansyötön nopeus riippuu siitä, kuinka pitkiä CMT-sykliä ja niiden eri vaiheet ovat. Hitsauksen jälkeen virtalähteen kauko-ohjausyksikkö näyttää keskimääräiset virta- ja syöttöarvot näytöllään ja kytkemällä virtalähteen tietokoneeseen voi saada taulukkomuodossa kaikki mitatut arvot, jotka virtalähde on tallentanut hitsauksen aikana. Taulukossa 1 on listattu eri säätöjen vaikutuksia.

Taulukko 1: CMT-virtalähteen säädettävät arvot (Fronius International GmbH, 2013)

	<b>Vaikutus säätäessä ylös</b>	<b>Vaikutus säätäessä alas</b>
<b>Langansyöttönopeus</b>	Korkeampi hitsausvirta ja –jännite, lisää lämmöntuontia ja tunkeumaa.	Matalampi hitsausvirta ja –jännite, vähemmän lämmöntuontia ja tunkeumaa.
<b>Valokaaren pituuden säätö</b>	Langansyöttö hitaampaa palovaiheen aikana. Pidempi palovaihe, lisäaine irtoaa harvemmin.	Langansyöttö nopeampaa palovaiheen aikana. Lyhyempi palovaihe, lisäaine irtoaa useammin.
<b>Pulssin korjaus (CMT)</b>	Lisää pulssienergiaa. Pulssivaiheen virta ja pulssin kesto kasvavat	Vähemmän pulssienergiaa. Pulssivaiheen virta ja kesto pienenevät.
<b>EP/EN-Balance (CMTA)</b>	Enemmän positiivisia syklejä, vähemmän negatiivisia. Suurempi lämmöntuonti.	Enemmän negatiivisia syklejä, vähemmän positiivisia. Pienempi lämmöntuonti.



## 6.2 CMT:n edut

CMT kehitettiin vähentämään suosituksen MIG/MAG-prosessin lämmöntuontia, että sitä voitaisiin käyttää ohuempiin tai muuten lämmölle herkempiin materiaaleihin. Pienempi lämmöntuonti vähentää roiskeita sekä lämpömuodonmuutoksia, joka taas vähentää viimeistelytyön määrää ja lisää tehokkuutta. Lämmöntuonnin vähentäminen voi poistaa myös tarpeen juurisuojoille ja jäähdytyslevyille, jolloin hitsaus vaatii vähemmän aikaa vievää valmistelua. (Eder, 2010)

CMT mahdollistaa myös halvempien suojakaasujen käytön niukkaseosteisen teräksen kanssa. Tarkan prosessinhallinnan ansiosta hitsauksessa voidaan käyttää 100 % CO<sub>2</sub>-suojaakaasua tavanomaisen argonpohjaisen suojakaasuseoksen sijaan. Hiilidioksidi on 70 % halvempaa kuin tavallinen 92 % Ar + 8 % CO<sub>2</sub> -seoskaasu ja seoskaasuja raskaampana kaasuna se suojaa hitsiä riittävästi myös pienemmillä virtausnopeuksilla. Hintaa ja kulutusta pienentämällä se voi säästää tuotannossa helposti tuhansia euroja vuodessa. (SHY ry, 2012) CO<sub>2</sub>-suojaakaasu myös parantaa tunkeumaa. Kompromisseja joudutaan kuitenkin tekemään, sillä seoskaasuun verrattuna se tuottaa enemmän roiskeita ja kuonaa sekä karheamman hitsipalon, joka lisää viimeistelyn määrää. (Fronius International GmbH, 2013)

Tavallisessa MIG/MAG-prosessissa valokaaren pituus määritetään jännitteen avulla. Tästä tulee ongelma, kun kaikki oksidikerrokset ja epäpuhtaudet vaikuttavat mitattuihin arvoihin eikä valokaaren pituus pysy välttämättä vakiona. CMT-prosessissa valokaaren pituus määritetään lisäainelangan liikkeen avulla eivätkä ulkoiset muuttujat vaikuta siihen. (Fronius International GmbH, 2013)

## 7 MENETELMÄTESTAUS

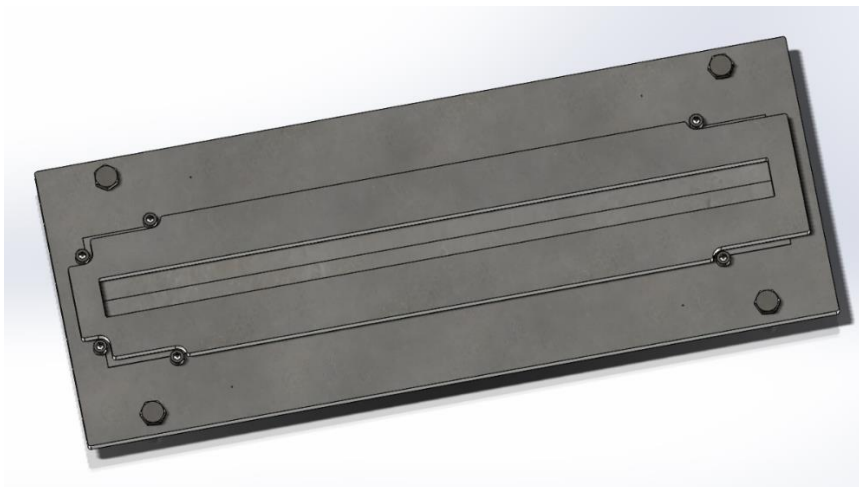
Opinnäytetyön ensimmäinen vaihe oli selvittää sopivimmat hitsausparametrit kammion materiaalille. Tähän tarkoitukseen päätettiin valmistaa 500 x 50 x 0,7 mm testipaloja, jotka ovat tehty samasta materiaalista kuin pesukammio. Osassa testikappaleista on pieniä (0,3 mm ja 0,4 mm) nystyjä, joilla saadaan aikaan vakiokokoinen ilmarako kappaleiden välille.

- Robotti: ABB IRB 1600-6/1.45 kuusiakselinen robotti (M2004)
- Käsittelypöytä: ABB IRBP A-500 L-pöytä, maks. 500 kg (M2004)
- Virtalähde: Fronius CMT Advanced 4000 R
- Suojakaasu: AGA Mison<sup>®</sup>2 (Ar + 2 % CO<sub>2</sub> + 0,03 % NO)
- Perusaine: EN10088-1.4307 / X2CrNi18-9 (Posco Assan TST, 2018)
- Lisäainelanka: CrNi 18 8, halkaisija 1 mm

### 7.1 Hitsauskiinnitin

Menetelmätestauksen nopeuttamiseksi päätettiin suunnitella ja valmistaa hitsauskiinnitin, joka pitää hitsattavat koekappaleet aina samassa paikassa ja painettuna tasaiseksi, ettei lämpölaajeneminen

käyristä niitä hitsauksen aikana. Testit voi myös tehdä aina samalla ohjelmalla niin kauan kuin kappaleet ovat täsmälleen samassa paikassa, joka säästää paljon aikaa ja parantaa kokeiden toistettavuutta ja luotettavuutta.



Kuva 4: Hitsauskiinnittimen kokoonpano SolidWorksissa

Pohjalevyssä on rako testikappaleiden alla, etteivät ne hitsaudu jigiin kiinni sekä 12 mm reiät M10-pulteille, joilla se kiinnittyy robotin käsittelypöytään. Pohjalevyssä on myös kierteelliset reiät M6-paikoituspulteille sekä M10-reiät, mihin puristimet kiinnitetään. SolidWorksissa kyseisiä reikiä ei vielä näy, sillä SolidWorksin malli tehtiin hitsauslaboratorion plasmaleikkuria varten, joka teki vain paikoitusmerkit rei'ille. Reiät porattiin ja kierteytettiin jälkikäteen suoruuden varmistamiseksi. Painolevy yksinkertaisesti väistää paikoituspultit ja se painetaan puristimilla testikappaleiden päälle.



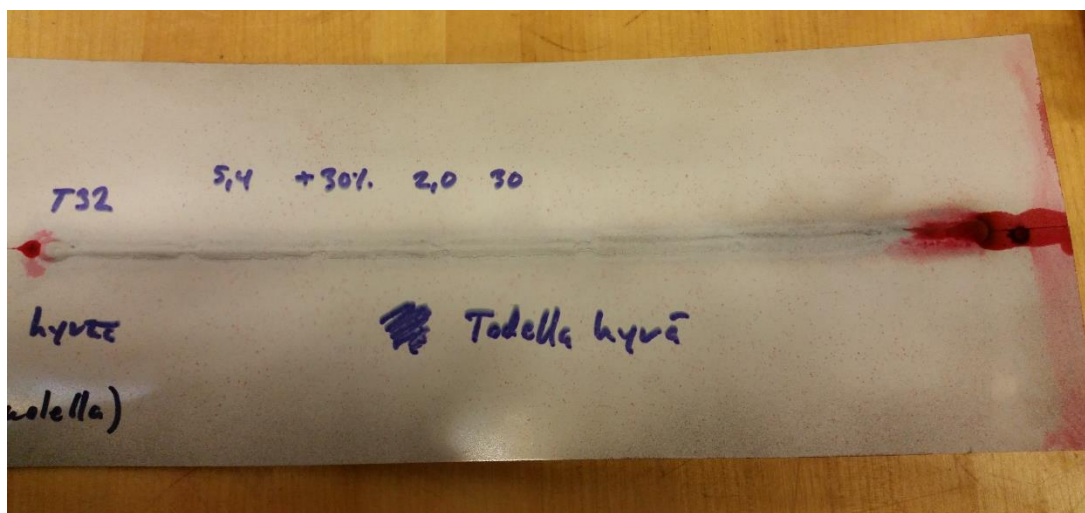
Kuva 5: Testipalat asemoituna valmiiseen jigiin

## 7.2 Parametritestit

Testipalojen ja ajan säästämiseksi robotille tehtiin kaksi ohjelmaa: franke\_jigipuoli1.mod ja franke\_jigipuoli2.mod. Testin 8 jälkeen tämä osoittautui hyväksi päätökseksi, sillä silloin selvisi, että testipalat on silloitettava toisiinsa kiinni. Jos testipaloja ei silloiteta, ne vääntyilevät jigipainanakin tarpeeksi muodostaakseen levyjen välille korkeuseroja, jotka aiheuttavat hitsiin kookkaita reikiä. Laboratoriomestari silloitti yhden testikappaleparin MicroTackilla ja opasti sen käytön.

Testeissä tärkeintä ei ollut hitsipalko vaan hitsin juuri, sille se puoli olisi pesukammion sisällä. Hitsin vetiiviyys ja sileys olivat erittäin tärkeitä, sillä pesukammio ei saa vuotaa eikä siinä saa olla rosoisia pintoja, joihin voisi jäädä pesimään bakteereita. Testit 13 ja 14 olivat ensimmäisiä läpilyöntejä ja suurin osa testeistä perustui jommankumman arvoihin, vaikka testin 13 arvojen kanssa ei saatukaan haluttuja tuloksia. Viimeisimmät ja parhaat testit perustuivat testin 14 ideaan hitaammasta langansyötöstä ja kuljetusnopeudesta. Kaikki testit arvoineen ja kommentteineen löytyvät liitteestä 1: Hitaustestiarvot.

Kesäkuun lopussa parhaat testikappaleet otettiin mukaan Naarajärven tehtaalle näytettäväksi, näistä tärkeimpinä testin 32 ja testin 40 sisältäneet kappaleet. Kyseiset testit olivat onnistuneet sen verran hyvin, että niille tehtiin ylimääräisiä käsittelyjä. Testi 40 peitattiin, jotta se nähtäisiin ilman hapettumia ja testille 32 tehtiin tunkeumanestetarkastelu vedenpitävyyden osoittamiseksi.



Kuva 6: Testin 32 tunkeumanestetarkastelu

Taulukko 2: Naarajärvellä viedyt testiparit

Testipari	Merkitys
<b>13+14</b>	Testipari, joka loi pohjan lopuille testeille. T13 nopealla langansyötöllä ja kuljetuksella ja T14 hitaammilla.
<b>31+32</b>	T31 ensimmäinen "T14" testi ja T32 tunkeumanestetarkastelu
<b>33+34</b>	Arvojen hienosäätöä, hyvä tulos
<b>35+36</b>	Arvojen hienosäätöä, hyvä tulos
<b>37+38</b>	Kuroumien vertailua T13- ja T14-tyylisten arvojen välillä
<b>39+40</b>	T39 EP/EN-tasapainon vaikutus ja T40 peittäminen
<b>41+42</b>	Hyviä testejä, arvojen hienosäätöä
<b>43+44</b>	Hyviä tuloksia, viimeiset testit palaverin hetkellä.

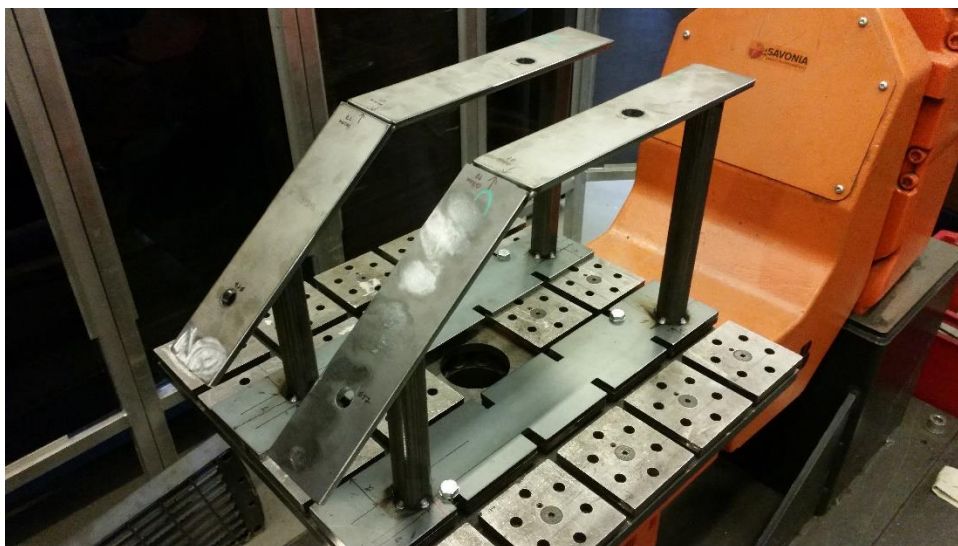
Silloitusten kohdalla olevat kuroumat olivat liian suuri virhe ja TIG-virtalähteen käyttäminen robottihitsauksessa vaikutti todennäköisemmältä. Testejä jatkettiin kuitenkin ilmaraon ja muiden synergia-ikäyrien vaikutuksen selvittämiseksi. C1375-käyrä antoi todella lupaavan tuloksen, jossa yhdistyi parhaiden testien hitsijuuri sekä tasainen, kuroutumaton palko. Hitsipalko oli kuitenkin ohut ja sen jousevuuden ja tunkeuman parantamiseksi on kasvatettava langansyötön nopeutta. Työntävä hitsauskulma on myös mahdollinen ratkaisu.

## 8 PESUKAMMION HITSATTAVUUS

Franke Medical Oy toimitti Savonian hitsauslaboratoriolle opinnäytetyön alkaessa testipalojen lisäksi neljä Deko 190 pesukammion runkoa. Näihin kammioihin oli tarkoitus testata menetelmätestauksessa löytyneitä parhaita arvoja sekä robotin ohjelmoitavuutta ja ulottuvuutta.

### 8.1 Kiinnitin

Kuten testikappaleet aiemmissa testeissä, testattavat pesukammiotkin on pystyttävä asemoimaan ohjelman toistettavuutta varten. Ettei kiinnittimestä tulisi liian monimutkainen, päädyttiin käyttämään pesukammion reikiä sen aseointiin. Samalla kiinnitin tukee pesukammion seinää pitkältä matkalta tehden siitä vakaamman hitsattavan. Toisin kuin testipalojen kiinnittimessä, tämä hitsauskiinnitin suunniteltiin kiinnitettäväksi rakopulteilla, joka osoittautui hyödyksi, kun jigin kahden osan väliä piti säätää.



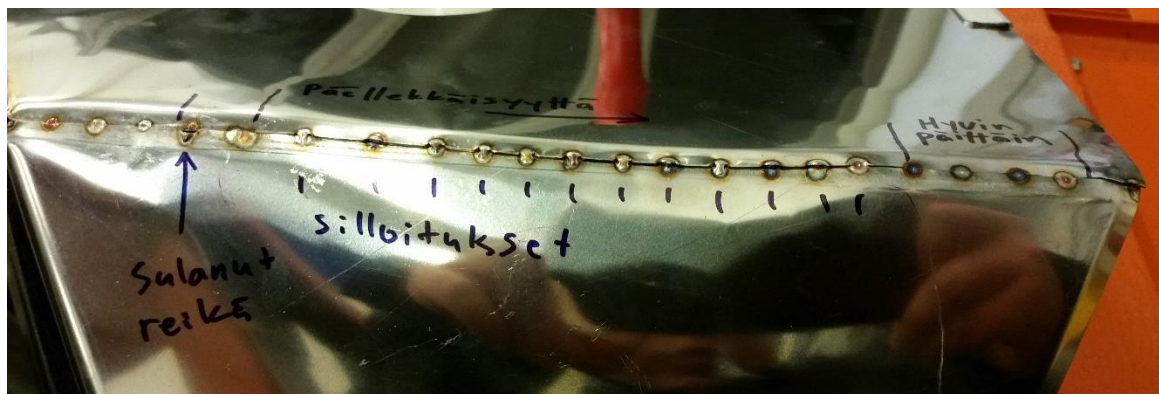
Kuva 7: Pesukammion hitsauskiinnitin kiinnitettynä käsittelypöytään

Kiinnitin on yhteen silloitettua 8 mm teräslevyä ja 30 x 30 neliöputkea ja pesukammio kiinnitetään siihen lyhyillä M16 ja M20 pulteilla muttereineen ja aluslevyineen. Pulttien halkaisija johtuu vain kammion reikien koosta, jotka ovat halkaisijoiltaan 18- ja 20-millisiä.

## 8.2 Hitsaustestit

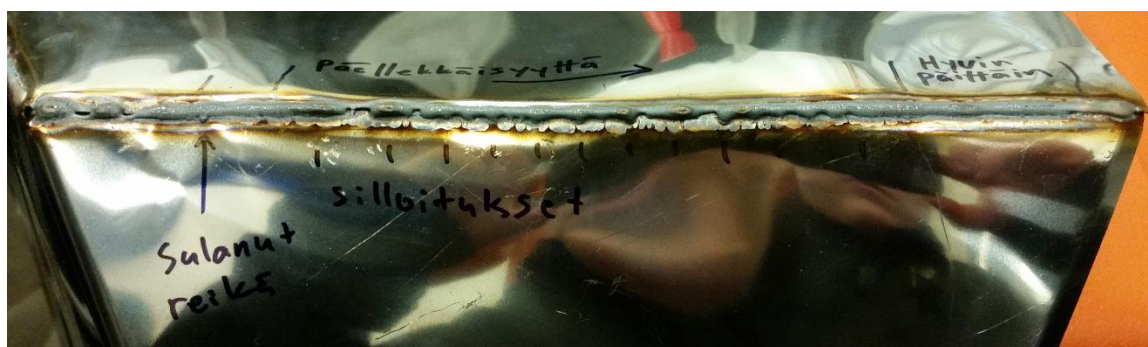
Pesukammioiden hitsausohjelmat `franke_kammio1.mod` ja `franke_kammio2.mod` toteutettiin robotin PathMate-sovelluksella, sillä robotin voimaohjaus ja PathMate nopeuttavat ohjelmoimista huomattavasti. Railonhaku todettiin tarpeettomaksi näin pienessä testierässä, sillä on tehokkaampaa tarkistaa pisteet itse ennen hitsausta. Railonhakukäskyt eivät ole osa PathMatea ja niiden ohjelmointi opetuspaneelin koodieditorissa on hyvin vaivalloista. Kammion hitsauksen ohjelmoinnissa tutkitaan robotin ulottuvuutta sekä hitsauksen luotettavuutta.

Franke Medical toimitti suurimman osan pesukammioista silloittamattomana ja laboratorion tiloissa ei ollut mahdollista silloittaa (MicroTack) kammioita tavalla, joka olisi vastannut tuotannonmukaista laatua. Franke Medical käyttää hitsauskiinnitintensä myös kammion reunojen sovitukseen vasaroi-malla sekä silloitushitsaukseen, joka mahdollistaa paljon paremman sovituksen kuin mihin laboratorion pystytään. CMT:n prosessinseuranta ei osaa käsitellä reikiä ja levyjen päällekkäisyyksiä, joka aiheutti huomattavia hitsausvirheitä. Laboratorion silloitetuista kammioista ei siis voinut saada soveltamiskelpoisia tuloksia. Franke Medical oli jo menetelmätestien jälkeen TIG-robotin kannalla, eikä kammioiden testaamiseen haluttu kuluttaa turhaan aikaa. Valmiiksi silloitetuista kammioista päätettiin kuitenkin tutkia, että kuinka erilaiset sovituserheet vaikuttavat hitsiin.



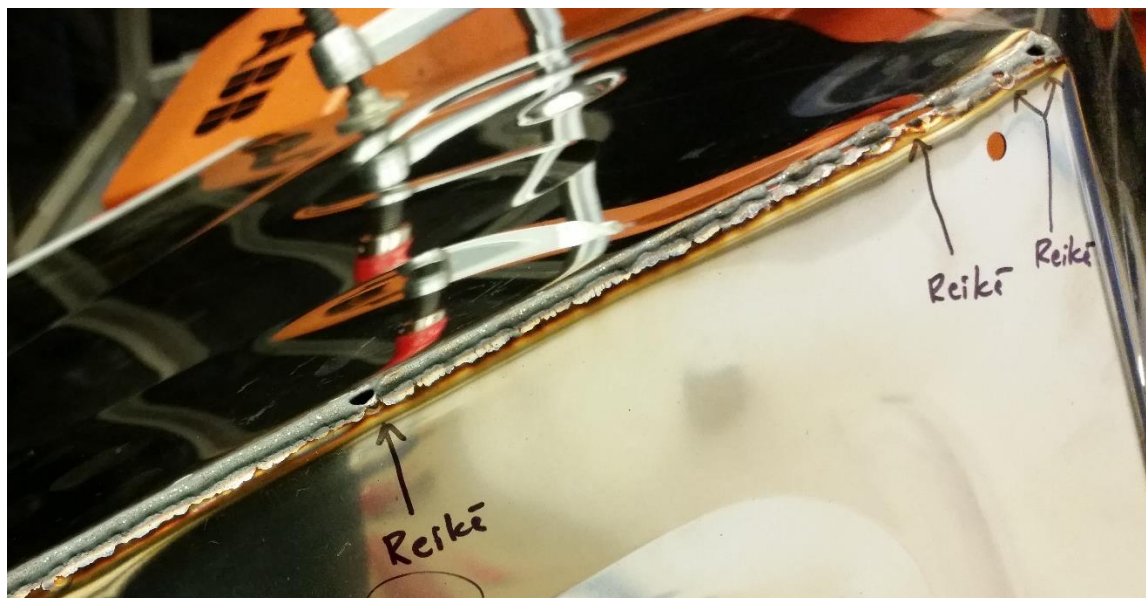
Kuva 8: Laboratoriolla silloitettu kammio ennen hitsausta

Franke Medical silloittaa pesukammiot hitsauskiinnittimensä avulla, jota vasten levyn osat on helppo saada toisiaan vasten ja silloittaa MicroTackilla yhteen. Hitsauslaboratoriolla ei ollut kammiolle muuta tukea kuin pöytä ja hitsaajan vasen käsi, ja sovitus onnistui sen mukaisesti. Franke Medicalin silloituksia on myös tekemässä ammattihitsaaja.



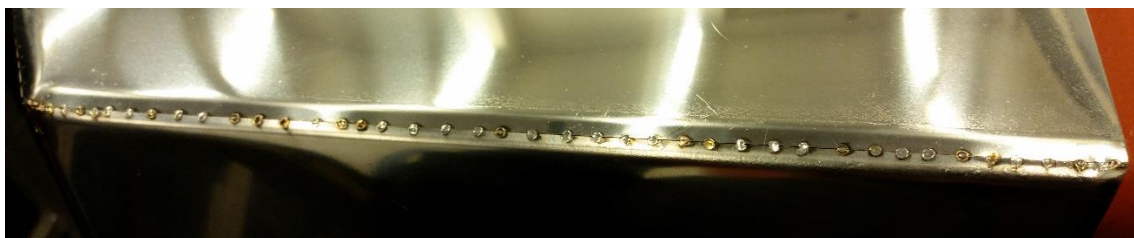
Kuva 9: Kuvan 8 kohta hitsauksen jälkeen

Huono sovitus aiheuttaa jatkuvasti poikkeamia virta-arvoissa, joita CMT:n prosessinhallinta yrittää korjata väärällä tavalla. Kuvassa 9 hitsipalko on korkea, epätasainen kiemura, jossa on useammassa kohdassa reikiäkin. On helppo huomata, miten palko kiemurtelee koko päällekkäiseksi merkityn kohdan ajan ja sitten muuttuu tasaiseksi ja jouhevaksi kun "hyvin päittäin" kohta alkaa. Mielenkiintoista kyllä, silloittaessa syntynyt reikä umpeutui tässä hitsissä, kun taas hitsaus loi uusia reikiä. Myöhemmissä testeissä reiät aiheuttivat vain suurempia reikiä.

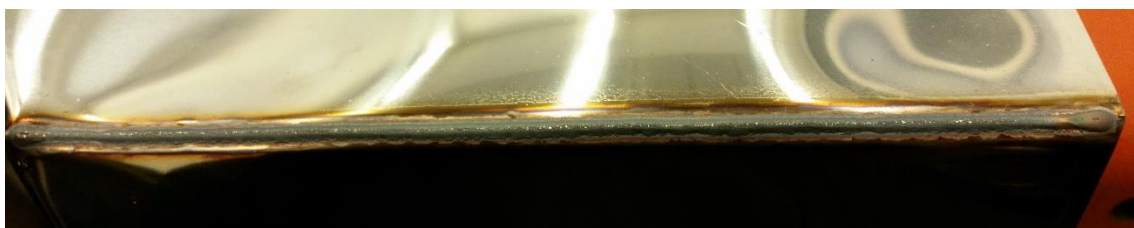


Kuva 10: Toinen hitsi labralla silloitetusta kammioista. "Reikä"-merkit silloituksesta.

Hitsausvirheitä ei voi selittää huonolla sovituksella, ellei hyvällä sovituksella saada aikaan parempia tuloksia. Onneksi yksi toimitetuista kammioista oli Franke Medicalin silloittama ja sitä oletettiin pystyväksi testaamaan.



Kuva 11: Franke Medicalin MicroTack-silloitusta



Kuva 12: Kuvan 11 kohta hitsattuna

Kuvissa 11 ja 12 näkyvä kohta oli ainoa täysin reiätön hitsi mitä testikammioihin hitsattiin, mukaan lukien Franke Medicalin silloittama kammio. Se kuitenkin osoittaa, että CMT Advanced pystyy hitsaamaan tällaisia kammion kulmia onnistuneesti niin kauan kuin sovitus on täydellinen. Se kuitenkin tekee liian usein pienistä virheistä suuria eikä siksi ole luotettava vaihtoehto TIG-hitsaukselle. CMT-hitsauksen mahdollistamiseksi olisi uudistettava sovitusta niin, että kaikki kammion kulmat luotettavasti vastaisivat kuvaa 11.

## 9 KUSTANNUSARVIO

### 9.1 Nykytilanne

Tällä hetkellä Franke Medical Oy hitsaa pesukammiot TIG-laitteistolla käsin. Lisäainetta kuluu erittäin vähän, sillä sitä käytetään vain kammion hitsattavien nurkkien täyttämiseen. Toisaalta TIG-hitsauksessa käytettävä argon-kaasu on kallista. Tarkimmat arvot nykytilanteesta saadaan luonnollisesti yritykseltä itseltään, joten Franke Medical selvitti ne kustannusarviota varten. Lisäaineen kulutus, hitsauspituus sekä sähkön kulutus on laskettu keskimääräisellä 700 pesukammion vuosituotannolla, annetut arvot olivat yhdelle pesukammioille.

Taulukko 3: Käsinhitsauksen kustannukset (Franke Medical Oy, 2018)

Kammioiden määrä	700	kpl/a
Lisäaineen kulutus	0,003	kg/kammio
Hitsauspituus	1,99	m/kammio
Lisäaineen ostohinta	8,90	€/kg
Suojakaasun ostohinta	5,60	€/m <sup>3</sup>
Energian ostohinta	0,043	€/kWh
Työtunnin hinta	43	€/h
Kaasun kulutus	10	l/min
Sähkön kulutus (laskennallinen)	5	kWh/kammio
Hitsiaineen tuotto	0,01	kg/h
Hitsausaika	30	min/kpl
Työaika	90	min/kpl
TIG-pisteen hankintahinta	4 000	€

Kustannusarviota varten oli alun perin tarkoitus käyttää valmista laskentapohjaa, mutta pohja oli tehty MIG/MAG-hitsaukselle eikä ollut edes sovellettavissa TIG-hitsaukseen, niin kuin toivottiin. Kaikki tärkeimmät kaavat olivat riippuvaisia joko lisäaineen kulutuksesta tai hitsiaineen tuotosta ja se väärästi lisäaineettoman TIG-hitsauksen tuloksia valtavasti. TIG-hitsauksen kustannusarviointi vaati-kin uusia arvoja ja kaavoja.

Yksittäisen kammion hinta saadaan jakamalla taulukon 4 summat kammioiden määrällä ja tulokseksi saadaan 66,42 euroa per kammio. Suurin osa kammion valmistuksen juoksevista kustannuksista tulee hitsaajan työajasta, jota säästämällä robotti voi tehdä itsensä kannattavaksi.



Taulukko 4: Käsinhitsauksen lasketut vuosikustannukset

Kaasun hinta = ostohinta * kulutus/min * hitsausaika * kammioiden määrä	1 176	€/a
Lisäaineen hinta = ostohinta * lisäaineen kulutus * kammioiden määrä	18,69	€/a
Sähkön hinta = Sähkön ostohinta * kWh/kammio * kammioiden määrä	150,50	€/a
Palkkakustannukset (kammio) = työtunnin hinta * työaika per kammio * kammioiden määrä	45 150,00	€/a
<b>Yhteensä</b>	<b>46 495,19</b>	<b>€/a</b>

## 9.2 Robottihitsauksen kustannukset

Robottihitsauksen suurin kustannus on robottisolun hankintahinta, joten kustannusarvio alkoi ottamalla yhteyttä robottivalmistajiin ja kysymällä tarjouksia. Hinta-arvioita kysyttiin myös hitsausvirtalähteistä niiden valmistajilta mutta tämä osoittautui turhaksi, sillä robottivalmistajat myyvät solunsa yleensä avaimet käteen –periaatteella ja ne sisältävät kaiken tarvittavan, koulutus mukaan lukien. Ymmärrettävistä syistä, sillä kaikkien solun komponenttien yhdistäminen asiakasyrityksen voimin veisi valtavasti aikaa ja tietotaitoa, jota robottivalmistajalla on paljon enemmän.

Robottivalmistajat tarvitsevat paljon tietoa hitsattavista tuotteista ja tuotantotiloista antaakseen tarkan arvion tarvittavasta laitteistosta. Tietoa oli vähemmän annettavana kuin valmistajat olisivat voineet toivoa, mutta molemmilta valmistajilta saatiin tarjoukset hitsaussoluista. Robottijärjestelmän toimittaja X antoi hintahaarukat ja kilpaileva toimittaja Y antoi tarkan hinnan ja tuotetiedot luottamuksellisena tarjouksena. (Kokonaissumman ja tuotteet ilman mallinimiä voi julkaista, kunhan niitä ei voida yhdistää kyseiseen yritykseen tai sen tuotevalikoimaan.) Robottijärjestelmän toimittaja Y:n tarjous solusta oli 130 600 euroa, johon sisältyi myös optinen railonseuranta.

Taulukko 5: Robottijärjestelmätoimittaja X:n hintahaarukat

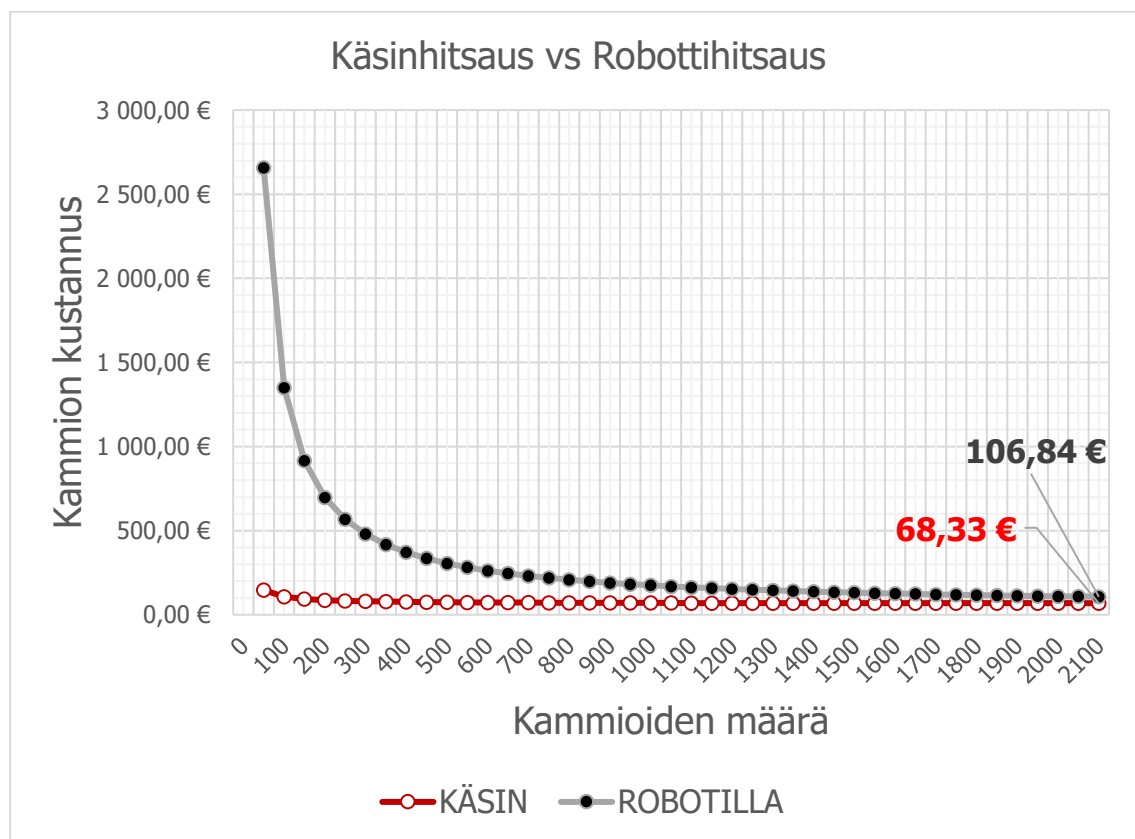
Robotti + hitsauslaitteisto	45 000 – 60 000 €
Käsittelylaite + turvalaitteet	15 000 – 35 000 €
Ohjelmointi, käyttöönotto ja koulutus	10 000 – 20 000 €
Suojaseinät	5 000 – 8 000 €

ABB on ilmoittanut robottinsa sähkönkulutukseksi 0,6 kW maksimirasituksella, joten kammiokoh-taiseksi sähkönkulutukseksi voidaan arvioida noin 0,25 kWh per kammio 25 minuutin hitsausajalla. (ABB Oy, 2018)

## 9.3 Vertailu

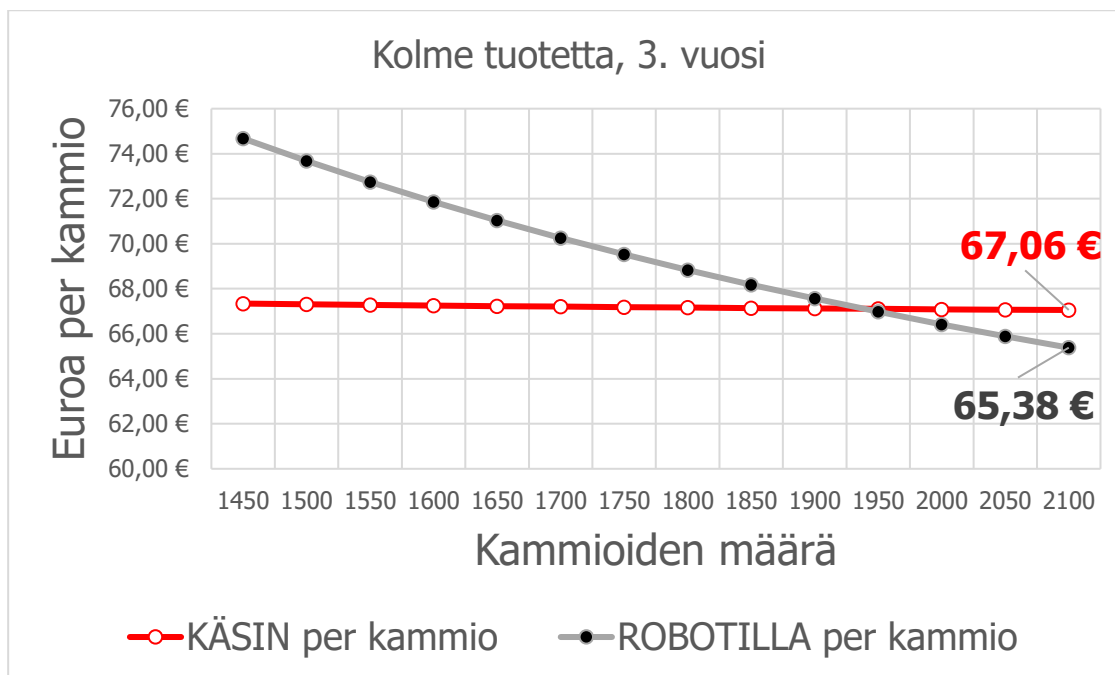
Avainkysymys käsinhitsausta ja robottihitsausta verratessa on se, että maksaako robottisolu korkean hankintahintansa takaisin vähentyneinä palkkakustannuksina. Palkkakustannukset tietysti vähenevät vain tuotekohtaisesti laskettuna, sillä hitsaaja saa samaa palkkaa kuin ennenkin. Robottihitsauksen ajaksi hän vapautuu tekemään ihmiselle soveltuvampaa työtä, kuten esimerkiksi silloitus- tai korjaushitsausta.

Käsinhitsauksen juokseviksi kustannuksiksi laskettiin aiemmin 66,42 euroa per kammio. Robotin juoksevat kustannukset eroavat tästä vähentämällä hitsaajan 90 minuutin työajasta 30 minuuttia. Sen tilalle tulee vain robotin sähkönkulutus, joka arvioitiin noin 0,25 kWh:ksi yhden kammion hitsauksen aikana. Oikea kulutus on kuitenkin todennäköisesti paljon pienempi, sillä arvo on laskettu robotin maksimikulutuksen mukaan. Robottihitsatun kammion kustannukseksi tuleekin vain 44,65 euroa, noin kaksi kolmasosaa käsinhitsatun kammion kustannuksista.



Kaavio 2: Yhden kammion hinta hankinnat mukaan lukien, Deko 190

Paljon matalimmista juoksevista kustannuksista huolimatta robottihitsauksesta ei tule kannattavaa kolmen vuoden aikana pelkkiä Deko 190 –kammioita hitsaamalla. Robottia luonnollisesti ei tulla käyttämään vain yhteen tuotteeseen, joten on syytä arvioida kammioiden hintoja kun sitä käytetään useamman eri tuotteen hitsaamiseen. Opinnäytetyön rajaamisen ja ajansäästön vuoksi muiden tuotteiden juoksevat kustannukset ja määrä oletetaan samoiksi kuin Deko 190:n.



Kaavio 3: Kustannus per kammio, kolme tuotetta

Kolmea eri tuotetta hitsaamalla robotti alittaa käsinhitsauskustannukset kolmantena vuonna investoinnista kun jokaista tuotetta tehdään noin 700 vuodessa. Kun kallista työaikaa päästään vähentämään useasta tuotteesta samalla kun investointi jaetaan usealle tuotteelle, robottihitsattujen kammioiden yksikköhinta laskee nopeammin kuin käsinhitsattujen. Kun siirrytään 2050 kpl:n erästä kolmea eri tuotetta 2100:n, on käsinhitsauksen kappalehinta laskenut yhden sentin kun robottihitsatun tuotteen valmistuksen hinta on laskenut 50 senttiä.

Taulukko 6: Tuotteiden määrän merkitys, hinta per tuote

kpl (per tuote)	Yksi tuote (Deko 190)	Kaksi tuotetta	Kolme tuotetta
<b>700</b>	231,22 €	137,94 €	106,84 €
<b>1400</b>	137,94 €	91,30 €	75,75 €
<b>2050</b>	108,36 €	76,51 €	65,89 €
<b>2100</b>	106,84 €	75,75 €	65,38 €

Franke Medical Oy voi nostaa robotin käyttöastetta myös käyttämällä etäohjelmointia. Ohjelmoitavien tuotteiden määrän ja ohjelmointiajan kasvaessa etäohjelmoinnista tulee kannattavampaa. Ohjelmisto on luonnollisesti investointi erikseen, ellei robottivalmistaja sisällytä omaa OLP-ohjelmaansa tarjoukseen. Etäohjelmoinnin hyötynä on tuotantoajan säästämisen lisäksi myös ohjelmien simuloiminen ilman vaaraa robotin törmäämisestä. Robottivalmistajien lisäksi etäohjelmointiohjelmaa tekevät myös monet itsenäiset ohjelmistokehittäjät kuten suomalainen Delfoi.

## 10 TYÖN TULOKSET

### 10.1 Menetelmätestit

Menetelmätesteissä selvisi, että hitsistä saadaan vedenpitävä ja silloitusten aiheuttamista kuroutumista päästään eroon kun käytetään CMT Advancedin C-1375 synergikäyriä C-1385:n sijaan. CMT Advancedilla ei päästy hitsin juuresta jälkeen, joka olisi kilpaillut TIG-hitsauksen kanssa. Hitsin juuri ei yleensä sulanut kunnolla tai sitten suli epätasaisemmin kuin TIG:illä hitsatessa. Kammiotesteissä havaittiin, että taulukon 7 arvoilla juuri ei täysin sulanut 30 mm/s kuljetusnopeudella mutta oli sulanut epätasaiseksi 29 mm/s. Optimaalinen kuljetusnopeus löytyy todennäköisesti siltä väliltä. Materiaalin kanssa parhaiten toimivat parametrit ovat seuraavan taulukon mukaiset:

Taulukko 7: CMT Advanced parametrit 0,7 mm ruostumattomalle teräkselle

Langansyöttönopeus	Vapaalangan pituuden säätö	EP/EN -Balance	Kuljetusnopeus	Synergia-käyrä
6,0 mm/min	+30 %	+3,0 – +5,0	29 - 30 mm/s	C-1375

### 10.2 Kammiotestit

Kammiotestit osoittivat CMT:n herkkyyden sovitusrvirheille. Robotin ohjelmoiminen kammion hitsaukseen oli kuitenkin helppoa. Näiden tulosten pohjalta Franke Medical päätyi lopullisesti valitsemaan TIG-robotin. Kammiotestien jälkeen kuvattiin myös video molemmista kammiotestiohjelmista demonstroimaan robotin liikeratoja. Videot kuvattiin opetusmoodissa, joten robotin ilmaliikkeet olivat vain murto-osa sen täydestä nopeudesta automaatiomoodissa. Hitsausnopeus opetusmoodissa kuitenkin vastaa todellisuutta.

### 10.3 Kustannusarvio

Käsinhitsaukselle saatiin laskettua vuosikustannus sekä yhden kammion valmistuksen juoksevat kustannukset. Vuosikustannukset olivat 46 500 euroa ja yhden kammion valmistuskustannukset olivat 66,42 €. Kustannusarviota varten kerätyistä tiedoista voi myös olla hyötyä jatkossa muissa kustannuslaskelmissa. Robottisolusta saatiin kahdelta valmistajalta tarjous. Robottijärjestelmän toimittaja X arvioi sen maksavan 80 000 – 120 000 euroa ja toimittaja Y antoi tarjouksen 130 600 euroa maksavasta solusta. Laskelmien mukaan robotista pitäisi tulla kannattava kolmantena vuonna investoinista kun sillä hitsataan vähintään kolmea eri tuotetta.

## 11 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Franke Medical Oy:lle heidän Deko 190 –desinfiointikoneensa pesukammion hitsauksen robotisointia CMT-virtalähteellä. Tähän asti kyseiset pesukammiot on hitsattu käsin TIG-koneella, enimmäkseen ilman lisäainetta. Aloituspäätöksen jälkeen opinnäytetyö alkoi hitsausparametrien hakemisella, käyttäen Franke Medicalin valmistamia testikappaleita. Testeissä oli toistuvana ongelmana hitsipalon kuroutuminen silloitusten kohdalla, joka turhan myöhään osoittautui C-1385 synergiaikäyrän aiheuttamaksi. Ongelma korjautui vaihtamalla se C-1375 synergiaikäyrään vasta varsinaisen testausajan päätyttyä kun C-1385 hitsit oli jo esitelty Naarajärvellä. Testausaika olisi voinut kulua myös tuottavammin, jos testeissä olisi haettu parempaa juuren sulaneisuutta sileyden sijaan.

Menetelmätestien jälkeen siirryttiin testaamaan CMT-hitsausta hitsauslaboratoriolle toimitettuihin pesukammioihin. Tulos oli heti selvä: CMT oli todella arka sovituserheille. Tämän takia oli aivan turhaa yrittää silloittaa kammioita hitsauslaboratoriolla, sillä tuloksia ei voinut soveltaa tuotantotilanteeseen. Yksi toimitetuista kammioista oli kuitenkin Franke Medicalilla silloitettu, joka vastasi paremmin silloituksen laatua tuotannossa. Se laatu ei kuitenkaan CMT-hitsaukseen riittänyt, vaan useimmissa hitseissä oli perusaineesta läpi sulanut reikä. Yksi hitsi onnistui ilman selviä virheitä palossa, joten kammion CMT-hitsaus voisi olla mahdollista jos Franke Medical uudistaisi kammion kylkien sovittamista ja silloittamista tasaisen laadun varmistamiseksi. Nykytilanne kuitenkin suosii TIG-hitsausta vaihtelevan ilmaraon ja railonsovituksen epätarkkuuksien vuoksi. TIG-hitsaus vaatii ruostumatonta terästä hitsatessa juurisuojava ja volframielektrodin kärki tylsentyy ajan myötä, jolla on suuri vaikutus tunkeumaan. (Kyröläinen & Lukkari, 2002, s. 363) Mahdollinen langansyöttömekanismi tulee myös kaasuholkin ulkopuolelta ja robotin hitsauspää voi olla suuri, heikentäen sen ulottuvuutta.

Opinnäytetyön testit tehtiin 1. sukupolven Fronius CMT Advanced 4000 R virtalähteellä. CMT-virtalähteistä on ilmestynyt uusi sukupolvi uusien ominaisuuksien kanssa, jotka voisivat korjata opinnäytetyössä havaittuja ongelmia. Yksi näistä uusista ominaisuuksista on Cycle Step, joka lisää tarkkuutta prosessin hallintaan. Cycle Stepissä voidaan määrittää jopa lisäainepisaroiden ja CMT-syklien tarkka määrä. Fronius kertoo Cycle Stepin pystyvän myös pieniin MicroTackin kaltaisiin silloituspisteisiin sekä lisäaineellisen TIG:in jälkeä muistuttavaan, aaltoilevaan hitsipalkoon. (Fronius International GmbH, 2018)

Viimeisenä osana opinnäytetyötä tehtiin kustannusarvio hitsauksen robotisoimisesta ja tämänhetkestä käsin hitsauksesta. TIG-hitsauksen kustannukset oli helppo laskea, sillä Franke Medical pystyi nopeasti selvittämään kaikki tarvittavat arvot. Alun perin kustannusarviota varten oli tarkoitus käyttää valmista laskentapohjaa, mutta pohja oli tehty MIG/MAG-hitsausta varten ja sen vuoksi laskenta-kaavat olivat liian riippuvaisia lisäaineen ja hitsiaineen määrästä. Lisäaineettomalle TIG-hitsaukselle se ei sopinut. Kustannuskaavat piti luoda itse, mutta loppujen lopuksi ne olivat varsin yksinkertainen tulojen summa. Monimutkaisin osa oli todennäköisesti palkkakustannukset, jotka piti laskea kammi-oon käytettyinä minuutteina kahdeksan tunnin työpäivän sijaan, sillä muuten olisi mahdotonta ver-

rata robottihitsausta käsinhitsaukseen. Robottihitsauksen kustannuksia lähdettiin selvittämään ottamalla yhteyttä laitevalmistajiin. Virtalähdevalmistajiinkin otettiin yhteyttä, mutta tämä osoittautui turhaksi kun robottivalmistajat myyvät yleensä valmiita robottisoluja avaimet käteen -periaatteella, joihin kuuluu valmiiksi asennettu hitsausvirtalähde. Laitteet voisi hankkia erikseenkin, mutta siinä tuskin säästettäisiin juuri rahaa robottivalmistajien saamien tukkualennusten vuoksi. Sen lisäksi kaikkien laitteiden asentaminen toimivasti ja standardinmukaisesti olisi valtava vaiva, joka vain tuhlaisi tehtaan työntekijöiden aikaa. Opinnäytetyön suorittamiseen ei ollut enää paljon aikaa, jonka vuoksi otettiin yhteyttä vain kahteen robottivalmistajaan. Robottijärjestelmän toimittaja X antoi leveän hintahaarukan 80 000 – 120 000 euroa ja kilpaileva robottijärjestelmän toimittaja Y tarjosi luottamuksellisessa tarjouksessa 130 600 euron robottisolua, johon kuului myös optinen railonseuranta. Robottihitsauksen juoksevat kustannukset laskettiin eroavan käsin hitsauksesta pääasiassa vähentyneen hitsaajan työajan muodossa, joka korvautuu robotin sähkönkulutuksella. Vähentämällä 30 minuuttia hitsaajan kammiokohtaisesta työajasta robottihitsatun kammion kulut olivat huomattavasti pienemmät. Korkeiden investointikustannusten vuoksi robottihitsauksesta ei kuitenkaan tule kannattavaa ellei sillä hitsata useampia tuotteita. Hitsaamalla vähintään kolmea Deko 190:n kaltaista tuotetta robotista tulee kannattava noin kolmen vuoden sisällä.

## LÄHTEET

- ABB Oy. (13. 11 2018). IRB1600 Datasheet.
- AGA Oy. (29. 10 2018). *TIG-hitsaus*. Noudettu osoitteesta Aga.fi:  
[http://www.aga.fi/fi/processes\\_ren/welding/tig\\_welding/index.html](http://www.aga.fi/fi/processes_ren/welding/tig_welding/index.html)
- Eder, T. (28. 9 2010). *The CMT Process - News and Its Advantages in Industry*. Noudettu osoitteesta SAE.org:  
<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2010-32-0071/>
- ESAB. (18. 10 2018). *TIG-hitsaus*. Noudettu osoitteesta ESAB.fi: <https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/tig-hitsaus.cfm>
- Fonecta. (12 2017). *Franke Medical Oy*. Noudettu osoitteesta Finder.fi:  
<https://www.finder.fi/Sairaanhoitov%C3%A4lineit%C3%A4+sairaanhoitolaitteita/Franke+Medical+Oy/Naaraj%C3%A4rvi/yhteystiedot/2481897>
- Franke Holding AG. (20. 8 2018). *History*. Noudettu osoitteesta Franke.com: <https://www.franke.com/franke-group/en/about-franke/history.html>
- Franke Holding AG. (9. 7 2018). *Key figures*. Noudettu osoitteesta Franke.com: <https://www.franke.com/franke-group/en/about-franke/key-figures.html>
- Franke Medical Oy. (6. 11 2014). Deko Washer-disinfectors presentation. Naarajärvi, Suomi.
- Franke Medical Oy. (13. 08 2018). Noudettu osoitteesta FrankeMedical.fi: <http://www.frankemedical.fi/>
- Fronius International GmbH. (2013). CMT Process Training Documentation.
- Fronius International GmbH. (9. 11 2018). *CMT Cycle Step from Fronius*. Noudettu osoitteesta Fronius.com:  
<https://www.fronius.com/en/welding-technology/info-centre/press/cmt-cycle-step>
- Kyröläinen, A.;& Lukkari, J. (2002). *Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus*. MET.
- Lepola, P.;& Ylikangas, R. (2016). *Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet*. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Posco Assan TST. (2018). Materiaalisertifikaatti. Izmit, Turkki.
- Scansonic IPT GmbH. (22. 11 2018). *How Seam Tracking Works*. Noudettu osoitteesta Scansonic.de:  
<https://www.scansonic.de/en/expertise/how-seam-tracking-works>
- Selvi, S.;Vishvaksenan, A.;& Rajasekar, E. (1. 2 2018). *Cold metal transfer (CMT) technology - An overview*. Noudettu osoitteesta Sciencedirect.com:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214914717301022>
- SHY ry. (2012). *Hitsaustekniikka-lehti 5/2012*. Noudettu osoitteesta <http://shy-hitsaus.net>: [http://shy-hitsaus.net/portals/shy/iBooklet/2012/ht\\_5\\_12/files/assets/basic-html/index.html#36](http://shy-hitsaus.net/portals/shy/iBooklet/2012/ht_5_12/files/assets/basic-html/index.html#36)
- Suomen Robotiikkayhdistys Ry. (2016). *Suomen teollisuusrobotiikkatilastot 2016*. Noudettu osoitteesta Roboyhd.fi:  
<http://roboyhd.fi/wp-content/uploads/2018/04/Teollisuusrobottitilastot-2016.pdf>
- Tarn, T.-J.;Chen, S.-B.;& Fang, G. (2011). *Robotic welding, intelligence and automation: RWIA 2010*. New York: Springer.
- The Welding Institute. (1. 12 2018). *What is Synergic MIG/MAG welding and what are its advantages?* Noudettu osoitteesta TWI-Global.com: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-synergic-mig-mag-welding-and-what-are-its-advantages/>
- TIP TIG. (29. 10 2018). *Welding Process*. Noudettu osoitteesta TIPTIG.com: <https://www.tiptig.com/how-it-works/welding-process/>

## LIITE 1: HITSAUSTESTIARVOT

Taulukko 8: Täysi testipäiväkirja. Parittomat testinumerot ohjelmalla franke\_jigipuoli1 ja parilliset franke\_jigipuoli2. Alleiviivatut arvot ovat muutettu niitä edeltävästä hitsaustestistä, joten ne ovat kyseisen testin aihe.

Testi nro	Langansyöttönopeus (m/min)	Valokaaren pituuden säätö (%)	EP/EN-tasapaino	Hitsausnopeus (mm/s)	Kommentti
1	5,0	+30	2,5	30	30 mm/s = 1,8 m/min
2	5,5	+30	2,5	30	
3	5,5	+30	2,5	<u>33</u>	Testattu hitsausnopeuden <u>muutosta</u>
4	5,5	<u>+20</u>	2,5	30	Testattu VPS <u>muutosta</u>
5	5,0	+30	<u>1,5</u>	30	
6	5,0	+30	<u>3,5</u>	30	
7	5,0	+30	<u>2,0</u>	30	
8	<u>6,0</u>	+30	2,0	<u>35</u>	Nopeampi langansyöttö suuremmalla vauhdilla
9	6,0	+30	2,0	35	5.6. Ensimmäinen microtackattu testi
10	6,0	+30	2,0	<u>33</u>	
11	<u>6,5</u>	+30	2,0	33	
12	6,5	+30	<u>3,0</u>	33	Liikaa lämmöntuontia
13	<u>6,2</u>	+30	2,0	33	Testi 13 tuntui ensimmäiseltä läpilyöniltä ja yritin pitkään kehittää arvoja sen pohjalta.
14	<u>5,2</u>	+30	<u>2,5</u>	<u>30</u>	Testi 14 näytti myös hyvältä mutta se kaipasi lisää lämmöntuontia.
15	6,2	+30	2,0	<u>32</u>	6.6. "Pieniä muutoksia T13 arvoihin" alkaa
16	<u>6,3</u>	+30	2,0	33	
17	6,2	<u>+20</u>	2,0	32	
18	6,2	+30	2,5	32	
19	<u>6,1</u>	+30	2,0	32	
20	6,2	+30	2,0	<u>32,5</u>	Tässä vaiheessa otettiin jo desimaalit käyttöön.
21	6,2	+30	2,0	<u>32,8</u>	
22	6,2	+30	<u>1,5</u>	33	EP/EN-balanssin testailua
23	6,2	+30	2,0	33	7.6. T13 arvot uudelleen jigi- ja ohjelmasäätöjen takia.
24	6,2	+30	2,0	32	Nyt testattiin uudelleen T15 arvoja
25	6,2	+30	2,0	<u>33,5</u>	11.6.
26	<u>6,0</u>	+30	2,0	33	"pieniä säätöjä T13 arvoihin taas"
27	6,2	<u>+15</u>	2,0	33	
28	6,2	+30	<u>3,5</u>	33	EP/EN-tasapainotestejä
29	6,2	+30	<u>4,0</u>	33	



<b>30</b>	6,2	+30	<u>5,0</u>	33	
<b>31</b>	5,4	+30	3,0	30	12.6. oli selvää, ettei T13 arvoista saa säädettyä sopivia ja T14-arvojen inspiroimat testit alkoivat.
<b>32</b>	5,4	+30	<u>2,0</u>	30	Virtalähde: 93 A 13,2 V 6,0 m/min
<b>33</b>	<u>5,5</u>	+30	2,0	30	
<b>34</b>	5,4	+30	2,0	<u>29,2</u>	29,2 mm/s on noin 1,75 m/min
<b>35</b>	<u>5,5</u>	+30	2,0	29,2	
<b>36</b>	5,4	+30	2,0	<u>28</u>	
<b>37</b>	5,4	<u>+20</u>	2,0	30	13.6. Testi 32 mielessä
<b>38</b>	6,2	+30	2,0	33	Huoli kuroumista alkaa ja T13 arvoja testataan taas varmuuden vuoksi.
<b>39</b>	5,4	+30	<u>0,0</u>	29,2	Testi EP/EN-balanssin merkityksen selkeyttämiseksi. Surkeaa jälkeä.
<b>40</b>	5,4	+30	<u>5,0</u>	29,2	Maksimibalanssi, jälki on hyvää.
<b>41</b>	5,4	+30	2,0	30	18.6. Testi 32 taas mielessä
<b>42</b>	5,4	+30	3,0	29,2	Testi 40 mielessä
<b>43</b>	<u>5,6</u>	+30	3,0	31	
<b>44</b>	<u>5,5</u>	+30	3,0	29,2	Testi 42 mielessä
<b>45</b>	5,4	+30	2,0	30	14.8. Ilmaraollinen testi T32 arvoilla. Ilmaraollisia kappaleita ei pystynyt silloittamaan MicroTackilla.
<b>46</b>	6,2	+30	2,0	33	Ilmaraollinen testi T13 arvoilla
<b>47</b>	5,5	+30	3,0	29,2	C1384+P testi, perus CMT. Balanssin tilalle pulssin korjaus.
<b>48</b>	5,5	<u>+10</u>	<u>0,0</u>	29,2	Toinen C1384+P testi. Molemmat tiesi hyödyttömiksi jo hitsauksen äänestä.
<b>49</b>	5,5	+30	3,0	29,2	C1375 testi, CMT Advanced. Ei jälkeä C1385-hitsejä vaivanneista kuroumista, todella lupaavaa.
<b>50</b>	5,5	+30	<u>5,0</u>	29,2	C1375 testi. Balanssia nostettu jouhevuuden toivossa mutta turhaan.
<b>51ty</b>	5,5	+30	5,0	29,2	C1375 työntävässä kulmassa. Hitsipalkko sai selvästi lisää jouhevuutta mutta juuri taisi kärsiä.
<b>52ty</b>	5,6	+30	4,0	29	C1375 työntävässä kulmassa.
<b>Kam1</b>	6,0	+30	4,0	29	Kammion hitsaukseen käytetyt parametrit
<b>Kam2</b>	6,0	+30	4,0	30	Toisen kammion hitsaukseen käytetyt parametrit.