

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Konetekniikan koulutus

Risto Piironen

ROBOTTIHITSATTAVIEN TUOTTEIDEN TUNNISTAMINEN  
TUOTEKANNASTA

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2020



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2020**  
**Konetekniikan koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

Tekijä  
Risto Piironen

Nimeke  
Robottihitsattavien tuotteiden tunnistaminen tuotekannasta

Toimeksiantaja  
Suomen Levyprofiili Oy

**Tiivistelmä**

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tunnistaa Suomen Levyprofiili Oy:n tuotekannasta kymmenen robottihitsaukseen soveltuvaa tuotetta. Listan avulla yritys pystyy jatkossa ylösajamaan tuotteita käsinhitsauksesta hitsausautomaatioon ja näin ollen nostamaan yrityksessä olevien hitsausrobottien käyttöastetta.

Apuna tuotekannan tutkimisessa käytettiin tuotannosta kerättyä dataa valmistusmääristä ja hitsaustunneista. Datan avulla pystyttiin rajaamaan tutkittavien hitsauspiirustusten määrä kohtuulliseksi. Tuotteiden valinnassa täytyi ottaa huomioon sopivuus yrityksessä oleviin robottihitsaussoluihin ja tuotannon eri työvaiheisiin. Tuotteiden valinnassa hyödynnettiin hitsausrobotilla työskentelevien ammatti- ja tietotaitoa.

Työssä onnistuttiin löytämään kymmenen tuotteen lista hitsausrobotille ja samalla tunnistamaan mahdollisia muutoksia tiettyjen tuotteiden osalta, jotka olisivat pienillä muutoksilla robotisoitavissa. Hitsausrobotille tunnistettuja tuotteita verrattiin kustannuksien osalta käsin hitsaukseen, josta saatiin selville siirrosta aiheutuvat kustannukset ja takaisinmaksuaika.

Kieli  
suomi

Sivuja 30  
Liitteet 0  
Liitesivumäärä 0

Asiasanat  
robottihitsaus, robotisointi, hitsauskiinnitin, ohutlevyrakenne, imago



**THESIS**  
**May 2020**  
**Degree Programme of Mechanical Engineering**  
Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author  
Risto Piironen

Title  
Identification of Robotic Weldable Products from the Product Portfolio

Commissioned by  
Suomen Levyprofiili Ltd

Abstract

The goal of this thesis is to identify ten products suitable for robot welding from Suomen Levyprofiili Ltd's product portfolio. With the help of this document, the company will be able to upgrade the production method of these products from manual to automated welding in the future, thus increasing the utilization rate of its welding robots.

Data collected from the welding process were being used to study the product portfolio, from which preselections have been made according to production volumes and welding time. The data has made it possible to limit the number of welding drawings to be examined to a reasonable level. The choosing of products had to take into account the suitability for the company's robotic welding cells and the different stages of production. The selection of the products has been supported by the knowledge and expertise of those working with the welding robots.

The work succeeded in compiling a list of ten products for the welding robot, while also further identifying certain products whose production could be robotised with small changes. The costs of the upgraded manufacturing method of the selected products were being compared to hand welding, revealing the costs of transfer and the time period in which the investment will turn profitable.

Language  
Finnish

Pages 30  
Appendices 0  
Pages of Appendices 0

Keywords  
robot welding, robotics, welding fixture, sheet metal structure, corporate image

## **Lyhenteet**

FM	Flexible Manufacturing
FMS	Flexible Manufacturing System
IWE	International Welding Engineer
IWS	International Welding Specialist
KUKA	Keller und Knappich Augsburg
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
pWPS	Preliminary Welding Procedure Specification
WPS	Welding Procedure Specification
WPQR	Welding Procedure Qualification Record

# Sisältö

Tiivistelmä  
Abstract  
Lyhenteet

1	Johdanto .....	6
1.1	Toimeksiantaja.....	6
1.2	Opinnäytetyö.....	7
2	Robotisoinnin perusteet .....	7
2.1	Hitsausautomaatio .....	8
2.2	Teollisuusrobotiikka .....	9
2.3	Robotti osana FM-järjestelmää .....	11
3	Hitsattavuus .....	12
3.1	MIG/MAG-hitsaus .....	12
3.1.1	MIG/MAG-Hitsauksen tarkkuusvaatimukset .....	13
3.2	Liitos- ja railomuodot.....	13
3.3	Standardointi ja modulointi.....	14
3.4	Luoksepäästävyys .....	15
3.5	Etäohjelmoinnin hyödyntäminen .....	16
3.6	WPS (Welding Procedure Specification) .....	17
4	Railon seurantajärjestelmät .....	19
4.1	Railonhaku etäisyysprofiilimittauksen avulla.....	19
4.2	Vaaputus.....	20
4.3	Optinen 3D-railoseuranta.....	20
5	Robotisoitavien tuotteiden tunnistaminen .....	21
5.1	Tuotteiden valinta tuotekannasta .....	21
5.2	Hitsauspiirustusten tarkastelu .....	22
5.2.1	Demotuote .....	23
5.3	Hitsauksen automatisoinnin kannattavuuden arviointi .....	26
5.3.1	Kustannuslaskelmien tuloksia.....	27
6	Pohdinta.....	28
7	Lähteet.....	30

# 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena oli selvittää kymmenen robottihitsaukseen soveltuvaa tuotetta Suomen Levyprofiili Oy:n tuotekannasta. Tuotekannan tuotteet olivat pääasiallisesti käsin hitsattavia ohutlevyrakenteita, joiden sopivuus yrityksen nykyisille hitsausrobottisoluille täytyi selvittää.

Robotisointi on monipuolinen ratkaisu yrityksen imagoa nostavana tekijänä. Yrityksessä vierailevat ihmiset saavat yrityksestä modernin kuvan, joka heijastuu tuntemuksina yrityksen valmistamiin tuotteisiin saakka. Robotisoidut työt vaativat hyvää järjestystä toimiakseen, jonka ansiosta yrityskäynneillä vieraileville henkilöille muodostuu yrityksessä olevasta siisteydestä positiivinen kuva. (Aaltonen & Torvinen 1997, 153.)

## 1.1 Toimeksiantaja

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Suomen Levyprofiili Oy. Yritys toimii 150 henkilön voimin uusissa 7000 m<sup>2</sup> tuotantotiloissa, jotka sijaitsevat Joensuun Kuhasalon teknologiapuistossa. Suomen Levyprofiili Oy on merkittävä ohutlevyrakenteiden valmistaja Suomessa. Tyypillisiä yrityksen työvaiheita ovat suunnittelu, hitsaus, laserleikkaus, särmäys, märkä- ja jauhemaalaukset sekä kokoonpano. Yrityksen asiakkaita ovat kansainväliset kone- ja laitevalmistajat, kuten Sandvik, Agco ja John Deere Forestry Oy. Asiakasyritysten ollessa alansa huipputoimittajia on myös selvää, että he pitävät toimitusketjussaan vain parhaat toimittajat. Suomen Levyprofiili Oy ottaa sopimusvalmistajana jäməkästi vastuun osakokonaisuuksien valmistamisesta. Yritys vaalii asiakassuhteissa pitkäaikaisia kumppanuussuhteita tarjoamalla asiakkaalle nopeaa, joustavaa, yksilöllistä sekä kokonaisvaltaista palvelua. (Suomen Levyprofiili Oy 2019.)

Lean-oppien mukainen tuotantoprosessi ja sitä tukevat toimitilat mahdollistavat nopean läpimenon tuotannossa ja kustannustehokkaan tuotannon, jossa asiakas voi luottaa yrityksen toimintaan ja tuotteiden korkeaan laatuun. Yritys toimittaa

myös valmistukseen tarvittavat työkalut ja mallisarjat tinkimättä kustannustehokkuudesta. Asiakkaan lisäksi yritykselle on tärkeää huolehtia henkilöstöstä ja ympäristöstä. Yrityksen menestymisen eteen toimintaa kehitetään jatkuvasti yhdessä yrityksen työntekijöiden ja asiakkaan kanssa. Yritys osallistuu asiakkaan tuotekehitystyöhön, jossa asiakas voi hyödyntää valmistusteknistä osaamista jo suunnitteluvaiheessa. Yrityksessä on IWE-pätevyyksillä olevia asiantuntijoita ja hitsausosastolla IWS-koulutuksen saaneita henkilöitä. (Suomen Levyprofiili Oy 2019.)

## **1.2 Opinnäytetyö**

Opinnäytetyön aiheena oli robottihitsattavien tuotteiden tunnistaminen Suomen Levyprofiili Oy:n tuotekannasta. Työn tavoitteena oli tunnistaa kymmenen tuotetta, jotka pystytään robotisoimaan ilman rakenteellisia muutoksia. Tuotteiden valinnassa käytettiin teorian tukemia asioita ja asiantuntemusta yrityksen sisältä.

Robotisoitavien tuotteiden selvityksessä oli ehdotonta ottaa huomioon yrityskohdaiset tuotantolaitteet ja niiden valmistustarkkuudet. Tutkituista tuotteista valtaosa oli käsin MAG-hitsattavia ja hitsauspiirrosten osalta tutkiminen perustui pitkälti liitostyyppien ja luokse päästävyuden määrittämiseen. Yrityksen robottisolujen ja oheislaitteiden tunnistaminen antoi tuotteiden valinnoille suuntaa, sillä robottisolujen rakenne- ja oheislaitteet määrittivät mahdolliset liitostyypit, kantokapasiteetin ja tuotteen fyysisten mittojen rajoitukset.

Robottisolussa työskentelevien tietotaitoa käytettiin hyväksi valintoja tehdessä, sillä heidän kokemuksiinsa perustuva tieto mm. ohjelmoinnista, silloittamisesta ja hitsausrobotin rajoituksista mahdollistivat valmiiksi hyväksi todettujen keinojen hyödyntämisen.

## **2 Robotisoinnin perusteet**

Ihmisen tekemät inhimilliset virheet kuten väsymys voivat aiheuttaa epätoivottua vaihtelua tuotteiden välillä. Tuotteiden tasalaatuisuuden ollessa yksi tärkeimpiä

tulevaisuuden kilpailutekijöitä, toimii se yhtenä hyvänä perusteluna siirtyä robotisoituun tuotantoon. Hitsatut rakenteet ovat hyvä esimerkki robotilla valmistetusta tasalaatuisesta tuotteesta. Metalliteollisuudessa ammattitaitoisen työvoiman saatavuus on myös koettu ongelmaksi. Robotisointisovellukset mahdollistavat myös kouluttamattoman henkilöstön käytön osana robotin tehtävää, kuten kaarihitsausta. Suomalaiset konepajat pitivät kyselyn perusteella syitä robotisointiin mm.:

- raskaiden työtehtävien rationalisointi
- kappaleensiirrot
- halu miehittämättömään tuotantojaksoon
- omakohtaisen ymmärryksen lisääminen robottien soveltuvuudesta
- turvallisuutta vaarantavien työtehtävien eliminointi
- uuden teknologian käyttäminen (imago)
- pelko kilpailijoiden mahdollisesta etumatkasta
- asiakkaan vaatimukset
- tuottavuuden ja kilpailukyvyn lisääminen
- ammattitaitoisten työntekijöiden uupuminen tietyillä sektoreilla
- mahdollisuus hyödyntää kouluttamatonta työvoimaa
- koneiden käyttöasteen nostaminen.

Uuden teknologian pitäminen yrityksessä houkuttelee myös uusia työntekijöitä, koska työntekijällä on tämänkaltaisessa yrityksessä mahdollisuus oppia jatkuvasti uutta ja olla osana teknologiaan kuuluvaa kehitystyötä. Koko henkilöstön osallistuminen robotti-investointiin kumoaa ennakkoluuloja automatisointihankkeita kohtaan ja tarjoaa laajasti mahdollisuuksia tuotantohenkilöstön osaamisen kehittämiseen. (Aaltonen & Torvinen 1997, 151–153.)

## **2.1 Hitsausautomaatio**

Metalliteollisuutemme yleisempiä robotisoinnin sovelluskohteita ovat hitsauksen käyttökohteet. Suomessa ensimmäiset kaasukaarihitsausrobotit otettiin käyttöön



1979. Ensimmäisillä hitsausroboteilla hitsattiin pieniä kappaleita lyhyillä hitsausajoilla johtuen hitaasta ja epäluotettavasta käytöstä. Hitsausrobotti vaati jatkuvaa läsnäoloa vaiheaikojen ollessa lyhyitä. (Aaltonen & Torvinen 1997, 161–162.)

Robottihitsauksen kehittymistä edisti markkinoille tulleet railoseurantasovellukset ja ohjausjärjestelmien kehittyminen. Suurien kappaleiden hitsauksesta tuli mahdollista paremman tarkkuuden ja liikkuvuutta lisäävien lineaariratojen ansiota. (Aaltonen & Torvinen 1997, 161–162.)

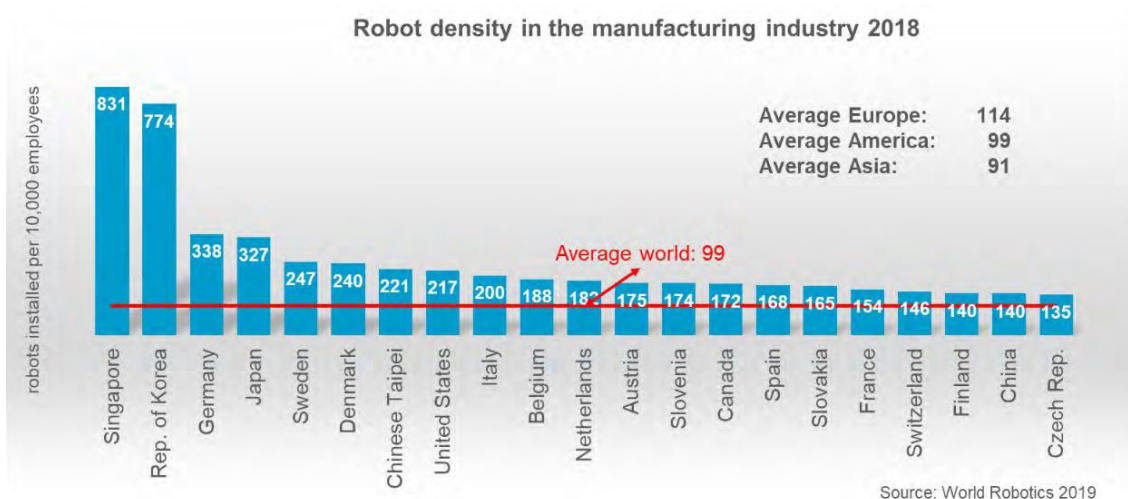
Hitsauksen mekanisointi ja automatisointi mahdollistavat nykyisten hitsien kasvaneet laatuvaatimukset, tuottavuuden kasvun ja se takaa työntekijöille paremmat olosuhteet. Manuaalisesti suoritettu hitsaus on raskasta ja siitä muodostuvat savukaasut aiheuttavat terveydellisiä ongelmia. (Aaltonen & Torvinen 1997, 161–162.)

Oheislaitteet ja hitsausparametrien säätö anturitietoja hyödyntäen ovat avainasemassa. Kappaleen hitsausta nopeuttavat voimatoimiset kiinnittimet, jonka avulla kiinnitys oheislaitteena olevaan kääntö- tai pyörityspöytään on nopeaa. Hitsausvirran ja -jännitteen sekä kuljetusnopeuden ohjaamiseksi tarvitaan takaisinkytkentätietoa, johon käytetään virtalähteen ohjausta ja paikoitusantureita. Kaarihitsaussovelluksissa robotin aiheuttamat ongelmat ovat pieniä ja toimivuuden takaamiseksi ratkaisevampaa on optimoida hitsaustekniikka ja parametrit. (Aaltonen & Torvinen 1997, 161–162.)

## **2.2 Teollisuusrobotiikka**

Yksiselitteinen teollisuusrobotin määrittely on vaikeaa. Teollisuusrobotti määritellään toimilaitteiden, ohjelmointitavan, nivelrakenteen ja käyttötarkoituksen perusteella monella tavalla. Suomen luokittelu roboteista on tiukempi verrattuna esimerkiksi Japaniin, joka osaltaan selittää myös Japanin korkeaa robottien lukumäärää. (Aaltonen & Torvinen 1997, 141–142.)

Teollisuusrobottien tilastoissa yleinen menettely on kuvata teollisuusrobottien asennettua määrää suhteutettuna väkilukuun. Kiina johtaa teollisuusrobottien kokonaisuudessa, mutta suhteutettuna väkilukuun Kiina on keskiarvon alapuolella ja Suomi sijoittuu keskiarvon yläpuolelle. Kuvassa 1 on esitetty vuonna 2018 asennetut teollisuusrobotit suhteutettuna 10 000 teollisuuden työntekijään. (International Federation of Robotics 2020.)



Kuva 1. Teollisuusrobottien määrä 2018. (International Federation of Robotics 2018).

Teollisuusrobotti vaatii tietyn määrän vapausasteita sovelluskohteittain. Yksinkertaisimmat onnistuvat suorakulmaisella käsivarsirakenteella ja monimutkaisemmat työtehtävät, kuten kaarihitsaus suoritetaan vähintään kuusi liikeakselia omaavalla teollisuusrobotilla. (Aaltonen & Torvinen 1997, 141–142.)

Teollisuusrobottien valmistuksesta vastaavat kansainvälisesti paikkansa vakiinnuttaneet yritykset. Suomessa valmistetaan perinteisten teollisuusrobottien sijaan erityissovelluksia, jotka ovat pintakäsittely ja raskaiden kappaleiden käsittely. Suomessa toimivat teollisuusrobottien jälleenmyyjät toimivat yleensä myös robottisovelluksien tekijöinä. Teollisuusrobotti on ainoastaan yksi komponentti valmiista järjestelmästä, joka voi pitää sisällään monenlaisia komponentteja, kuten älykkyyttä lisääviä antureita ja ohjausjärjestelmiä. Suomessa robotiikan haasteena ovat jatkuvasti muuttuvat tuotteet ja pienet sarjavalmistet. Piensarjatuotannon toteuttamiseen teollisuusrobotilla tarvitaan innovatiivisia ratkaisuja useille

osa-alueille, josta yksittäisten tuotteiden ylösajamisesta saataisiin kannattavaa. Suomessa keskitytäänkin robottien toiminnan kokonaiskuvaan ja sovelluksiin. Anturitekniikalla pyritään edistämään teollisuusrobotiikan joustavuutta, josta ovat esimerkkeinä voima-antureiden ja konenäön tuoma sopeutuminen ympäristöön. Mahdollisuuksia hoitaa yksittäistuotantoa suursarjatuotannon tehokkuudella löytyy, mutta niistä tietoisuus on valitettavan huonoa. Kansainvälisesti tutkimusaiheena on ihmisen ja robotin välinen työskentely. Tavoitteena on yhdistää ihmisen kyky joustaa ja robotin tarkkuus, väsymättömyys ja voima. Yhdessä työskentelyyn liittyy turvallisuusriskejä ja sovellukset ovat monesti tämän osalta tapauskohtaisia. Nykytekniikan kehittämiä sovelluksia ihmisen ja robotin työskentelystä samassa tilassa ovat mm. raskaiden kappaleiden käsittely, pakkaustehtävät ja robotin käyttäminen hitsauskiinnittimenä. (VTT 2020.)

Suomen Levyprofiili Oy:n tiloissa on kaksi toiminnassa olevaa robottisolua, jotka sisältävät hitsausrobotin ja kappaleenkäsittelijän:

- Motoman EA1900N hitsausrobotti + kappaleenkäsittely Motoman VMF-500 S5
- KUKA KR 16 arc hitsausrobotti + kappaleenkäsittely KUKA 2xDKP 400.  
(Suomen Levyprofiili Oy, 2019.)

### **2.3 Robotti osana FM-järjestelmää**

Tuotantoautomaatiossa robotteja käytetään tuotantosolun kappaleenkäsittelyissä. Tuotantosoluja ollessa useampi ne voidaan liittää suuremmaksi valmistusjärjestelmäksi (FMS). Robotit, kuljettimet ja työstökoneet muodostavat automaattisen järjestelmän, jonka ohjaus ja ohjelmointi voidaan suorittaa keskitetysti. Miehittämättömät tuotantojaksot ovat mahdollisia automatisoidun valmistusjärjestelmän ansiosta. Robottien hyödyntäminen osana FM-järjestelmää mahdollistaa standardoidun teollisuusrobotin uudenlaiset tuotantotehtävät tulevaisuudessa. (Aaltonen & Torvinen 1997, 160–161.)

### 3 Hitsattavuus

Hitsattavaa rakennetta suunniteltaessa päällimmäisenä kriteerinä on täyttää tuotteelle asetetut vaatimukset. Hyvä hitsattavuus on monen tekijän summa, jossa pääkategoriana ovat perusaine, konstruktio ja valmistus. Valmistuksellisessa hitsauksessa lopputulos on parhain tuotteessa, jossa valmistuksen määräämiä tekijöitä on mahdollisimman vähän. Hitsattavuuden ymmärtäminen vaatii suunnittelijalta laajaa käsitystä tuotantoketjun koneista ja niiden rajoitteista. Ymmärtämällä tuotantokoneiden valmistustarkkuutta ja sovelluksia, on robotisoidun hitsauksen onnistumiseen paremmat edellytykset. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 83–84.)

Suunnittelijan tulee olla tietoinen robottia käsittelevistä asioista, jotta hän osaa hyödyntää robottihitsattavuutta tukevia tekijöitä ja välttää robottihitsaukselle ongelmallisia ratkaisuja. Hitsattavien tuotteiden yleisenä ongelmana on hitsauksesta syntyvien muodonmuutoksien ja epäjatkuvuuksien syntyminen, joka voi johtaa perusaineen ominaisuuksien muutoksiin. Sanotaan, että hitseistä paras hitsi on hitsi, jota ei ole olemassa ja että hitsi on metalleista kalleinta. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 83–84.)

#### 3.1 MIG/MAG-hitsaus

Opinnäytetyössä käsitellään hitsauksen osalta MAG-hitsausta (Metal Active Gas welding). Terminä yleisin MIG- ja MAG-hitsaukselle puhekielessä on MIG-hitsaus (Metal Inert Gas welding), mutta oleellisena erona menetelmien välillä on, että MAG-hitsaus on rautametallien hitsaukseen ja MIG-hitsaus ei-rautametallien hitsaukseen. MAG-hitsaus on metallikaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari sulattaa hitsauslankaa suojakaasun ympäröimänä. Hitsauslanka on kelalla oleva ohut lisäaine, jonka yleisimmät langanvahvuudet ovat 1 mm ja 1,2 mm. Hitsauslangat ovat yleensä kuparilla pinnoitettuja seostamattomia ja niukkaseosteisia hitsauslankoja. MAG-hitsauksen etuja ovat mm.:

- lisäaineen jatkuva syöttö

- riittoisuus
- edullisuus
- hyvä tuottavuus
- hitsausarvojen laajat säätömahdollisuudet
- käyttöalue
- automatisoinnin helppous.

MIG/MAG-hitsaus on useimmissa maissa yleisin hitsausprosessi manuaalisessa ja automatisoidussa hitsauksessa. MIG/MAG-hitsauksen sovellukset ulottuvat lähes jokaiseen teollisuuden sektoriin. (Esab Oy.)

### **3.1.1 MIG/MAG-Hitsauksen tarkkuusvaatimukset**

MIG/MAG-hitsauksen tarkkuusvaatimukset koskevat langan kohdistusta hitsausrailoon. Langan kohdistamisen toleranssi on riippuvainen liitostyypistä. Liitostyypeistä paras tarkkuusvaatimuksien suhteen on pienaliitos, jonka toleranssi on sivusuunnassa 2 mm ja pystysuunnassa 1 mm. Valmiiksi haasteellinen päittäisliitos sallii ainoastaan  $\pm 0.5$  mm. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 85–86.)

### **3.2 Liitos- ja railomuodot**

Robotisoidussa MIG/MAG-hitsauksessa liitosmuotona tulee suosia pienaliitoksia, koska päittäisliitosta käyttäessä kohdistustoleranssit olisivat 5-kertaiset pienaliitokseen nähden ja juuritueton päittäisliitos olisi käytännössä lähes mahdoton hitsata luotettavasti. Pienaliitosta käytettäessä saatavat hyödyt ulottuvat langankohdistukseen, luonnolliseen juuritukseen, railotilavuuden hallintaan ja ilma-araon pieneen vaikutukseen a-mitassa. Onnistunut vaaputustila saavutetaan, kun pienaliitoksen levynreunan korkeus on vähintään 3-4 mm ja päällekkäisliitoksen päälle tulevan levyn ainevahvuus 2.5 mm. Reunan korkeudella myös varmistetaan, että levyn reunaan ei pääse muodostumaan hitsausvirheitä. Hitsattujen rakenteiden hitseistä 80 prosenttia on pienahitsejä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 87.)

Päittäisliitoksia esiintyessä tulisi ne muuttaa pienaliitoksiksi, päällekkäisliitoksiksi tai vähintään käyttää juuritukea hitsaamalla pohjapalko tai muotoilla liitos, jos läpihitsausvaatimusta ei ole. Hitsatuissa rakenteissa nurkkaliitokset ovat erittäin käytettyjä ulkonäköseikkojen takia. Nurkkaliitosta käyttäessä tulee ottaa huomioon robottihitsauksen vaatimukset. Nurkkaliitoksen konstruktioita voidaan muuttaa siten, että läpipalaminen on estetty ja valmistustoleranssi on väljempi. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 87.)

Hitsauksen aiheuttaessa muodonmuutoksia rakenteeseen ovat katkohitsit suosittu ratkaisu koneenrakennuksessa, mutta robottihitsaukselle epäkäytännöllinen vaihtoehto johtuen niihin liittyvään epävarmuuteen. Robottihitsauksen häiriöistä 90 prosenttia liittyy valokaaren syttymiseen, minkä vuoksi katkohitseistä aiheutuvat häiriöt ovat yleisiä. Tapaus, jossa jatkuvan hitsin laskennallinen a-mitta alittaa 3 mm, voidaan kuitenkin harkita katkohitsin käyttöä. Suunniteltaessa katkohitsiä tulee huomioida, että jatkuvaa hitsiä vastaava staattinen lujuus katkohitsinä tarkoittaa kaksinkertaista hitsausaikaa pinta-alamuutoksen takia. Liitostyyppin lisäksi hitsausaikaan vaikuttaa oleellisesti hitsausasento. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 89–90.)

### **3.3 Standardointi ja modulointi**

Standardoinnilla ja moduloinnilla pyritään vähentämään kokonaiskustannuksia ja luomaan hyödynnettäviä yhtenäisyyksiä tuotteiden välillä. Kannattavaa standardoinnista ja moduloinnista tekee mahdollisuus pientenkin sarjojen automatisointiin. Sarjakoon ollessa liian pieni, on automatisoinnista syntyviä investointeja jaettava laajemmalle, kuten moduuleihin. Moduulien tarkoituksena on sopia useisiin tuotteisiin ja kohteisiin. Saman tuotteen käyttäminen useassa kohteessa voi ylittää toiminnallisuuden rajan, mutta paremman valmistettavuuden takia tämä jää kannattavaksi ratkaisuksi. Tuoteperheiden valmistukseen on perusteltua organisoida kehittyneitäkin valmistusjärjestelmiä ja -soluja, koska samanmuotoisten ja kaltaisten tuotteiden valmistus käsittää samanlaisia työvaiheita ja näin ollen mahdollistaa suuret valmistusmäärät. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 84–85.)

Särmäystä ja taivutusta hyödyntäen vähenee osien lukumäärä, joka on suoraan verrannollinen hitsien määrään. Standardoimalla taivutusten kulmat yhtäläisiksi voidaan yhtenäistää myös nurkkien hitsaus. Robottihitsauksessa saavutetaan huomattavia hyötyjä ulottamalla standardointi ja modulointi hitsattavan osan levynpaksuuksiin, liitosmuotoihin, railogeometriaan, a-mittoihin, hitsausparametreihin ja hitsausaliohjelmiin. Esikäsittely selkeytyy vähentämällä levynpaksuuksien määrää. Hitsauksien yhtäläisyys vähentää:

- parametrikokeiden määrää
- hitsauskiinnittimien lukumäärää
- luokse päästävyttä ja railohaun ongelmia
- ohjelmointia
- materiaalikuluja.

(Lempiäinen & Savolainen 2003, 85.)

### **3.4 Luoksepäästävyys**

Robottihitsattavassa tuotteessa on tärkeää ottaa huomioon luoksepäästävyys. Hitsauspolttimen on ulotuttava hitsausrailoon ja ilman tätä on selvää, että kappale ei ole hitsattavissa. Kaikkiin hitseihin ei välttämättä päästä optimaalisella polttimen orientaatiolla ja mahdollisen huonon hitsaustuloksen syntyminen voi johtaa konstruktiomuutoksiin tuotteessa. Haastavia sisäpuolisia hitsejä tulisi muuttaa yhdeltä puolelta juuritukea vastaan hitsattavaksi tai jakamalla rakenne osakoonpanoihin. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 91.)

Railon luokse päästävyys lisäksi tulee myös huomioida robotin vaatima tila. Robotin nivelet eivät taivu ja jouta samalla tapaa kuin hitsaajan käsi. Käsinihit-  
satessa hitsaaja voi vaihtaa polttimen orientaatiota ja säätää kuljetusnopeutta robotista poiketen. Luokse päästävyttä voidaan tarkastella simuloinnin mahdollis-  
tavalla ohjelmistolla tai ohjelmiston puuttuessa arvioimalla ulottuvuutta paikan  
päällä, joka voi johtaa kuitenkin virhearvioon. Parhaaseen lopputulokseen pääs-  
tään käyttämällä yksinkertaisia liitosmuotoja, avoimia rakenteita ja ottamalla sel-  
vää hitsauspolttimien kaulapituudesta. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 91–92.)

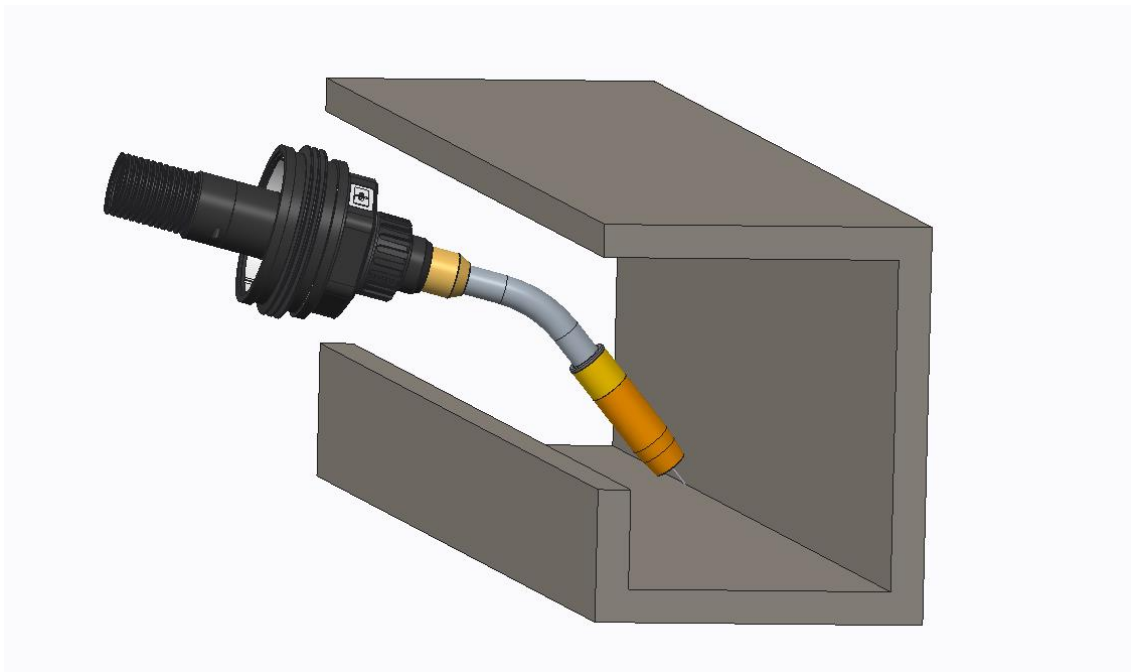
### 3.5 Etäohjelmoinnin hyödyntäminen

Tuotekehityksen ja valmistuksen väliin sijoittuu mallipohjainen etäohjelmointi, jonka avulla pystytään ohjelmoimaan robottia ilman tuotantorobottia. Ohjelmointi tapahtuu käyttäen robotin, oheislaitteiden ja tuotteen 3D-mallia, sekä itse ohjelmointijärjestelmää. Ohjelmointijärjestelmä hyödyntää tuotemallin tuotetietoa, joka mahdollistaa ohjelman liikeratojen simuloinnin. Mallipohjaista etäohjelmointia hyödyntämällä pystytään testaamaan tuotteen valmistettavuutta ja sopivuutta robottisolun oheis-, käsittely- ja kiinnityslaitteistoon. Simuloimalla prosessi, voidaan välttää kalliiden hitsauskiinnitinprototyypin tekeminen ja samalla varmistua hitsauspistooliin sopivuudesta paikkoihin, jotka rakenteen puolesta ovat epävarmoja luokse päästävydestä. (Kuivanen 1999, 82)

Työssä käytettiin apuna Robotstudion ohjelmointiohjelmaa ja Creo 3.0 -suunnitteluohejelmaa, joiden avulla selvitettiin hitsauspistoolin sopivuus tuotteissa oleviin kotelomaisiin rakenteisiin. Osassa tuotteista oli syytä miettiä useamman kappaleen sijoittamista paletille, jotta vaihe aika palettien välillä tulisi järkeväksi työtekijän ja kustannuksien osalta. Ohjelmistoja ei hyödynnetty itse ohjelmien rakentamiseen, vaan käyttö perustui luokse päästävyden tarkastamiseen.

Opinnäytetyössä käytettiin yrityksen käytössä olevia 3D-malleja robottisoluista ja hitsauspistoolista. Solun mallista pystyttiin katsomaan tuotteen kokoa rajoittavat tekijät. Tuotteet, jotka sisälsivät kotelomaisia rakenteita, tarkastettiin hitsauspistoolin sopivuuden osalta. Opinnäytetyön raportissa käytettiin havainnollistavaa kuvaa tilanteesta, jossa hitsauspistoolin luokse päästävyttä on tarkasteltu hitsauspistoolin 3D-mallia käyttäen (kuva 2).



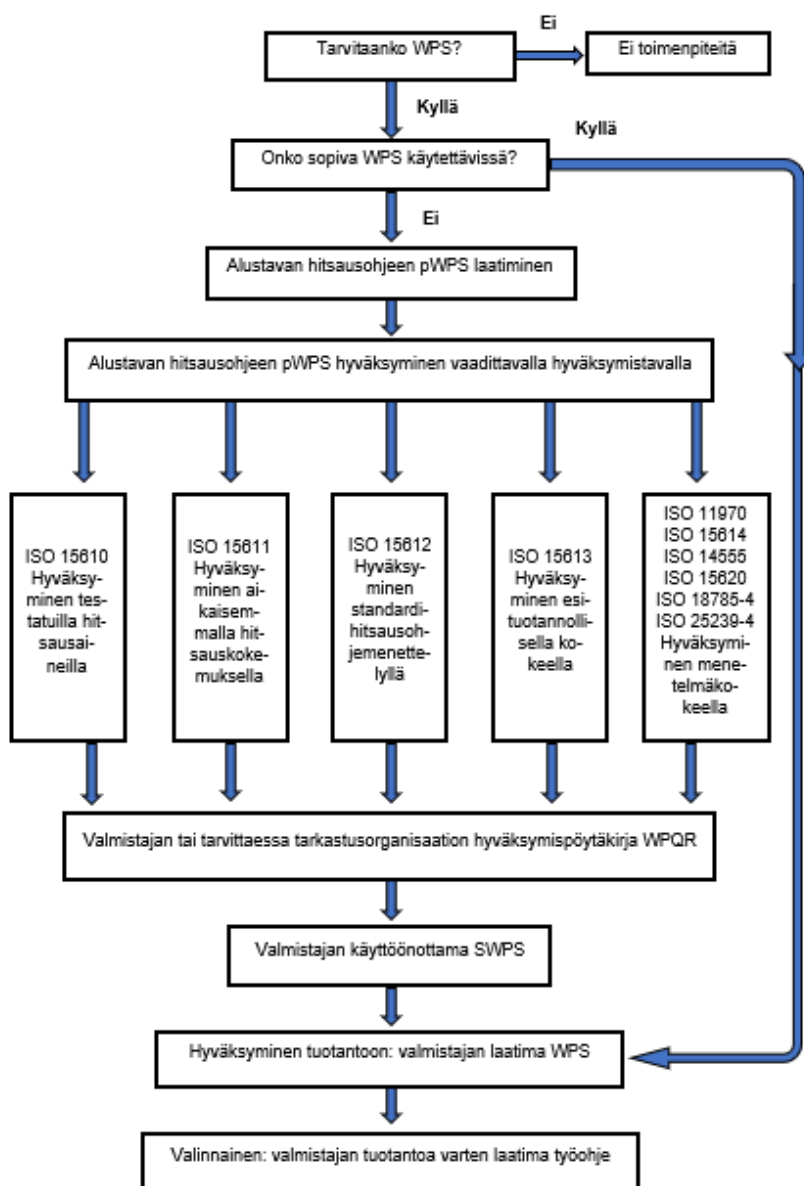


Kuva 2. Hitsauspistooli kotelomaisessa rakenteessa.

### 3.6 WPS (Welding Procedure Specification)

WPS tarvitaan hitsauksen suunnittelun perustaksi, valmistukseen ja laadunvalvontaan. Hitsaus luokitellaan laatustandardien terminologiassa erikoisprosessiksi, joka edellyttää kirjallista menettelyohjetta. Tuotannossa hitsausohjeilla varmistetaan, että hitsaajat käyttävät hyväksi todettuja säättöarvoja. Poikkeuksena on, että valmiin tuotteen hitseistä voidaan tutkia pintavirheitä ja muodonmuutoksia erilaisia rikkomattomia tarkastusmenetelmiä hyödyntäen. Metallurgisista poikkeavuuksista johtuvat erityisongelmat ovat mahdottomia arvioida rikkomattomia tarkastusmenetelmiä hyödyntäen, joten sen sijaan on luotu tiettyjä sääntöjä hitsausohjeen hyväksymiseen ennen tuotantoon viemistä. (SFS-EN ISO 15607 2020.)

Valmistajan työnä on laatia pWPS (Preliminary Welding Procedure Specification) ja varmistettava sen soveltuvuus varsinaiseen tuotantoon. pWPS:n hyväksyminen suositellaan tehtävän yhdellä hyväksymistavalla hyväksymispöytäkirjasta (WPQR). WPS:n hyväksymistapoja ovat menetelmäkokeet, testatut hitsausaineet, hitsauskokemus, esituotannolliset kokeet ja standardimenetelmä. Alla olevassa kuvassa 3 on esitetty opastava WPS kulkukaavio laatimiselle ja hyväksymiselle. (SFS-EN ISO 15607 2020.)



Kuva 3. Kulkukaavio hitsausohjeen laatimiselle ja hyväksymiselle. (SFS-EN ISO 15607 2020.)

## 4 Railonseurantajärjestelmät

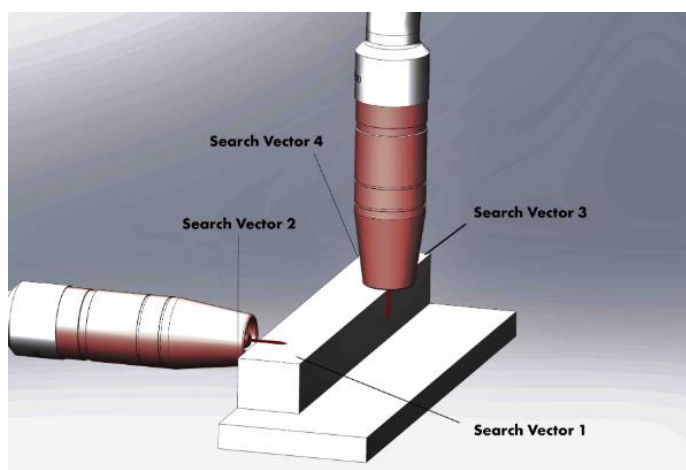
Ympäristön ja robotin vaikutuksia tarkkuuteen optimoidaan useissa tilanteissa raudankorjausautistijärjestelmiä hyödyntäen. Teollisuusrobotteihin integroidut järjestelmät mittaavat kappaleiden sijaintia ja korjaavat työkalun sijaintia suhteessa työkaluun. (Kuivanen 1999, 39.)

### 4.1 Railonhaku etäisyysprofiilimittauksen avulla

Etäisyysprofiilimittaus on jännitteenmittaukseen perustuva menetelmä, jossa hitsausrobotin tai hitsauslankaan syötetään jännite. Koskettaessa työkalua kuvassa 2 hitsausrobotti saa takaisinkytkentätietona sijainnin kosketetusta pinnasta. Useimmissa tilanteissa vaaditaan vähintään kaksi kosketusta, että järjestelmä pystyy laskemaan vektoreiden avulla hitsausliitoksen sijainnin. Kosketusanturit ovat edullisia, helposti ohjelmoitavia ja ne eivät kasvata hitsauspolttimen kokoa fyysisesti. Menetelmän heikkouksia ovat kuitenkin mm.:

- rajoitukset materiaalivahvuudessa  $< 5$  mm
- ei reagoi hitsauksen aikana tapahtuviin muodonmuutoksiin
- pisteiden määrittäminen hitaampaa  $\rightarrow$  hitsausajan pidentyminen
- häiriöiden yleisyys verrattuna muihin menetelmiin.

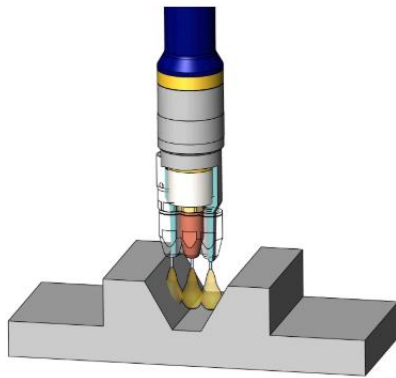
(Huber 2019.)



Kuva 4. Hitsauslangalla koskettamalla tapahtuva railohaku. (Huber 2019.)

## 4.2 Vaaputus

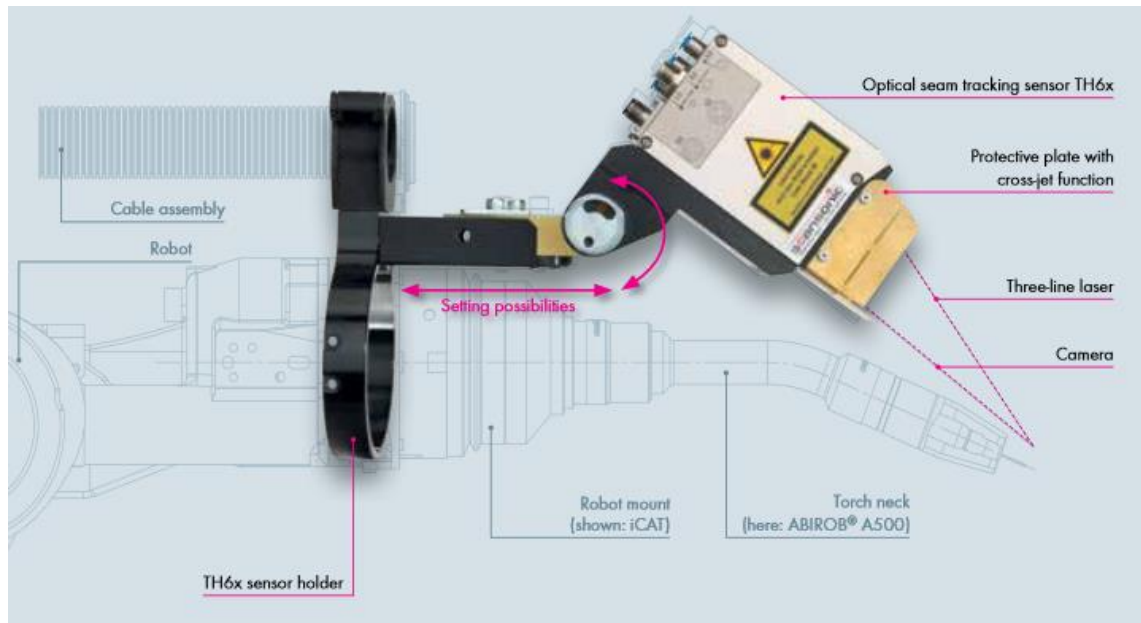
Vaaputus on railon seuranta järjestelmä, jossa railon hakeminen perustuu hitsausvirran ja -jännitteen vaihteluun. Alla olevassa kuvassa 3 on esitetty hitsauspistoolin vaaputtava liike, jonka ansiosta vapaalangan pituus kasvaa ja jännitteeseen syntyy mitattavia eroja. Hitsauspistoolin ollessa keskellä hitsaavaa railoa on mitattu jännite molemmin puolin vaaputettavaa liikettä sama. Vaaputusta käytettäessä tulisi käyttää ensisijaisesti pienaliitosta. Heikkouksina menetelmällä ovat hitsausnopeuden rajoitukset vaaputtaessa, liitostyyppien rajallisuus ja materiaalirajoituksia johtuen kyvystä mitata jännitteen vaihteluväliä. (Huber 2019.)



Kuva 5. Vaaputukseen perustuva railon seuranta. (Huber 2019.)

## 4.3 Optinen 3D-railon seuranta

Optinen 3D-railon seuranta on hitsauspistooliin kiinnitettävä railon seurantalaitteisto (kuva 5), joka käyttää laseria ja optiikkaa määrittääkseen hitsausrailon sijainnin ja muodon. Laitteiston toiminta perustuu laser diodin lähtevään säteeseen, jonka heijastumaa luetaan laitteiston kolmiomittausta hyödyntävällä anturilla. Ohjausjärjestelmän kytkeminen laserin optiikkaan mahdollistaa x-, y- ja z-sijainnin seurannan nopeudella, joka ei rajoita hitsausrobotin kuljetusnopeutta. Optisella seurannalla voidaan suorittaa liikeratojen koeajoja ilman konkreettista hitsausta, koska järjestelmän railon seuranta perustuu hitsausprosessin sijaan kuvantamiseen. Optisen järjestelmän heikkouksia ovat kuitenkin anturin likaantumisesta johtuvat häiriöt ja kiiltävien materiaalien hitsaukset yhdistettynä heijastusta aiheuttavaan liitostyyppiin. (Huber 2019.)



Kuva 5. Optinen railonseurantalaitteisto. (Huber 2019.)

## 5 Robotisoitavien tuotteiden tunnistaminen

Tässä osiossa käydään läpi vaiheittain, millä menetelmin ja perustein tuotteiden valikointi tehtiin. Yrityskohtaiset tekijät vaikuttivat monella osa-alueella valintoihin, joista selvää ottaminen oli tärkeää tunnistaakseen mm. Prosessin tuomia rajoitteita ja soveltuvuutta muuhun tuotantoon.

### 5.1 Tuotteiden valinta tuotekannasta

Työ aloitettiin selvittämällä hitsausrobottien nykyiset tuotteet ja listaamalla ne yritykseltä saatuun Excel-taulukkoon. Yrityksen tuotteista oli saatavilla taulukko 1, joka sisälsi tuotteiden valmistuksellisia tunnuslukuja viimeiseltä puolelta vuodelta. Dataa tuotteista käytettiin tuotteiden karsimiseen, sillä tuotteiden hitsauspiirustusten määrä yrityksessä on tuhansia. Datasta otettiin ylös ne tuotenumerot, jotka olivat valmistusmääriltään tai toteutuneilta tunneilta merkittäviä. Suunniteltujen tuntien poiketessa merkittävästi toteutuneisiin tunteihin otettiin tuote tarkasteluun ja katsottiin, että missä työvaiheessa kuluu suunniteltua enemmän aikaa ja pys-

tytäänkö ongelma ratkaisemaan siirtämällä tuote hitsausrobotille tai jopa kokonaan pois hitsauksesta. Yrityksen Excel-taulukkoa käytettiin koko opinnäytetyön ajan tuotteiden selvitystyössä ja osana kannattavuuden arvioimista.

Taulukko 1. Excel-taulukko hitsausdatasta.

TUNNUS	Nimi	Summa / SUTUNNIT	Summa / TOTUNNIT	Summa / TOTMAARA	Määrä / TYONRO	Su kpl aika (min)	Paino	Lakkautettu	T
		594	1049,66	294	40	120	0	0	
		559,92	746,66	170	18	221	0	0	
		485,24	638,19	28	28	1040	190	0	
		468,93	403,17	29	29	910	190	0	
		423,68	1138,0147	127	32	198,6	0	0	
		396	414,1	144	18	80	0	0	
		393,72	315,8	34	34	695	388,9	0	
		303,3	518,73	54	9	337	101	0	
		281,44	568,77	218	22	76,4	0	0	
		268,2	366,07	54	9	298	68	0	
		255,4	567,04	20	20	806	222,83	0	
		234,5	239,94	21	7	670	196,5	0	
		229,95	229	15	15	790	0	0	
		227,94	413,6923	267	42	54,5	0	0	

## 5.2 Hitsauspiirustusten tarkastelu

Kun Excel-taulukosta olevat tuotenumerot olivat selvillä, seuraavana vaiheena oli tarkastella tuotteiden hitsauspiirustuksia ja sen kautta soveltuvuutta hitsausrobotille. Yrityksen tuotteista valtaosa on ohutlevytuotteita, joiden työvaiheista särmäys ja laserleikkaus ovat vaikuttavimpia tekijöitä robottihitsauksen näkökulmasta. Särmättävissä tuotteissa täytyi ottaa huomioon, voidaanko särmäys tehdä riittävällä toistettavuudella. Laserleikkauksesta tärkeää tietoa oli koneen rajoitukset ja laserleikkauksen tarkkuus. Tuotteista pystyttiin tekemään nopeaa karsintaa myös hitsauspiirustuksien osalta, koska osa tarkasteluun otetuista tuotteista olivat mm. materiaaliltaan tai liitostyypiltään sellaisia tuotteita, jotka eivät ei ole järkeviä siirtää robottihitsaukseen. Tuotteita oli enemmän kuin 10 sellaista, jotka täyttivät kriteerit soveltuvuudesta hitsausrobotille. Kriteereiksi valittiin liitostyyppi, materiaali, hitsausmetrit ja luoksepäästävyys. Arvioitavia asioita olivat hitsauskiinnitin ja silloitus, joissa käytettiin apuna yrityksessä tunnistettuja kustannuksia. Opinnäytetyö rajattiin selvitystyöhön robotisoitavista tuotteista, mutta tämän työn ohessa löydettiin sellaisiakin tuotteita, jotka olisivat pienillä muutoksilla robotisoitavissa tai niiden osamäärää saataisiin pienennettyä.

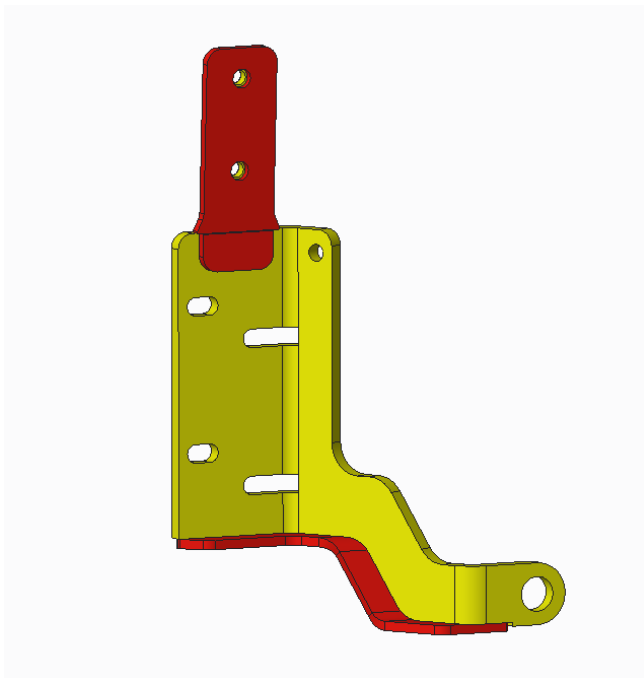
Tuotteita käytiin läpi vaiheittain palaverissa, joihin osallistui yrityksen tuotantopäällikkö, hitsauksen työnjohtaja ja hitsausrobotin käyttäjä. Palaverissa käytiin läpi valittujen tuotteiden soveltuvuutta hitsausrobotille, joissa otettiin huomioon

tuotannon kokemus tuotteen käsin hitsauksesta ja valmistuksellisista haasteista. Palavereissa päätettiin listasta ne tuotteet, jotka kannattaa viedä suoraan hitsausrobotille. Palavereissa tuli myös sellaisia tuotenumeroita tarkasteluun, jotka tuotannossa oli koettu potentiaalisesti valmistaa hitsausrobotilla. Hitsauskiinnittimen ja silloituksen osalta palavereissa arvioitiin, onko tuotteelle tarvittavan hitsauskiinnittimen valmistus järkevää. Usean tuotteen silloitukseen ja asemointiin kuluva aika käsinhitsauksessa oli merkittävä, jonka takia niiden siirtäminen hitsausrobotille mahdollistaisi huomattavasti paremman kaariajan hitsaukselle, jos hitsauskiinnittimestä saadaan tehtyä osat silloittava ja asemoiva ratkaisu.

Tuotteista tehtiin lopullinen lista, joka sisälsi yli kymmenen potentiaalista tuotetta robotille. Tuotteiden ylösajoa robotille tehtiin jo selvitystyön aikana ja loppujen tuotteiden osalta siirtäminen robotille tapahtuu tulevaisuudessa hitsauskiinnittimien ja ohjelmien valmistuessa. Yrityksen on mahdollista hyödyntää alihankintaa ohjelmoinnissa ja hitsauskiinnittimissä.

### **5.2.1 Demotuote**

Opinnäytetyössä käytettiin esimerkkinä kuvan 6 tuotetta, joka siirretään käsinhitsauksesta automatisoituun. Jatkossa tuotteesta käytetään nimitystä demotuote. Demotuote on fyysisesti sellainen, että se on mahdollista hitsata yrityksen pienemmällä robottisolulla siten, että hitsauskiinnittimeen sopii useampi demotuote.

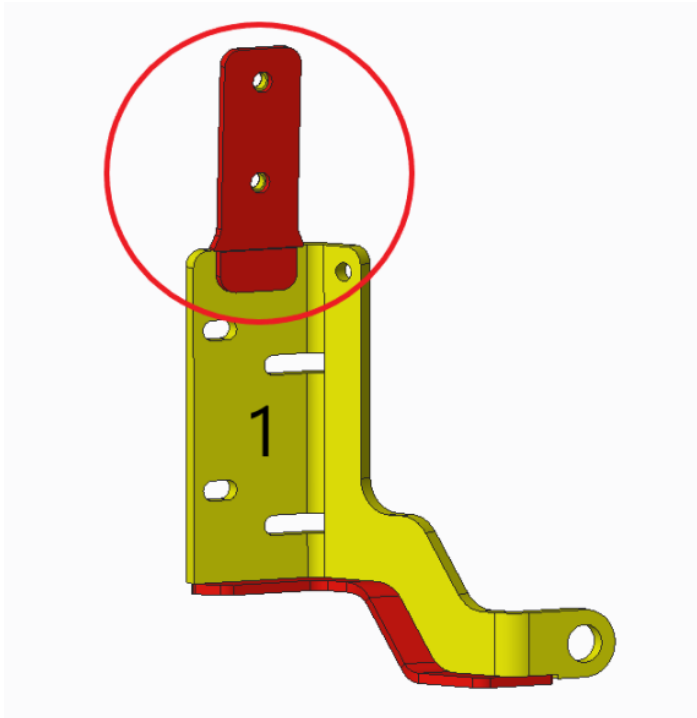


Kuva 6. Demotuotteen alkuperäinen versio.

Demotuotteesta valmistetaan myös peilikuvaversiota, jonka hyödyntämistä hitsauskiinnittimessä ja ohjelmoinnissa kannattaa miettiä demotuotteen siirtyessä hitsausautomaatioon. Demotuotteen asemointi hitsauskiinnittimeen on mahdollista toteuttaa siten, että peilikuvat hitsataan vuoroittain siten, että hitsauskiinnittimen toisella puolella on peilikuvat ja ohjelman välissä hitsauskiinnitin pyörähtää paletilla oikeinpäin. Ohjelman tekeminen peilikuvaa hyödyntäen yksinkertaistaa työtä ja varmistaa, että tuotteet ovat oikeinpäin hitsauskiinnittimessä. Demotuotteen hitsausmetrit ovat korkeat suhteessa tuotteen fyysiseen kokoon ja liitostyypit ovat sopivia hitsausautomaatioon. Demotuotteen haasteita hitsausautomaatiossa ovat osamäärä, särmättävien osien paikannus ja tarkkuus.

Demotuote on ilman muutoksia hitsattavissa robotilla, joka oli lähtökohtainen vaatimus tuotteiden valinnalle. Muutoksia demotuotteeseen olisi kuitenkin mahdollista tehdä osamäärää pienentämällä ja osien asemoinnin helpottamisella. Demotuotteen kuvassa 7 on ympyröimällä esitetty kohta, jonka rakennetta muuttamalla osamäärä pienenee kolmella. Demotuotteen ympyröity kohta voitaisiin valmistaa kiinteänä osaan numero yksi. Demotuotteen osan (yksi) levynpaksuus on sellainen, että siihen on mahdollista tehdä hitsausmutteria vastaava kierre ja näin ollen hitsausmuttereista päästään eroon.

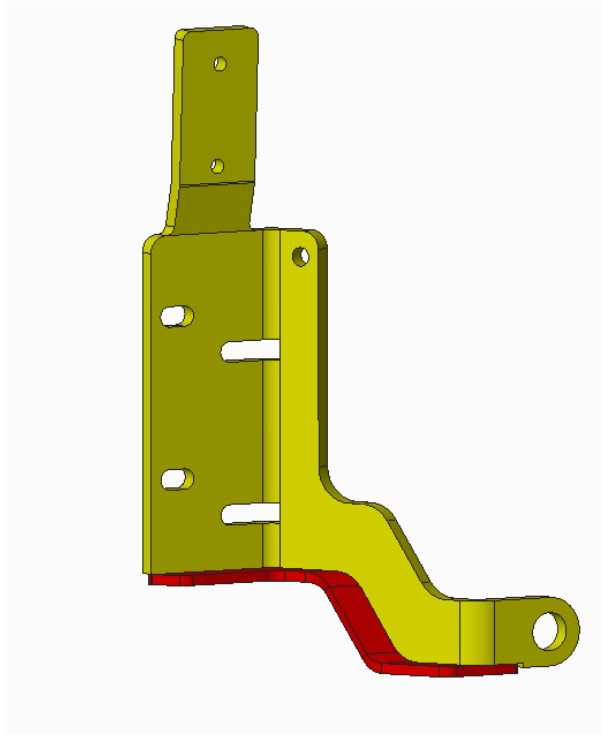




Kuva 7. Demotuotteen alkuperäisen version kehityskohde ympyröitynä

Demotuotteen muutos poistaa 30 prosenttia hitsauksista, kolme osaa, helpottaa hitsauskiinnittimen rakennetta ja poistaa asemointivirheitä. Demotuotteen uudessa versiossa kuvassa 8 hitsausmutterit korvataan tekemällä levyn esireikiin kierre maalauksen jälkeen. Alkuperäisessä tuotteessa hitsausmuttereiden kierreet täytyy puhdistaa maalauksen jälkeen ja näin ollen uuden version kierteiden tekeminen ei ole ylimääräinen työvaihe. Hitsausmuttereiden poistolla olisi huomattava merkitys tuotteen valmistuksessa, koska niiden asemointi hitsauskiinnittimeen ei ole yksinkertaista ja manuaalisesti lisäämällä aikaavievää.

Demotuotteen muutoksissa tulee ottaa huomioon sopivuus muuhun kokoonpanoon asiakkaan kanssa. Kierteiden epäonnistuessa tuote täytyy hylätä, koska sen korjaus maalattuna ei olisi kannattavaa ja sen takia tätä työvaihetta olisi hyvä testata konkreettisesti. Kierteen vaatimuksien selvittämisestä saataisiin tietoa, onko osan yksi (kuva 7) levynvahvuuksia tarve kasvattaa vai pienentää.



Kuva 8. Demotuotteen muutosversio.

Demotuotteen robotisointi alkuperäisellä ratkaisulla ja kaariajalla on kannattavaa neljän vuoden elinkaarella (taulukko 4). Muutoksien myötä tuotteelle olisi kuitenkin huomattavasti parempi kaariaika, koska alkuperäisen tuotteen valmistuksessa merkittävä osa ajasta kuluu kuvassa 1 olevien osien asemointiin. Tuotteen muutoksista ja hitsausautomaatioon siirrosta syntyneet hyödyt arvioitiin siten, että tuotteen kaariaika paranee vähintään kaksinkertaiseksi ja kannattavuus saavutetaan 2 vuoden elinkaarella.

### 5.3 Hitsauksen automatisoinnin kannattavuuden arviointi

Työssä tehtiin kustannuslaskelma jokaisen tuotteen osalta, jossa verrattiin käsinhitsausta automatisoituun. Laskelmiin käytettiin yrityksessä toteutuvia kaariaikakertoimia molemmille menetelmille ja kustannusarviota robottihitsauksessa tarvittavalle hitsauskiinnittimelle. Hitsauspiirustuksista laskelmiin otettiin hitsausmetrit. Molemmat laskelmat tehtiin teoreettisia arvoja käyttäen, koska osa tuotteista oli sellaisia, ettei niistä ei ollut mitattua aikaa. Päänumerona olevista tuotteista oli saatavilla tietoa käsinhitsaukseen kuluneesta ajasta, jonka ansiosta pystyttiin katsomaan, onko laskennallinen aika vertailukelpoinen toteutuneeseen.

### 5.3.1 Kustannuslaskelmien tuloksia

Opinnäytetyössä olevia kustannuslaskelmia on yksinkertaistettu ja muutettu siten, että tulos on esitetty prosentteina. Kustannuslaskelmissa (taulukko 1–3) tarkastellaan myös tuotteiden takaisin maksuaikaa hitsauskiinnitin- ja ohjelmointi kustannuksiin.

Taulukko 2. Kuuden kuukauden kustannuslaskelma.

valmistusaika (h) robottihitsauksessa:	valmistusaika (h) käsinhitsauksessa:	hinta robottihitsattuna euroa:	hinta käsinhitsattuna euroa:	6kk erotus %:
60,53	161,42			-35,61
23,33	62,22			-170,29
17,50	46,67			-243,34
15,00	40,00			-292,05
37,25	99,33			-88,42
4,03	10,76			-1218,54
4,42	11,80			-1107,12
27,08	72,22			-139,95
11,40	30,40			-399,70
106,17	283,11			0,70
14,27	38,04			-309,57
16,67	44,44			-257,95
82,78	220,76			-12,91

Taulukko 3. Kahden vuoden kustannuslaskelma.

valmistusaika (h) robottihitsauksessa:	valmistusaika (h) käsinhitsauksessa:	hinta robottihitsattuna euroa:	hinta käsinhitsattuna euroa:	2 vuotta erotus %:
242,13	645,69			27,74
93,33	248,89			-5,93
70,00	186,67			-24,19
60,00	160,00			-36,36
149,00	397,33			14,54
16,14	43,04			-267,99
17,69	47,19			-240,13
108,33	288,89			1,66
45,60	121,60			-63,28
424,67	1132,44			36,82
57,07	152,18			-40,74
66,67	177,78			-27,84
331,14	883,04			33,42

Kustannuslaskelmien tuloksien perusteella tuotteiden valintoja voidaan pitää kannattavana. Kuuden kuukauden kustannuslaskelmassa (taulukko 1) yksi tuote on tuloksellisesti tuottava kiinteiden kulujen jälkeen. Kahden vuoden kustannuslaskelmassa (taulukko 2) tuotteista viisi on tuloksellisesti tuottavia ja rahallisesti sellaisia, että kaikkien tuotteiden yhteenlasketut kiinteät kulut on katettu ja investoinnin tulos on plusmerkkinen.

Taulukko 4. Neljän vuoden kustannuslaskelma.

valmistusaika (h) robotihitsauksessa:	valmistusaika (h) käsinhitsauksessa:	hinta robotihitsattuna euroa:	hinta käsinhitsattuna euroa:	4 vuotta erotus %:
484,27	1291,38			38,30
186,67	497,78			21,47
140,00	373,33			12,34
120,00	320,00			6,25
298,00	794,67			31,70
32,28	86,07			-109,56
35,39	94,37			-95,63
216,67	577,78			25,26
91,20	243,20			-7,21
849,33	2264,89			42,84
114,13	304,36			4,06
133,33	355,56			10,51
662,28	1766,07			41,14

Neljän vuoden kustannuslaskelmassa (taulukko 4) tuotteissa on saavutettu plusmerkkistä tulosta kolmea tuotetta lukuun ottamatta ja näistä vähiten miinuksella oleva on sellainen tuote, joka on osa robotisoitavaa tuoteperhettä. Kaksi eniten miinuksella olevaa tuotetta on sellaisia, joiden valinta perustui valmistuksellisiin tekijöihin. Valmistuksellista ja laadullista painoarvoa pitää miettiä tarkemmin, jotta saadaan perusteltu syy siirtää tuotteet hitsausautomaatioon. Neljän vuoden kustannuslaskelman (taulukko 4) toteutuessa voidaan pitää tuotteiden siirtoa hitsausautomaatioon merkittävänä kustannussäästönä sen lisäksi, että tuotteista saadaan tasalaatuisempia.

## 6 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena ollut kymmenen tuotteen lista saavutettiin ja tuotteiden siirrolle käsinhitsauksesta hitsausautomaatioon saatiin perusteltuja syitä. Kustannuslaskelmien kautta työlle saatiin varmistusta tuottavuuden kasvusta ja lukuarvoja tuotteiden tunnistamiseen tulevaisuudessa.

Opinnäytetyön alussa itselläni olleet oletukset aiheen ympärillä muuttuivat työn edetessä ja käsitys aiheen kokonaiskuvasta selkeytyi. Opinnäytetyön teoriaan tutustumisen jälkeen oli selvää, että yrityskohtaiset tuotantoprosessit vaikuttavat tässä työssä tehtyihin valintoihin. Työtä pidän hyödyllisenä omasta näkökulmasta, sillä se tarjosi uutta opittavaa varsinkin ohutlevyrakenteiden suunnittelussa ja hitsattavien teräsrakenteiden robotisoinnista.

Konenäköinvestointi vaikutti lähtötilanteessa sellaiselta asialta, joka sallisi monipuolisempaa hitsausautomaatiota yrityksessä. Tuotekantaa tutkiessa oli kuitenkin heti huomattavissa, että tuotteiden suunnittelussa on otettu huomioon robotisointiin liittyviä asioita. Yrityksen ollessa ohutlevyrakenteiden valmistaja jäisi konenäöstä saavat hyödyt pieneksi. Tuotteiden liitostyypit, fyysinen rakenne ja osatarkkuus puoltavat nykyisiä railohaku- ja seurantajärjestelmiä. Konenäön lisääminen varsinkin yrityksen pienemmälle KUKA:n hitsausrobotille voisi aiheuttaa ongelmia luoksepäästävydessä.

Yrityksen robottihitsaussolujen konenäöstä voisi olla suurin hyöty siinä tapauksessa, jos hitsausrobotin lisäksi solusta löytyisi kappaleenkäsittelyyn tarkoitettu robotti. FMS-järjestelmän mukaisessa ratkaisussa konenäköä voitaisiin käyttää osien asemoimisessa ja siirroissa. Laajentaessa ohutlevyrakenteista tuotteisiin, joiden ainevahvuus on plasmaleikkauksella tehtävää, olisi konenäön hyödyt suurempia muuttuvan railotilavuuden ja paikoitusvirheiden takia.

Panostaminen vaihe- ja silloitusaikoihin olisi potentiaalinen investointi tuotannon ollessa sarjatuotantoa, pieniä eräkokoja ja ohutlevyrakenteita. Nollapistekiinnitin tai vastaavanlainen ratkaisu hitsauskiinnittimiin nopeuttaisi vaihdeajoja ja parantaisi hitsauskiinnittimen keskittymistä paletilla. Tämänkaltainen investointi tukisi myös ohjelmoinnin yksinkertaistamista railonhaku ja -seurantajärjestelmien osalta, koska hitsauskiinnitin saataisiin keskitettyä riittäväälle tarkkuudelle ja ohjelmaan ei tarvitsisi sisällyttää railonhakua.

## 7 Lähteet

- Aaltonen, A. & Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio Porvoo: WSOY  
Esab Oy. ESABIN OSAAMISKEKUS, MIG/MAG-HITSAUS.  
<https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/mig-mag-hitsaus.cfm>  
18.1.2020
- Huber, S. How Seam Tracking Solutions Compare  
<https://blog.binzel-abicor.com/how-seam-tracking-solutions-compare>  
6.3.2020
- Huber, S. TH6x Optical Seam Tracker, Navigation TH6x System Overview  
[https://www.binzel-abicor.com/uploads/Content/USA/PDF/Files/PDF\\_Files\\_OTHERS/LIT.9252\\_TH6x\\_Seam\\_Tracking\\_0319\\_Web.pdf](https://www.binzel-abicor.com/uploads/Content/USA/PDF/Files/PDF_Files_OTHERS/LIT.9252_TH6x_Seam_Tracking_0319_Web.pdf) 4.3.2020
- International Federation of Robotics. Robot density in the manufacturing industry.  
2018 16.1.2020
- Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Tampere: Suomen Robotiikkayhdistys Ry
- Lempiäinen, J. & Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu-puoliksi valmistettu. Helsinki: Hakapaino Oy.
- SFS-julkaisu. SFS-EN 15607:2019. Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Yleisohjeet 16.2.2019
- Suomen Levyprofiili Oy. 2020. Yritys. <https://suomenlevyprofiili.fi/yritys> 23.2.2020
- VTT. Monien mahdollisuuksien tekniikkaa.  
<https://www.vtt.fi/Impulssi/Pages/Robotiikka-%E2%80%93-monien-mahdollisuuksien-tekniikkaa.aspx> 4.3.2020