



**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
*Lahti University of Applied Sciences*

# JOUSTAVAN HITSAUSJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Mekatroniikka  
Tuotantopainotteinen koulutusohjelma  
Opinnäytetyö  
Kevät 2014  
Nicolas Nurminen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka

NURMINEN, NICOLAS:

Joustavan hitsausjärjestelmän  
käyttöönotto

Mekatroniikan opinnäytetyö, 63 sivua, 0 liitesivua

Kevät 2014

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyön tarkoitus oli Orfer Oy Valmistuspalvelun teräsrakennetuotannon modernisointi, hitsausrobotijärjestelmän ylösajo ja automaatiota tukeva menetelmäkehitystyö.

Työssä kehitettiin yrityksen sisäistä hitsausrobotiikan osaamistasoa ja luotiin edellytykset tehokkaammalle teräsrakennetuotannolle joustavan hitsausjärjestelmän keinoin.

Opinnäytetyön tuloksena yrityksen teräsrakennevalmistus kykenee hitsausautomaatiolla ja menetelmäsuunnittelulla tehokkaampaan ja yhdenmukaistettuun tuotantoon tulevaisuudessa.

Asiasanat: Orfer Oy, joustava hitsausjärjestelmä, ylösajo, hitsausrobotiikka

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Technology

NURMINEN, NICOLAS: Flexible Welding System

Bachelor's Thesis in mechatronics, 63 pages, 0 pages of appendices

Spring 2014

ABSTRACT

---

The purpose of the thesis was modernization of the Orfer Oy Valmistuspalvelut steel structure production by introducing a welding robot system and doing method development work to support automation.

The objective was to improve the company's knowledge of welding robotics at the production level and make preconditions to enable steel structure production with a new flexible welding system.

As an outcome of this work, the company is capable to enhance and standardize its steel structure production with welding automation and method development.

Key words: Orfer Oy, flexible welding system, welding robotics

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	ROBOTIIKKA	2
2.1	Robotiikan historiaa	4
2.2	Nykyaikainen robotiikka	5
2.3	Käytössä olevat robottisovellukset Suomessa	6
3	HITSAUS	7
3.1	Hitsausprosessit	7
3.1.1	Metallikaarihitsaus	7
3.1.2	Metallikaaripulssihitsaus	8
3.2	Automatisoitu MIG/MAG-hitsaus	11
3.2.1	Käsivarsirobotin hitsausvarustus	11
3.2.2	Hitsausrobotin automaattinen prosessinvalvonta	13
3.2.3	Hitsausrobotiikan edut/haitat verrattuna manuaalihitsaukseen	17
4	FM-JÄRJESTELMÄ	20
4.1	FMS:n toimintaperiaate	21
4.2	FM-järjestelmän joustavuus	23
5	FW-JÄRJESTELMÄ	25
5.1	FW-järjestelmän toimintaperiaate	25
5.2	Järjestelmän ohjausrajapinnat	27
5.3	Käytetyt tekniset ratkaisut	28
5.3.1	Hitsauspaletti	28
5.3.2	L-pöytä ja kuljettimet	30
5.3.3	Hitsausvarustus	33
6	HITSAUSJÄRJESTELMÄN YLÖSAJO	35
6.1	Hitsausvirran ja langansyötön linearisointi	35
6.2	Hitsauksen laatuongelmat	35
6.3	Railonseurantatoiminnon käyttöönotto	39
6.4	Railonhakutoiminnon kehittäminen	42
6.5	Hitsauksen lämpövaikutukset	43
7	TUOTTEIDEN SISÄÄNAJO	45
7.1	Oilon ME- rungon valmistusmenetelmä	45
7.2	Oilon 800-1200 ME -rungon valmistuksen kustannusrakenne	46

8	ROBOTTIHITSAUKSEN KANNATTAVUUSLASKENTA	50
9	FWS-JÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN	53
9.1	Menetelmäkehitys	53
9.2	Järjestelmäohjaimen päivittäminen	53
9.3	Robottihitsauksen tehostaminen	54
10	YHTEENVETO	55
	LÄHTEET	56
	LIITTEET	58

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö sai alkunsa, kun toimin syyslukukauden 2012 työharjoittelujaksolla Orfer Oy Valmistuspalvelun tiloihin siirrettävän maalaamon projekti-insinööriharjoittelijana. Yritys toi esille kehittämistarpeensa hitsausautomaation osalta jo varhain työharjoittelujakson aikana.

Yritys näki tuotannossaan kehittämistarpeen, koska menetelmät perustuivat vahvasti käsityöhön ja manuaalihitsaukseen. Jotta teräsrakennetuotteet voitaisiin jatkossa valmistaa joustavan hitsausrobotiikan keinoin, täytyi uusi automaattinen tuotantojärjestelmä saattaa toimintaan ja kehittää sitä tukevat tuotantomenetelmät.

Opinnäytetyön aihe oli varsin tarkoin rajattu uuden FWS-järjestelmän ylösajoon ja menetelmäkehitystyöhön. Menetelmäkehitystyön pohjaksi opinnäytetyössä selvitettiin ja opeteltiin Kawasaki-robotin hitsausominaisuudet, todennettiin ne menetelmäkokeilla ja vietiin käytäntöön lopputuotteiden tuotantomenetelmien suunnittelulla ja käytännön toteutuksella. Työ sisälsi hitsauskokeiden ja menetelmäkehitystyön rinnalla robottihitsattavien tuotteiden yhtenäisten tuotantotapojen ja menetelmien kehittämisen, FWS:n välivaraston ohjauksen suunnittelun, hitsausrobotiikan osaamisen kehittämisen ja kouluttamisen tuotannossa sekä hitsausautomaation parametrien säädön ja vakiinnuttamisen tuotantoon.

Opinnäytetyössä kuvataan ensin tekniikkaa, johon joustava hitsausjärjestelmä pohjautuu. FWS-järjestelmässä yhdistyvät FM-järjestelmäohjaus, robottiautomaatio ja hitsaustekniikka. Ensimmäisissä luvuissa kerrotaan edellämainittujen teknisten kokonaisuuksien perusidea ja toiminta. Perustiedon jälkeen keskitytään Orfer Oy:n suunnittelemaan ja valmistamaan FWS-järjestelmään. Teoriatiedon jälkeen käsitellään projektin ylösajossa ilmenneitä haasteita ja ratkaisuja. Lopuksi avataan yksittäisen tuotteen valmistuksen kustannusrakennetta ja lasketaan robottihitsauksen kannattavuutta sekä pohditaan koko järjestelmän kehityskohteita tulevaisuudessa.

## 2 ROBOTIIKKA

Robotin määritelmään sisältyy monenlaisia mekatronisia laitteita, joita ei normaalisti mielletä robotti-nimen alle. Robotin tulee olla itsenäinen laite, joka toistaa tiettyä ohjelmoitua rutiinia. Nykypäivänä kehitys on tuonut mukanaan uudelleenohjelmoitavuuden. Paitsi että robotin tulee toistaa sille määrättyä tuotannollista tehtävää, niin sen täytyy olla myös helposti valjastettavissa uuteen työhön. Tämä tarkoittaa, että ihannetilanteessa ainoastaan robotin parametreja tai ohjelmia muutettaessa laite suorittaa päivitettyyn tuotantoon vaadittavaa liikerataa eikä mekaanisille muutoksille ole tarvetta.

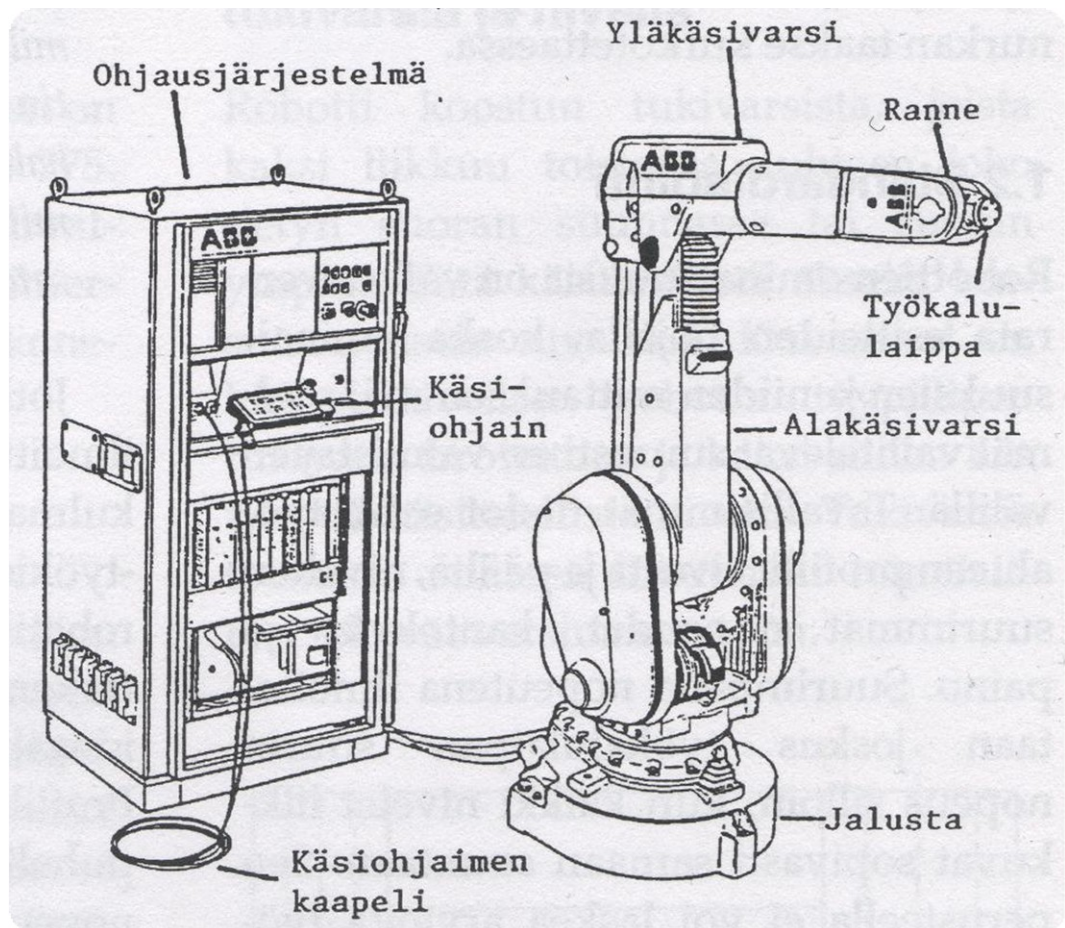
*Kansainvälisen robottiyhdistyksen määritelmän mukaan robotti on uudelleen ohjelmoitavissa oleva monipuolinen vähintään kolminivelinen mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa (Suomen robotiikkayhdistys ry 1999,13).*

Robotin nivelakseleista puhutaan usein nimillä vapausakselit. Kahden osan yhtymiskohdassa on nivel, joka mahdollistaa liikkeen toisiaan vasten. Kaksi toisissaan nivelellä kiinni olevaa akselia muodostavat vapausasteen. Vapausasteet muodostavat yhdessä robotin työalueen. Kuvassa 1 on eritelty robottityypit ja niiden teoreettiset työalueet. Kiertyvänivelisessä robotissa vapausasteita voi olla neljästä kuuteen tai jopa enemmän riippuen robotin työkalupisteeseen kiinnitetystä työkalusta tai ulkoisista lisäakseleista. Robotti voi esimerkiksi käyttää apunaan kääntöpöytää, jonka lisäakselit tuovat kappaleen paremmin robotin ulottuville. Kuvassa 2 on esitelty yleisimmän käytössä olevan robottityypin eli käsivarsirobotin rakenne.

Nimitys pääakseleiden mukaan	Rakenne	Kinemaattinen kaavio	Työalue
Suorakulmainen robotti			
Sylinterirobotti			
Napa-koordinaatisto-robotti			
Scara-robotti			
Kiertyvänivelinen robotti			
Rinnakkaisrakenteinen robotti			

Kuva 1. Robottien ryhmittely akselien mukaan (Suomen robotiikkayhdistys ry 1999, 12.)





Kuva 2. Käsivarsirobotin rakenne (Suomen robotiikkayhdistys ry 1999, 13.)

## 2.1 Robotiikan historiaa

Robotti käsitteenä on melko vanha ja sitä on ensimmäistä kertaa käytetty jo 1900-luvun alkupuolella. Tuolloin robotti esiintyi näytelmissä tai kirjoissa mielikuvituksellisena viihteenä eli scifinä, mutta nykyään robotteja on jo miljoonia kappaleita erinäisissä tehtävissä palvelemaan koko ihmiskuntaa.

*Termin robotti keksijänä voidaan pitää tsekkiläistä näytelmäkirjailijaa Karel Capekia, jonka näytelmässä "RUR – Rossum's Universal Robots" (1928) sana ensimmäistä kertaa esiintyy. Näytelmä määrittelee robotit kemiallisin keinoin tuotettuina ihmisenkaltaisina organismeina, joiden ainoa funktio oli palvella ihmiskuntaa. Capekin visio on pessimistinen kuvaus sorrosta ja eturistiriidoista: teos päättyy robottien kansannousuun. (Huttunen 2004.)*

Jyri Huttusen (2004) mukaan robotiikan kehitysasteet voidaan jakaa kolmeen ajanjaksoon. 1950- ja 1960-luvuilla robotiikkaa voidaan nimittää sähkömekaaniseksi aikakaudeksi. Robotti oli vielä tuossa vaiheessa enemmän

mekaaninen kuin sähköisesti ohjattu laite. 1960-luvulla robotiikassa alettiin käyttää ensimmäistä kertaa tietokonepohjaisia ohjausjärjestelmiä. Erilaisia ohjausarkkitehtuureita kehitettiin, joihin kolmas ajanjakso 1980-luvun puolivälistä nykypäivään pohjautuu.

## 2.2 Nykyaikainen robotiikka

Digitaalinen signaalinkäsittely eteni 90-luvulle tultaessa nopeimmin koko tietokonejärjestelmien aikakaudella. Suurin mullistus oli adaptiivisten toimintojen siirtäminen robotin yhteyteen. Erilaiset tuotantoprosesseihin vaikuttavat muuttujat voidaan nykyisin poissulkea tai kompensoida automaation keinoin. Esimerkiksi hitsausrobotiikassa voidaan käyttää railonhaku tai -seurantatoimintoja, jotka varmistavat hitsattavien saumojen tarkan paikoituksen työkappaleeseen nähden.

1990-luvulla tietokonejärjestelmien laskentateho kasvoi vauhdilla. Tietotekniikka oli myös tavallisten ihmisten ulottuvissa hintojen laskiessa kaiken aikaa. Myös anturitekniikassa tämä tarkoitti kustannustehokkuutta. Kaikuluotaimet, digitaalikamerat, laseretäisyysmittarit ja muut mittaussignaaleja kehittävät laitteet yleistyivät. Myös robotiikka on hyötynyt elektroniikan kehityksestä.

*Robotiikkaan liittyvien tekniikoiden kehittyminen on ollut nopeaa, ja robotit ovat tulleet ihmisille paljon arkipäiväisimmiksi mm. palvelurobotiikan ansiosta. Valtaosa roboteista on toki vielä teollisuuden tarpeisiin tehtyjä. Teollisuuteen sijoitetut robotit ovat tärkeä osa sen toimintaa, ja ilman niitä monen yrityksen kilpailukyky ei olisi riittävä kovassa kansainvälisessä kilpailussa. Tärkein lenkki robottien käytössä on kuitenkin ihminen. (Suomen Robotiikkayhdistys ry 1999, 4.)*

Robotiikan ohjausjärjestelmät ovat viime vuosikymmeninä kehittyneet niin paljon, että lähes jokainen voi tietyn perehdytyksen jälkeen tehdä aiemmin monimutkaisiksi miellettyjä ohjelmakokonaisuuksia. Robotin ohjelmointi on yksinkertaisimmillaan robotin ohjaamista haluttuun pisteeseen ja kyseisen paikkatiedon tallentamista. Ohjelmaa robotti suorittaa siirtymällä tallennettuihin pisteisiin opetetussa järjestyksessä. Nykyisin ohjelmointia helpottavia apuvälineitä ovat niin sanotut offline-ohjelmointityökalut, joissa käyttäjä voi virtuaalimaailmassa luoda robotille ohjelman sekä testata sen toimivuutta ennen

siirtämistä fyysiselle robotille ja tuotantokäyttöön. Tämä vähentää muun muassa turhia tuotannon pysähdyksiä ja laitteisto pysyy kaiken aikaa tuottavassa tilassa.

### 2.3 Käytössä olevat robottisovellukset Suomessa

Viimeisin Suomen robotiikkayhdistys ry:n tekemä tilasto uusista käyttöönotetuista roboteista Suomessa on vuodelta 2011. Kappalemäärällisesti suurimmat käyttökohteet ovat kappaleenkäsittely ja paletointi sekä hitsaussovellukset. Suomessa otettiin käyttöön 30 uutta hitsausrobotia vuonna 2011. Suosituin robotisoitu hitsausprosessi oli kaarihitsaus. Yleisesti eniten robotteja käytetään hitsausprosesseilla pistehitsaus ja kaarihitsaus. Kyseiset prosessit ovat verrattain helppoja automatisoida ja muiden hitsausprosessien robottisovellukset ovat hyvin usein tiettyyn tuotantoon sidottuja räätälöityjä ratkaisuja. (Suomen teollisuusrobottilasto 2011.)

Suomen Robotiikkayhdistys ry on tuoreimmassa tiedotteessaan varsin huolissaan uusien robotti-investointien vähydestä. Yhdistyksen mukaan huolestuttavinta on tipahdus alle välttämättömien korvausinvestointien tason. Tällä hetkellä tuotannon tehokkain laitekanta jatkaa rapautumistaan ja robottikanta laskee vuosittain noin 4 %. Suomen Robotiikkayhdistys ry näkee nykyisen suuntauksen johtuvan maailmantalouden tilanteesta, mutta muistuttaa edelleen investointien tarpeellisuudesta. (Suomen teollisuusrobottilasto 2012.)

### 3 HITS AUS

Yleisesti hitsaus voidaan käsittää kappaleiden liittämisenä toisiinsa lisäaineella tai ilman. Hitsauksessa kappaleisiin kohdistetaan energiaa, joka saa ne liittymään toisiinsa muodostaen jatkuvan yhteyden. Liittyessään metallien molekyylit liittyvät toisiinsa muodostaen kiinteän liitoksen. (Lukkari 2002, 11.)

*Hitsausta käytetään mm. metallien, muovien ja keraamien liittämiseen. Hitsausta voidaan kutsua myös liitoshitsaukseksi, kun sitä käytetään liittämiseen. Hitsausta voidaan käyttää myös kappaleen pinnoittamiseen, jolloin siitä käytetään termiä päällehitsaus. (Lukkari 2002, 11.)*

#### 3.1 Hitsausprosessit

Hitsauksen alalajit jaotellaan sulahitsaukseen ja puristushitsaukseen. Puristushitsauksessa eli niin sanotussa kitkahitsauksessa kappaleiden liitoskohtien pinnat puristetaan yhteen samalla kuumentaen liitoskohtaa. Määrätyllä voimalla saadaan aikaan kiinteä liitos. Puristushitsauksessa olennaista on, että yleensä kyseisessä prosessissa ei käytetä lisäainetta. Puristushitsaus on varma, mutta vain tiettyihin spesifeihin prosesseihin käytettävä hitsaustapa. Puristushitsausprosessi on erittäin usein automatisoitua tai osittain automatisoitua, koska se vaatii paljon liike- ja puristusvoimaa.

Sulahitsauksessa sulatetaan kappaleet yhteen saumaan kohdistettavalla energialla, joka sulattaa liitospinnat toisiinsa. Sulahitsaukselle on ominaista käyttää lisäainetta ja suojaavaa väliainetta, eli useimmiten kaasua. Energian siirtämisessä hitsisaumaan on monia erilaisia tapoja, kuten neste, kaasu, valokaari, säteily ja sähkövirta. Tunnetuin ja käytetyin energian siirtäjä hitsausprosessissa on valokaari. (Lukkari 2002, 23; Lepola & Makkonen 2005, 8.)

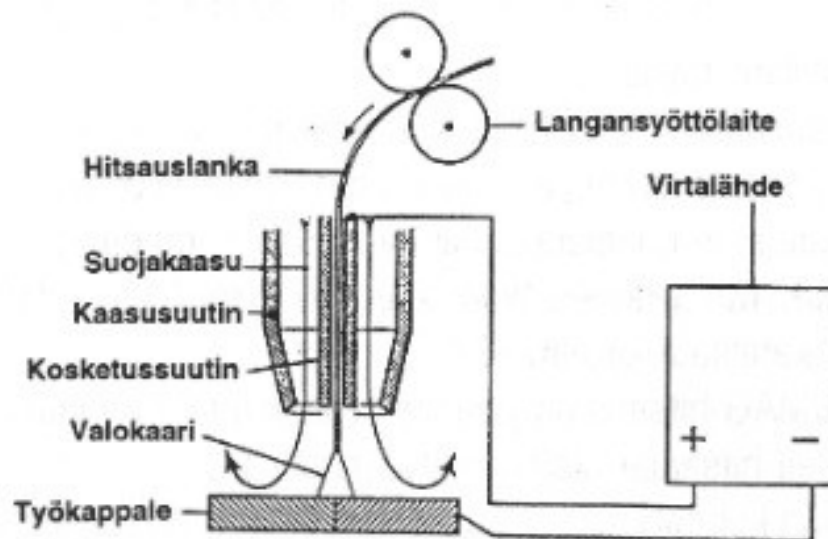
##### 3.1.1 Metallikaarihitsaus

Kaarihitsauksen alaryhmä metallikaasukaarihitsaus lienee kaikille tuttu ja tavanomaisin. Metallikaasukaarihitsauksen määritelmä:

*MIG/MAG-hitsaus eli metallikaasukaarihitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa suoja kaasun*

*ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välillä. Sula metalli siirtyy pisaroina langan kärjestä hitsisulaan. (Lukkari 2002, 159.)*

Hitsauksessa voidaan käyttää aktiivista tai inerttiä suojakaasua. Lyhenne MIG tulee sanoista Metal-arc Inert Gas Welding ja lyhenne MAG sanoista Metal-arc Active Gas Welding. Aktiivisella suojakaasulla vaikutetaan hitsaustapahtumaan ja hitsisulaan. Aktiivisia suojakaasuja ovat muun muassa happi ja hiilidioksidi. Suojakaasu voi olla seosteinen sisältäen useampaa kaasua (seoskaasu) tai täysin puhdas hiilidioksidi. Muita käytettäviä seoskaasuja ovat happi, helium, vety ja typpi. Inertti suojakaasu ei osallistu hitsaustapahtumaan vaan sen ainoa tehtävä on suojata jähmettyvää sulaa hapelta. Hitsattaessa MIG:llä suojakaasuna käytetään jalokaasuja, kuten argonia tai heliumia. Yleistettynä terästä hitsataan MAG-prosessilla ja ei-rautametalleja MIG-prosessilla. Käytännössä eri metalleja voidaan hitsata samalla hitsauslaitteistolla vaihdettaessa käytettävä suojakaasu ja/tai lisäainelanka. Hitsauslaitteiston toimintaperiaate havainnollistettuna kuvassa 3. (Lukkari 2002, 159; Lepola & Makkonen 2005, 103.)

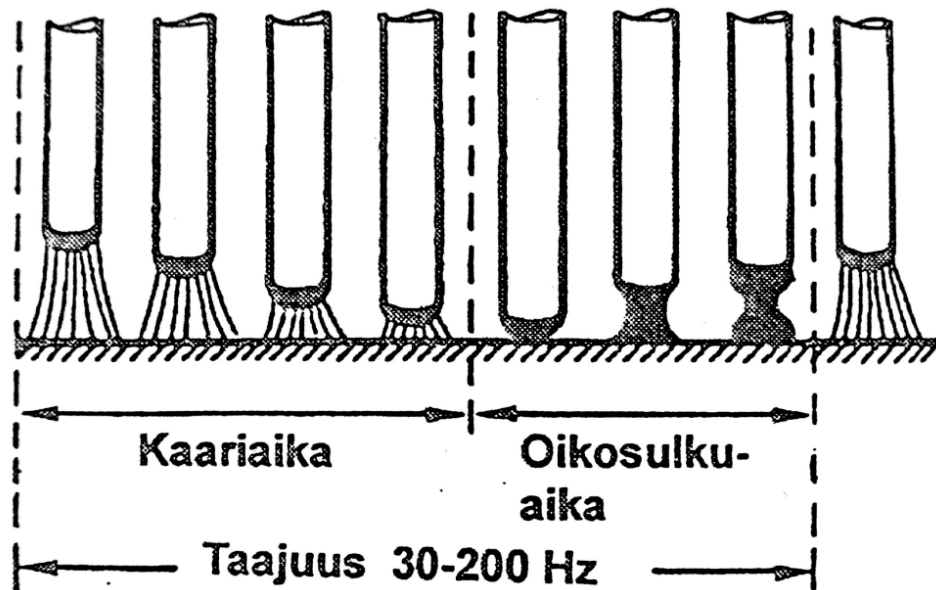


Kuva 3. Mig/Mag- hitsausprosessi yksinkertaistettuna (Lukkari 2002, 159.)

### 3.1.2 Metallikaaripulssihitsaus

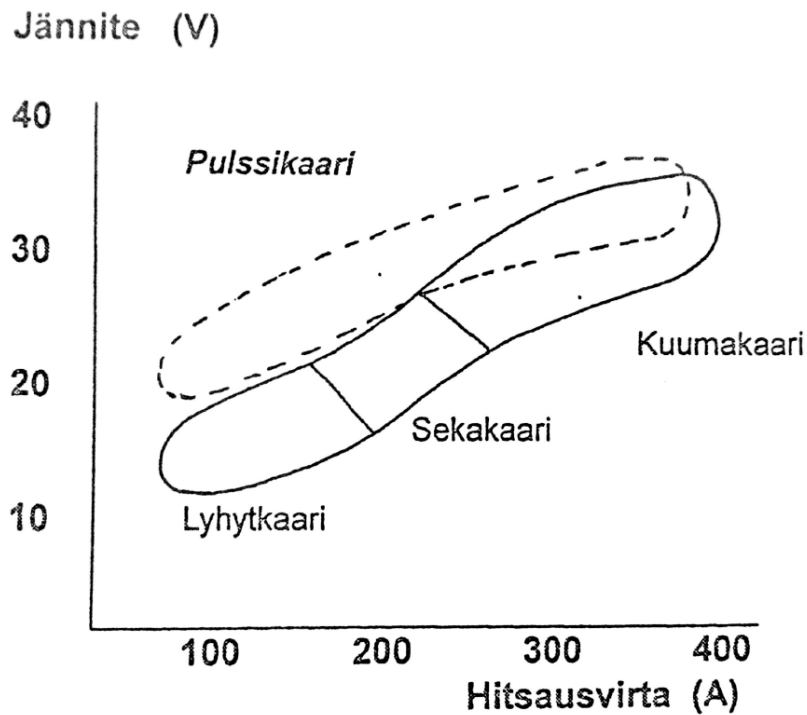
MIG/MAG-hitsaus on etenkin lyhyt- ja sekakaarialueella vahvasti oikosulkuhitausta. Tämä tarkoittaa sitä, että vapaalanka on lyhytkaarialueella

jatkuvasti kosketuksissa hitsisulan kanssa. Kuvassa 4 lyhytkaareissa tapahtuva lisäaineen siirtyminen perusaineeseen.



Kuva 4. Mig/mag-hitsaus lyhytkaarialue (Lukkari 2002, 168.)

Lisäainelanka sulaa oikosulun muodostuessa työkappaleen ja virtasuuttimen välille. Oinaista lyhytkaari MIG/MAG-hitsaukselle on sen pulssihitsausta suurempi kaaripaine. Pulssikaareissa ohjataan lisäaineen siirtymistä virran pulssituksen avulla. Pulssikaareissa ei ole erillisiä lyhyt-, seka- tai kuumakaarialueita, koska hitsaus tapahtuu täysin ilman oikosulkuja. MIG/MAG-hitsauksessa esiintyvät kaarialueet on esitetty kuvassa 5. Virta- ja jännitearvot ovat viitteellisiä. (Lepola & Makkonen 2005, 115.)



Kuva 5. Pulssikaaren työalue (Lukkari 2002, 171.)

**Pulssi-MIG/MAG- hitsauksen etuja ovat seuraavat:**

- suurempi hitsausnopeus ja hitsiaineen tuotto verrattuna lyhytkaarihitsaukseen
- pienempi hitsausenergia ja kappaleen vetelyt verrattuna kuumakaarihitsaukseen
- vähemmän roiskeita
- vähemmän hitsaushuuruja
- parempi hitsin ulkonäkö
- paksumman lisäainelangan käyttö mahdollista
- helpottaa hitsausta vaikeasti hitsattavilla lisäaineilla
- paremmat asentohitsausominaisuudet

(Lukkari 2002, 172; Lepola & Makkonen 2005, 116).

### 3.2 Automatisoitu MIG/MAG-hitsaus

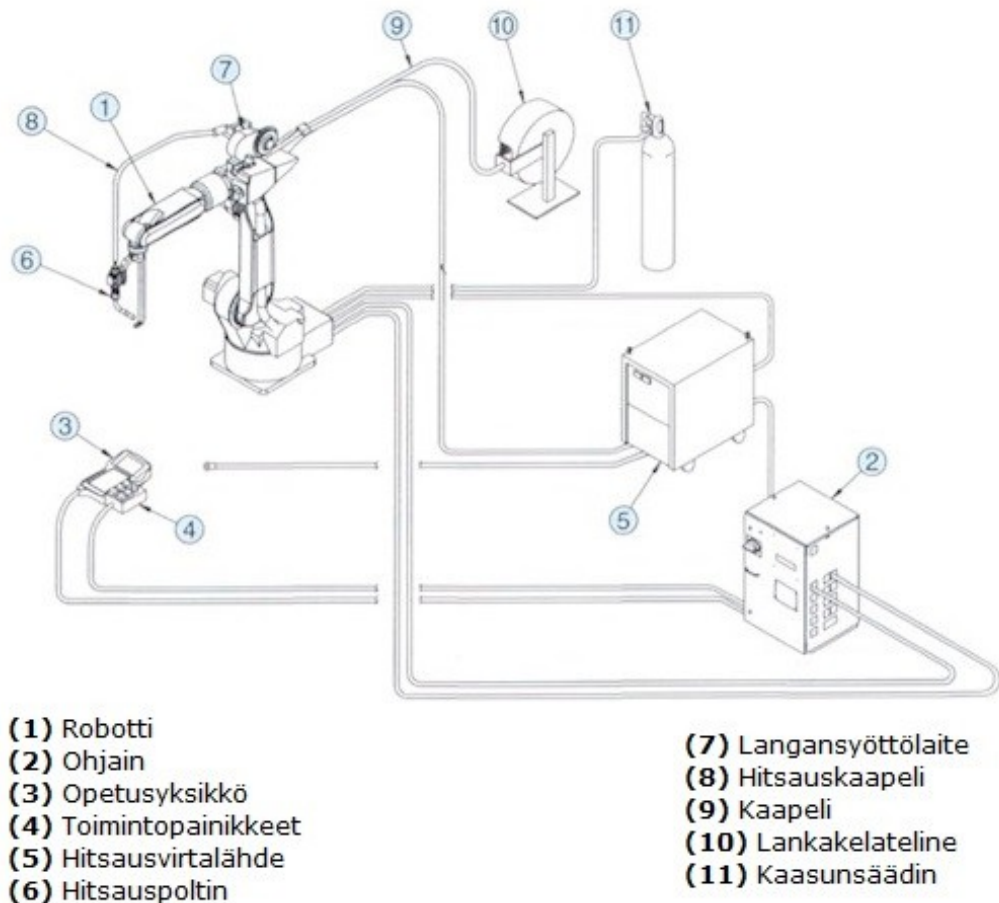
MIG/MAG-hitsaus on hitsaustekniikoista yksinkertaisimpia automatisoida ottaen huomioon esimerkiksi käyttäjäystävällisyyden, toimintaperiaatteen ja joustavuuden. Joustavuus näkyy etenkin siinä, että kyseinen prosessi on helposti muokattavissa kulloinkin valmistettavan tuotteen mukaiseksi. Automatisoitu MIG/MAG-hitsaus on joustavimmillaan robottihitsausta. Hitsausrobotiikka yleistyi Suomessa 1990-luvun loppupuolella ja valtaosa sovelluksista on tälläkin hetkellä kaarihitsausrobotteja. Robotin hitsauslisävarusteiden hankinnassa kannattaa erityisesti selvittää yhteensopivuudet ja ongelmakohdat.

*Kaarihitsauksessa robotilta edellytetään monipuolisia liikeratoja ja hyvää tarkkuutta. Tavallisesti hitsauksen robotisoinnin toimittaa hitsaukseen erikoistunut yritys, joka hankkii robottien valmistajalta yleiskäyttöisen teollisuusrobotin ja sovittaa hitsauspolttimet ja virtalähteet laitteistoon. Kaarihitsaussovelluksissa robotti ei ole ongelma vaan järjestelmän toimivuuden takaamiseksi myös hitsaustekniikka ja -parametrit on optimoitava. (Aaltonen & Torvinen 1997, 162.)*

#### 3.2.1 Käsivarsirobotin hitsausvarustus

Kaarihitsausrobotijärjestelmän perusvarustukseen kuuluvat robotti, robottiohjain, hitsausvirtalähde, lisäainelangansyöttölaite, suojakaasunsyöttö ja tarvittavat kaapelit näiden laitteiden välille. Kuvassa 6 kaarihitsausrobotin hitsausvarustus.





Kuva 6. Hitsausrobotti ja MIG/MAG-hitsausvarustus (Finnrobotics 2014.)

Oleellista hitsausrobottijärjestelmän komponenttien hankinnassa on laitteiston soveltuvuus ennalta määriteltyn tuotantokäyttöön ja niiden keskinäinen yhteensopivuus. Robottivirtalähdettä valittaessa tärkeimpiä huomioitavia asioita ovat tuleva käyttökohde, hitsattavat materiaalit, arvioitu kuormitusaikasuhde (ED %), suunniteltu hitsausnopeus, virtalähteen päivitettävyys tulevaisuudessa ja liitettävyys robottikontrolleriin. Ongelmia voi seurata esimerkiksi valitsemalla liian heikkotehoisen virtalähteen. Valmistajat ilmoittavat hyvin usein virtalähteen suurimman hetkellisen maksimitehon laitteen esitteissä, mutta kyseisellä tehoarvolla esimerkiksi 500 A voi olla kuormitusaikasuhde 60 %. Tämä tarkoittaa sitä, että hitsattaessa jatkuvalla syötöllä virtalähde pystyy 6 minuuttia standardisoidusta 10 minuutin testisyklistä tuottamaan 500 A hitsausvirran ja 4 minuutiksi hitsausvirta voi pudota jopa puoleen tavoitellusta. Tämä johtuu hitsausvirtalähteen komponenttien mitoituseriaatteesta. Mitä järeämmät komponentit ja jäähdytysjärjestelmät, sitä kalliimmaksi virtalähteen valmistus tulee. Tästä syystä virtalähdettä valittaessa täytyy arvioida hitsausparametrejä ja

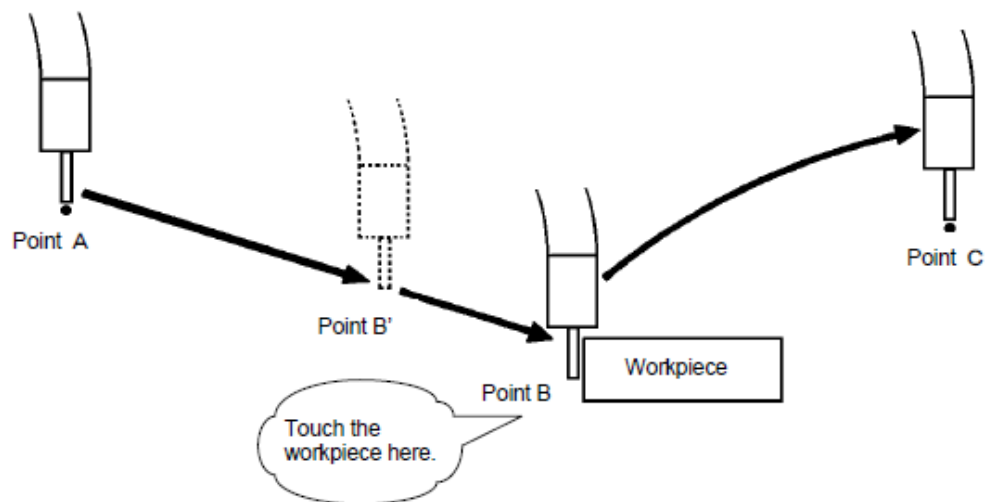
niiden vaikutusta laitevalintaan. Esimerkiksi tuotantotavoitteiden vaatimukset hitsausnopeuden ja lisääinlangan tuoton suhteen ovat merkitsevässä asemassa virtalähdettä valittaessa, koska ne ovat molemmat hitsin a-mitan kautta suhteessa käytettävään virta-arvoon. (Lukkari 2002, 179.)

### 3.2.2 Hitsausrobotin automaattinen prosessinvalvonta

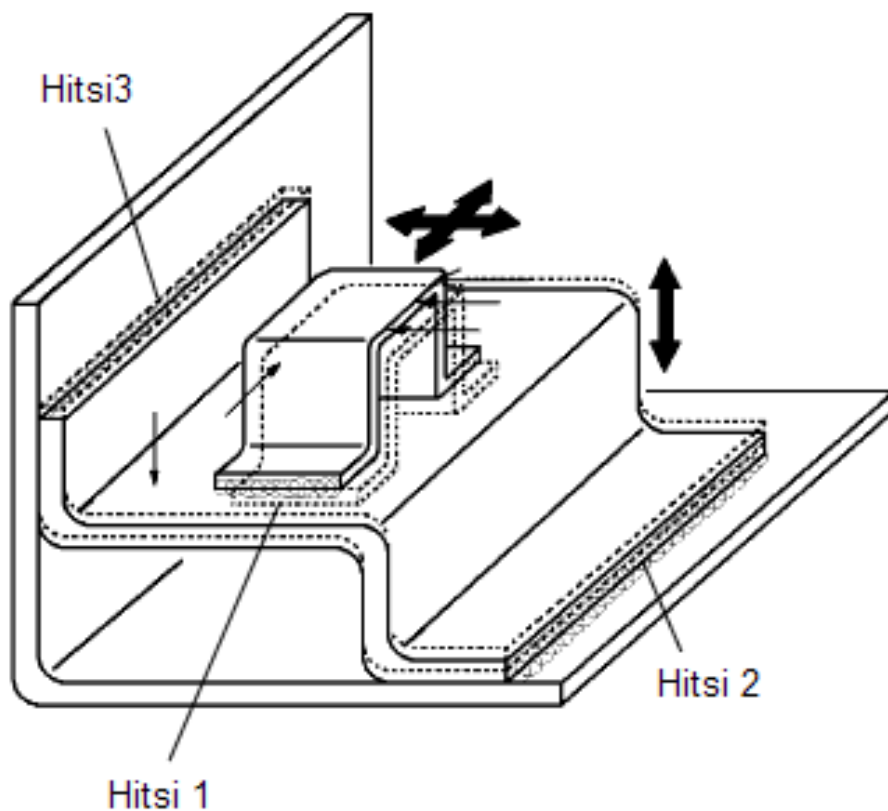
Terästuotteiden valmistukseen on tuotu uusia innovaatioita tukemaan automaattista hitsattavuutta. Muun muassa laserleikkaustekniikan yleistyminen on laskenut raaka-aineiden hankintakuluja sekä mahdollistanut monipuolisen suunnittelun, jossa jokainen tuotteen osa saadaan tukemaan laadukasta ja yksinkertaista valmistustapaa. Teräslevyt ja -putket voidaan leikata automaattisesti määrättyyn mittaan ja muotoon suoraan 3D-suunnittelun pohjalta.

Myös robottivalmistajat tarjoavat tapoja varmistaa vakaa ja keskeytyksetön tuotanto lisäämällä älykkäitä ominaisuuksia hitsausprosessiin ja sen esivalmisteluun. Kaarihitsauksessa käytettävät prosessinvalvontaominaisuudet liittyvät hitsattavan kappaleen paikoitukseen ja robotisoidun hitsausprosessin automaattiseen valvontaan. Kustannustehokkaassa optimaalisessa tuotannossa hitsattavat kappaleet eivät ole täysin mittatarkkoja keskenään, joten automaattisen järjestelmän tulee tunnistaa prosessissa tapahtuvat muutokset. Kappaleen haun ja hitsausprosessin adaptiivisia tekniikoita on useita ja niiden soveltamisen tapoja on monia. Konkreettisia esimerkkejä käytetyistä mittaepätarkkuuksien kompensointitavoista ovat railonhaku ja -seuranta. Railonhaku on esivalmistelutoiminto ennen hitsattavaa saumaa. Kuten kuvassa 7, railonhauulla voidaan jännitteellisellä vapaalangalla tai vastaavasti kaasuholkilla hakea kappaleen paikka koordinaatistossa ennen hitsausta. Kun oikosulku tapahtuu kappaleen ja hitsauspolttimen välillä, asetetaan paikkatieto muistiin ja verrataan sitä opetetun koordinaattipisteeseen. Kuvassa 8 robotti laskee eron opetetun ja tunnistetun pisteen välillä ja siirtää tarvittaessa hitsauspisteitä lasketun etäisyyden verran oikeaan suuntaan. Hitsattavat saumat voidaan sijoittaa omiin koordinaatistoihin, joilla taas on oma paikkansa robotin peruskoordinaatistossa (base coordinates). Kuvasta 9 voidaan nähdä eri koordinaatistojen sijainnit esimerkkitapauksessa. Erilaisia hakurutiineja yhdistämällä voidaan hakea

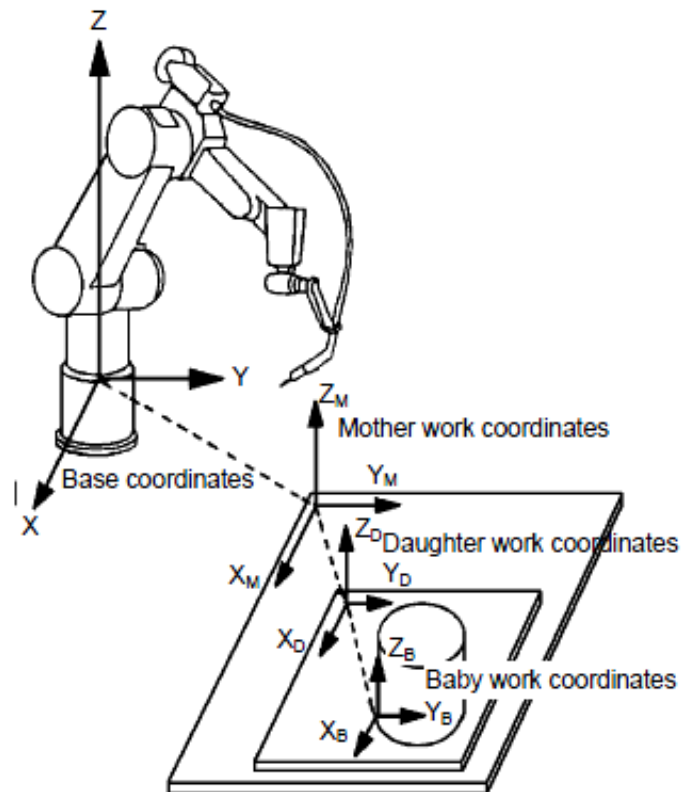
esimerkiksi yksittäisten saumojen paikoitusta vaikuttamatta samanaikaisesti muiden hitsausseamujen koordinaattipisteisiin.



Kuva 7. Railonhakutoiminnon periaatekuva (Kawasaki heavy industries LTD 2011a.)



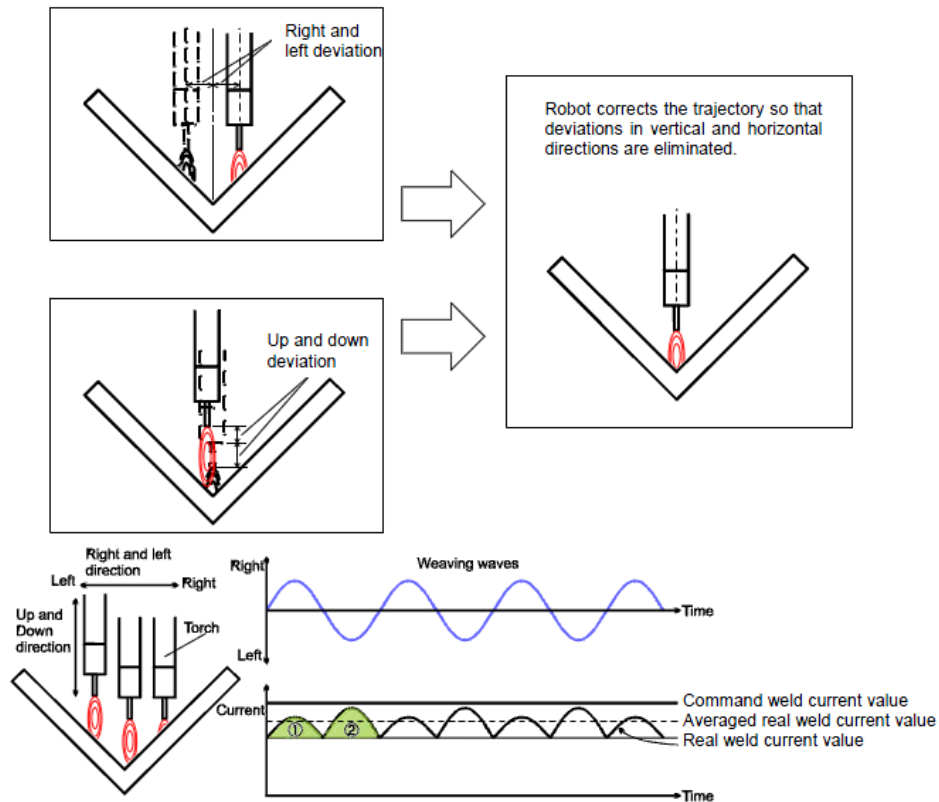
Kuva 8. Railonhauulla toteutettu kompensointi (Kawasaki heavy industries LTD 2011a.)



Kuva 9. Railonhakutoiminnon koordinaatistot (Kawasaki heavy industries LTD 2011a.)

Toinen yksinkertainen laajasti käytössä oleva toiminto on adaptiivinen railonseuranta. Kuvassa 10 nähdään railonseurannan perusidea, joka on pitää hitsauspolttimen kuljettaminen keskeisenä hitsausrailoon nähden. Hitsauspoltinta vaaputetaan railoon nähden poikittaisessa suunnassa 2 - 4 mm suuntaansa valitulla amplitudilla (A) ja taajuudella (Hz). Railonseurantalaitteisto kerää hitsausvirtatietoa vaaputettaessa ja tulkitsee sen muutoksia prosessin edetessä. Muutokset hitsausvirran aaltomuodossa aiheuttavat korjaustoimenpiteitä, eli kolvin kuljetuskohtaa siirretään tietty määrä, jotta kolvi liikkuu railossa

keskeisesti. Railonseurannalla vältetään hitsausvirheitä, jotka helposti muodostuisivat muun muassa hitsattaessa pieniä a-mittoja pitkille kaareville pinnoille osien ollessa mitoiltaan hieman epätarkkoja. Kyseisen prosessin perusongelma on kuitenkin vaaputuksen tarve, joka käytännössä rajoittaa hitsattavan sauman a-mitan koon kolmeen millimetriin, koska pienemmillä a-mitoilla vaaputustarve on sauman kokoon nähden liian leveä.



Kuva 10. Railonseurannan periaatekuva (Kawasaki heavy industries LTD 2011b.)

Yllä kuvatut hitsausprosessin laadunvarmistusominaisuudet hidastavat työkiertoa ja huonontavat paloaikasuhdetta. Railonhakua ja railonseurantaa kannattaa siksi käyttää vain tarvittaessa. Usein jigisuunnittelussa tulisi ajatella laadunvalvontaominaisuuksien tarpeen poissulkemista kustannustehokkuuden vuoksi. On tapauskohtaista, milloin massiivisemmalla jigisuunnittelulla tavoiteltavat robottihitsauksen ajalliset säästöt tulevat investointikustannuksiltaan kannattaviksi. Kaavan 1 paloaikasuhteella tarkoitetaan käytännössä hitsausrobotisovelluksen tehokkuutta. Paloaikasuhte lasketaan jakamalla hitsaustyöhön käytetty aika kaariajalla. Kaariaika taas on käytännön hitsausaika

kun, lisääinelankaa sulatetaan. Kaavalla 1 lasketaan paloaikasuhte. (Esab Oy 2008)

$$Paloaikasuhte (\%) = \frac{\text{Kaariaika} \times 100}{\text{Hitsaustyön aika}} \quad (1)$$

### 3.2.3 Hitsausrobotiikan edut/haitat verrattuna manuaalihitsaukseen

Hitsauksen robotisointi pakottaa tuotanto-, valmistus- ja menetelmäteknologiseen kehitykseen. Vastavuoroisesti se vakiinnuttaa työtavat siten, että kehitys on mahdollista työtapojen ja vaiheiden yhdenmukaistuesssa.

#### **Hitsausrobotiikan etuja:**

- Robotin suurempi hitsausnopeus. Robotti ei välitä hitsauksen aiheuttamasta säteilevästä lämpökuormasta, hankalista työasunnoista, jatkuvan yksitoikkoisen ja toistuvan työn henkisestä sekä fyysisestä kuormituksesta eikä se tarvitse elpymistä työsuoritteiden välillä. Robottihitsauksessa voidaan myös käyttää suurempia hitsausvirtoja, mikä taas tarkoittaa hitsausnopeuden nousua hitsattaessa samoja a-mittoja.
- Robotin suurempi paloikasuhde. Manuaalihitsauksessa pääosa ajasta käytetään hitsauksen esivalmistelutöihin. Näistä aikaa vievin on usein ergonomisen hitsausasennon hakeminen. Joskus taas hitsattava kappale asettaa rajoitteet hitsausasennolle tai esivalmistelutoimenpiteille. Robotisoidussa hitsauksessa vain itse hitsaustyön suorittaminen jää robotin vastuulle, mikä tarkoittaa, että esivalmistelutyöt manuaalihitsauksen laajuudessa eivät kuulu robotille ja toisaalta ne on pyritty minimoimaan jo tuotannon suunnitteluvaiheessa. Robotti ei esimerkiksi suorita ergonomisia vaan tuotannollisesti tehokkaimpia hitsausasentoja. Robotin parempi paloikasuhde ei pelkästään tule sen nopeudesta, vaan inhimillisten tarpeiden puutteista.
- Raskaat ja muut terveydelle haitalliset työvaiheet vähenevät. Robotisoidussa tuotannossa kappaleiden työvaiheiden väliset toimenpiteet tehdään robotin toimesta, kuten esimerkiksi kääntelyt ja esisilloitukset. Suurimmat terveydelliset riskit henkilöstölle teräsrakennetuotannossa tulevat työstettävien kappaleiden liikuttamisesta ja kääntämisestä eri työvaiheita varten. Toinen oleellinen riski on

muun muassa hitsaushuurujen ja hiontapölyjen aiheuttamat pitkäaikaiset terveyshaitat. Robottihitsaukseen yhdistetty kunnollinen ilmanvaihto vaikuttaa oleellisesti ammattitautien vähenemiseen.

- Tuotantokapasiteetin noustessa yksittäisen tuotteen omakustannushinta laskee.
- Tuotantotapojen ja menetelmien ollessa vakioituja niihin on helppo vaikuttaa.
- Tuotteeseen tehtävät muutokset robotisointia varten tukevat myös tuotteen valmistettavuutta manuaalihitsauksessa.
- Automaattinen tuotanto valmistaa tarvittaessa vuorokauden ympäri.
- Valmistuskustannusten laskiessa mahdollistetaan paikallinen tuotanto.
- Tuotteen laatu paranee.
- Pintakäsittelyn tarve vähenee.
- Joustavalla automaatiolla ja jigisuunnittelulla voidaan tehdä myös pieniä tuotantoeriä kustannustehokkaasti.
- Automaatioasteen nosto antaa vauhtia koko tuotannon tehostamiselle.

Tuotteiden suunnittelussa harvoin pystytään huomioimaan robotisoidun hitsauksen vaatimukset tuotteen ja sen osien rakenteessa. Robotisoitu hitsaus nostaa tuotannon tehokkuutta ja tehokkuus tuo kilpailukykyä. Kilpailukykyinen tuottaja saa työtä, joka on osin robotisoidusti tehtävissä, mutta sisältää myös käsityövaiheita ja siten ammattitaitoista tuotantohenkilökuntaa.

### **Robotisoinnin myötä tarvittavia lisäpanostuksia:**

- Investoinnit ovat alussa suuria.
- Vaatii materiaaleilta erityistä metallurgista ja geometrista tasalaatuisuutta varsinkin seostettujen terästen osalta.
- Vaatii henkilöstöltä tietotaitoa käytössä olevista menetelmistä ja prosesseista entistä enemmän. Koulutus on tärkeä osa-alue sekä robotisointia tehdessä sekä sitä ylläpidettäessä. Henkilöstölle tulisi koulutuksen kautta myös tehdä selviksi

tuotannon nykytila, tavoite- ja tahtotilat ja oikeanlaiset asenteet työtehtävien suorittamista kohtaan.

- Koulutuksen tarvetta ei välttämättä muisteta laskea investointikuluihin.

- Aiheuttaa haasteita jigsaw-suunnittelulle. Robotisoidun tuotannon rajoitteet, reunaehdot, käytettävät menetelmät sekä valmistuksen työvaiheet tulee huomioida jigsaw-suunnittelussa. Suunnitteluvaiheessa tulisi arvioida myös kustannustekijöitä sekä työvaiheiden merkityksiä kokonaisuuden kannalta. Jos robottijigistä pyritään tekemään kaikki hitsauksen työvaiheet kattava, se ei välttämättä ole enää kustannustehokas tai helppokäyttöinen. Hitsausrobottijigin suunnittelussa on oleellista miettiä koneen ja käyttäjän vuorovaikutussuhdetta ja jakaa työtehtävät tehokkaimmalla mahdollisella tavalla.

- Tuotteilta vaadittu ylisuuri laatuaste lisää helposti investoinnin kustannuksia. Robotisoitu tuotanto perustuu usein aiemmin manuaalisille työvaiheille ja hyväksi todetuille parametreille. Robotisoitu tuotanto ei välttämättä ole aina kustannustehokkaasti kykeneväinen ylisuureen laatuasteeseen. Oletamus robotisoidun tuotannon mukanaan tuomasta automaattisesti paranevasta laatuasteesta on virheellinen.

Robottivälineinen hitsaus nostaa menetelmätyön asemaa tuotannon tekijänä. Tuotannon kilpailukyky ei enää ole kiinni pelkästään operatiivisen tuotantohenkilöstön ammattitaidosta, vaan iso osa kyvykkyydestä luodaan ennen tuotannon aloitusta tuotteen valmistettavuuden ja menetelmien suunnittelussa. Tämä ei ole rasite vaan mahdollisuus, jota pitäisi käyttää myös manuaalihitsattavien kappaleiden tuotannossa.



#### 4 FM-JÄRJESTELMÄ

Teollistumisen alusta saakka on pyritty optimoimaan yksittäisten tuotantokoneiden kapasiteettia ja valmistusnopeutta. Massatuotannon ensimmäiset askeleet otettiin autoteollisuudessa pakkotahtisten käsityövaltaisten valmistuslinjojen myötä ja myöhemmin automatisoimalla valmistuslinjat. Tänä päivänä tuotannon jatkuva automaatioasteen nostaminen on lähes jokaisen massatuotantoa tekevän yrityksen elinehto. Automatisoitua tuotantoa on tehostettu vuosikymmenet ja on kehitytty tilanteeseen, jossa yksittäiset koneet ihmisten käyttäminä on jalostettu huippuunsa. Tuotteet ja niiden osakokonaisuuksien kirjo asettavat kuitenkin massaräätälöidyssä tuotannossa fysikaalisia ja ohjausteknisiä rajoitteita tuotannon nopeuttamiselle ja sitä kautta kustannustehokkuudelle. 1980-luvulta alkaen on kehitetty yksittäisistä koneista muodostuvaa tuotantojärjestelmää yhdeksi kokonaiseksi joustavaksi toimintayksiköksi. Tätä kokonaisuutta kutsutaan nimellä FMS= Flexible Manufacturing System eli suomeksi joustava automaattinen tuotantojärjestelmä.

*Teollisuutemme eräänä elinehtona edellä esitettyä taustaa vasten on pyrkiä valmistuksen ja sen ohjauksen automatisointiin. Yksittäiset laitteet pyritään yhdistämään laajemmiksi kokonaisuuksiksi ja niiden ohjaus toimimaan tietokoneiden avulla; siirrytään joustavaan valmistukseen. (Anttila & Santala 1990,13.)*

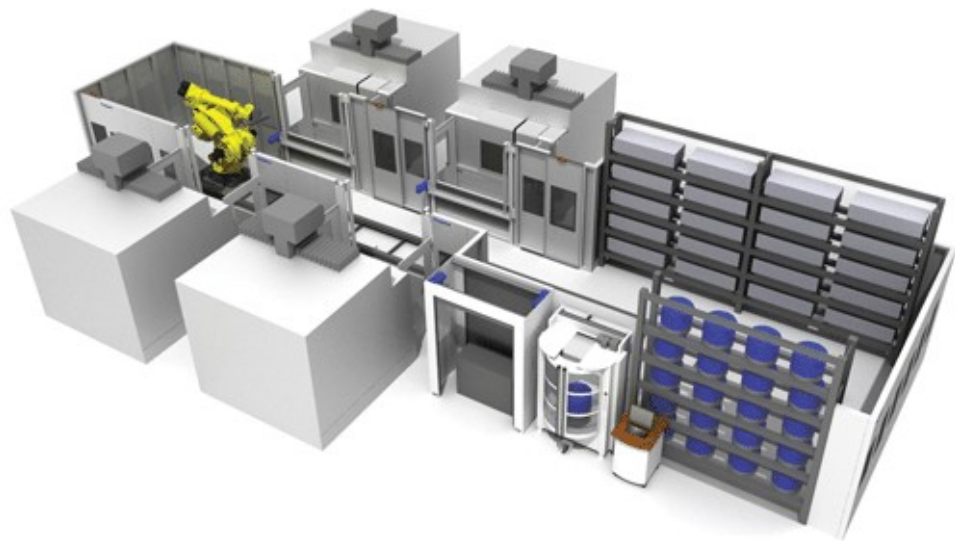
*FMS tulee sanoista Flexible Manufacturing (Machining) System. FMS-tekniikan kehitys on ollut aktiivista 1960-luvun loppuvuosista lähtien. Siihen ovat osallistuneet kaikki johtavat konepajatekniikan maat. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 154.)*

Tänä päivänä automaatio vaatii myös adaptiivisuutta, joten nykyisiin FM-järjestelmiin on tuotu mukaan robotiikkaa ja konenäköä. Koneen työpanos voidaan maksimoida sisällyttämällä automaatioon esimerkiksi omaa päättely- ja päätöksentekokykyä omaava kappaleenkäsittelyrobotti. Joustavan tuotantojärjestelmän ei siis tarvitse välttämättä enää toimia edes palettein, vaan esimerkiksi voidaan luottaa robotin tunnistavan tuotteet tavalliselta kuormalavalta. Tulevaisuudessa ihmisen työpanos päivittäisellä tasolla liittyy suurenevassa määrin tuotantolaitteiden huoltoon, tuotannon ylläpitoon ja muihin tuotantoa

tukeviin oheistoimiin. Kuvassa 11 Fastemsin valmistama paletin toimiva niin sanottu perinteinen FMS ja kuvassa 12 robotisoitu FMS. (Fastems Oy Ab 2014.)



Kuva 11. FMS-järjestelmä (Fastems Oy Ab 2014a.)



Kuva 12. Robotisoitu FMS-järjestelmä (Fastems Oy Ab 2014b.)

#### 4.1 FMS:n toimintaperiaate

Globaalin kilpailun paineessa tuotannonkehitys on suuntautunut ohjaamaan suurempia laitekokonaisuuksia. Kehittyneimmillään FM-järjestelmä käsittää tuotannon kokonaisuudessaan lähtien tuotteen suunnittelusta valmistukseen ja

valmistusta ympäröiviin toimintoihin. Itse FM-periaate on helpommin ymmärrettävissä, kun tarkastellaan erilaisia lyhenteitä ja niiden merkityksiä.

Valmistus = tuotteen konkretisointia alimmalla tasolla

Tekniikka = tuotteen valmistamiseen tarvittava kalusto

Teknologia = tekniikan käyttöön soveltuva tekninen tietämys.

FM-järjestelmä käsittää monenlaista tarkentavaa lyhennettä, joita kaikkia ei tässä yhteydessä ole tarpeellista perin pohjin tarkastella, mutta tärkeimmät ovat:

FM = joustava valmistus

FMU = joustava valmistusyksikkö

FMS = joustava valmistusjärjestelmä

FMF = joustavasti automatisoitu tehdas

RMT = rajoitetusti miehitetty tuotanto

FWS = joustava hitsausjärjestelmä

NC = numeerinen ohjaus.

FMS:n perusidea on joustavasti integroitu automaatio, menetelmätekniikka.

Ratkaisuissa tuotanto ja menetelmätekniikkaan panostamalla mahdollistetaan, että yksittäiset tuotteet voidaan valmistaa tehokkaasti sarjatuotannon tehokkuudella.

FMS vähentää ja poistaa ihmisen työpanosta esimerkiksi hitaissa, raskaissa ja terveydelle haitallisissa työvaiheissa. FMS koostuu useasta automaattisesti

ohjatusta tuotantokoneesta, jotka toimivat niille annettujen työkierto-ohjeiden mukaisesti. Kutakin yksittäistä konetta ohjataan numeerisesti NC-ohjaimella,

mutta niiden toiminnan integrointi tehdään myös numeerisesti ohjatulla

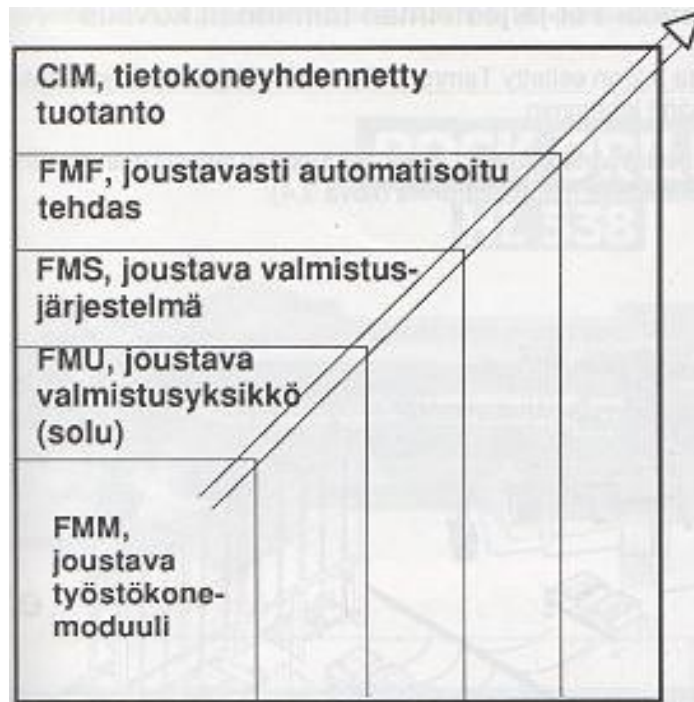
järjestelmäohjaimella. NC-ohjaimiin perustuvia koneita ovat muun muassa sorvit,

koneistuskeskukset, jyrsimet ja hiomakoneet. FM-järjestelmä koostuu kahdesta tai

useammasta FMU:sta muodostaen FMS:n. Kuvassa 13 havainnollistetaan

konepaja-automaation tasoja. Mitä enemmän laitteita yhdistetään saman

ohjauksen alaisuuteen, sitä korkeampi sekä laajempi on automaatiotaso. (Anttila, Santala 1990, 14)



Kuva 13. Konepaja-automaation tasot (Anttila & Santala 1990, 17.)

#### 4.2 FM-järjestelmän joustavuus

Joustavan valmistusjärjestelmän määritelmä on häilyvä, ja tulkintoja on monia sekä niin sanotuilla asiantuntijoilla kuin FM-järjestelmän toimittajilla. Kuitenkin FM-järjestelmälle on olemassa selviä tunnusomaisia piirteitä:

- Järjestelmä koostuu yhdestä tai useammasta toimilaitteesta.
- Toimilaitteiden uudelleenohjelmointi toiseen työtehtävään on muutettavissa nopeasti ja mahdollisesti jopa tuotannonohjauksen tasolta.
- Tuotteiden valmistusreitti- ja järjestys on muutettavissa.
- Materiaalinkäsittely on automatisoitua.
- Tuotanto pystyy miehittämättömään ajoon.

FM-järjestelmässä on pohjimmiltaan kyse tuottamattomien aikojen eliminoinnista. Tekniikka tuo mukanaan kuluja, kuten suuret investointikustannukset, huollot,

korjaukset, käyttökustannukset ja laitteiden rajallisen elinkaaren tuomat uudet investoinnit. Automaation tehokkaalla käytöllä saadaan kuitenkin aikaan havaittavia kustannushyötyjä, jos tuotantolaitteisto ja käyttäjän välinen vuorovaikutussuhde on jaettu työvaiheittain tehokkaasti. Joustava valmistusjärjestelmä on myös helposti uudelleenmuokattavissa tuotannon tarpeiden muuttuessa. (Anttila & Santala 1990, 16.)

## 5 FW-JÄRJESTELMÄ

Syksyllä 2012 käynnistettiin suunnittelutyö uuden joustavan automaattisen hitsausjärjestelmän valmistamiseksi Orfer Oy Valmistuspalvelut-tiloihin. Yrityksessä tiedostettiin nykyisen edelleen vahvasti manuaalihitsauksen varassa toimivan tuotannonkehityksen haasteet. Tuotantoa tuli ohjata kustannustehokkaampaan suuntaan ja aiemmat neljä hitsausrobotijärjestelmää olivat osoittautuneet oikeiksi ratkaisuiksi määrättyjen tuotteiden valmistuksessa. Suurimpia ongelmia monipuolisessa teräsrakennetuotannossa on saada tuotteet valmistettua siten, ettei jokainen yksittäinen tuote vaadi omia erilaisia valmistusmenetelmiään tiettyyn tuotantotapaan räätälöityine laitteistoineen. Teräsrakennetuotannolla on suuri haaste saada valmistusprosessit vakioitua riittävän yksinkertaisten menetelmien ja laitteistojen varaan, jotka sopivat mahdollisimman monen tuotteen valmistuksen tarpeisiin ja ovat tarvittaessa helposti muokattavissa uusille tuotteille. Kun jokaisen tuotteen valmistukseen investoidaan oma tuotantojärjestelmä sekä tuotantomenetelmät, ajetaan tuotanto yksittäisten tuotteiden, asiakkaiden ja heidän tilauskantansa varaan. Asiakas taas haluaa alihankkijansa valmistavan tuotteet varmennetuilla ja vakailta menetelmillä, kustannustehokkaasti, riittävällä laatu tasolla sekä minimoitumisajalla. Automaatio ja hyvin toteutettu menetelmätyö on ratkaisu kaikkiin edellä esitettyihin haasteisiin. Tämän kaiken toteuttaminen vaihtelevilla eräkoolla ja jopa yksittäistuotantona vaatii joustavaa automaatiota.

Kyseisiin haasteisiin haettiin ratkaisua jo 80-luvulla laajasti käyttöön otetun FM-järjestelmän perusajatuksen pohjalta. Valmistuspalvelut toimi teräsrakennetuotannon pitkäaikasena ammattilaisena ja asiantuntevana asiakkaana robotiikan ollessa laitetoimittajana. Itse toimin tukena järjestelmän menetelmä- ja suunnittelutyössä niin tuotantotekniikan, mekaniikan kuin ohjausjärjestelmän osalta.

### 5.1 FW-järjestelmän toimintaperiaate

FW-järjestelmässä automaatiotasoa on viety korkeammalle kuin perinteisimmässä robotihitsausjärjestelmissä. Tavallinen hitsaussolu toimii usein kääntöpöydän

avulla käyttäjän panostaessa jigipöytää robotin samanaikaisesti hitsatessa pyörityspöydän kääntöpuolta. Tuotanto pääsee jatkumaan käyttäjän kääntäessä pöydän ja uudet hitsattavat osat pyörähtävät robotin hitsattavaksi. Perinteinen tapa on tehokas ja helppokäyttöinen, mutta hieman kankea ajatellen vaikkapa muilla teollisuuden alueilla pidemmälle automatisoitua tuotantoa. Orfer Oy:n suunnittelemassa ja valmistamassa järjestelmässä yhdistetään FMS-ajattelu hitsausautomaatioon. Pääpainoarvot FWS:ssä ovat manuaalihitsauksen tarpeen minimoiminen, tuotteen valmistettavuus kokoonpanoperiaatteella, automaattinen varastointi, miehittämätön tuotanto, tarpeettomien työvaiheiden poistaminen valmistusprosessista ja koko tuotantoprosessin ja työvaiheiden yksinkertaistaminen ja ennen kaikkea sarjatuotannon tehokkuus yksittäiskappaletuotannossa.

Tehokkaan ja joustavan kappaleenkäsittelyn mahdollistaa käytännölliseksi ja kustannustehokkaaksi suunniteltu palettiratkaisu. Hitsausjärjestelmässä tuote liikkuu standardipaletin kuljettamana. Samaa palettia voidaan käsitellä ja varastoida joustavasti myös järjestelmän ulkopuolella mahdollisissa purku- ja varusteluvaiheissa. Perinteisissä ja tiettyjä vakioituja tuotteita valmistavissa järjestelmissä tuotantolaitteistoon ei ole suunniteltu joustavuutta, vaan operaattori toimii laitteiston joustavana elementtinä. Perinteinen tuotantojärjestelmä on usein kustannustehokkain ratkaisu yhden tuotteen tai tuoteperheen massatuotannossa. FW-järjestelmä on suunniteltu siten, että joustavuus perustuu tuotantolaitteistoon ja sen kykyyn käsitellä tuotteita automaattisesti ja joustavasti tuotantotilanteiden muutoksiin mukautuen. FW-järjestelmässä pyritään parempaan kuormitussuhteeseen vahvasti varioituvassa tuotannossa, joka ei olisi mahdollista vähäisemmän automaatioasteen järjestelmillä. FW-järjestelmän joustavuus rakentuu automaattisesta paletin käsittelystä, järjestelmäohjaimesta ja sen alaisuudessa toimivasta välivarastosta. Järjestelmäohjain toimii ohjaushierarkiassa hitsausrobotin yläpuolella ohjaten töiden liikkeitä järjestelmässä. Robotin tehtäväksi jää toteuttaa pyydetty hitsaustyöntö. Hitsauksen jälkeen robotti palauttaa paletin tuotteineen takaisin järjestelmäohjaimen koordinoitavaksi. Varastointi mahdollistaa tuotannon jatkuvuuden järjestelmästä riippumattomien työnseisahdusten aikana. Tällaisia ovat esimerkiksi työntekijän päivän aikana pitämät tauot, valmistelutyö, siirtyminen tuotantolaitteistolta toiselle tai vaikka

operaattorin vapaa-aika. Operaattorin tehtäviin kuuluu hitsattavien tuotteiden syöttäminen järjestelmään ja valmiiden tuotteiden purku.

## 5.2 Järjestelmän ohjausraja- pinnat

FW-järjestelmässä on tällä hetkellä kolme ohjausraja- pintaa, joiden välillä siirretään tuotantoprosessiin vaikuttavia tietoja. Järjestelmäohjaimen ja robotin välillä tietoja välittävä protokolla on Profibus.

Tietoja välitetään muun muassa:

Robotilta järjestelmäohjaimelle

- Robotin tila
- Robotin asema
- L-pöydän asema.

Järjestelmäohjaimelta robotille

- Tuotteen ja siirtovaunun sijainti
- Toimitetun tuotteen tunniste
- Hitsauskäsky.

Lisäksi robotti keskustelee hitsausvirtalähteen kanssa Devicenet-väylän avulla. Robotilta käsketään hitsausprosessi päälle/pois, kaasun virtaus, langansyöttöarvo, käytettävä hitsauskanava, hienosäätöarvo ynnä muut hitsaustapahtumaan vaikuttavat tekijät. Virtalähde lähettää paluutietoa robotille muun muassa valokaaren syttymisestä sekä toteutuneista virta- ja jännitearvoista. Suunnittelussa on otettu huomioon järjestelmän mahdollinen kytkeminen tuotannonohjaukseen. Automaatiojärjestelmän kytkeminen osaksi tuotannonohjausta ei ole välttämätöntä ja hyötyjä sekä haittoja punnitaan ennen mahdollista toteutusta. Opinnäytetyön pääpainoarvo on kuitenkin FW-järjestelmäohjaimen kehittäminen sekä tuotantomenetelmien sisäänajo. Automaatiojärjestelmää tullaan tulevaisuudessa



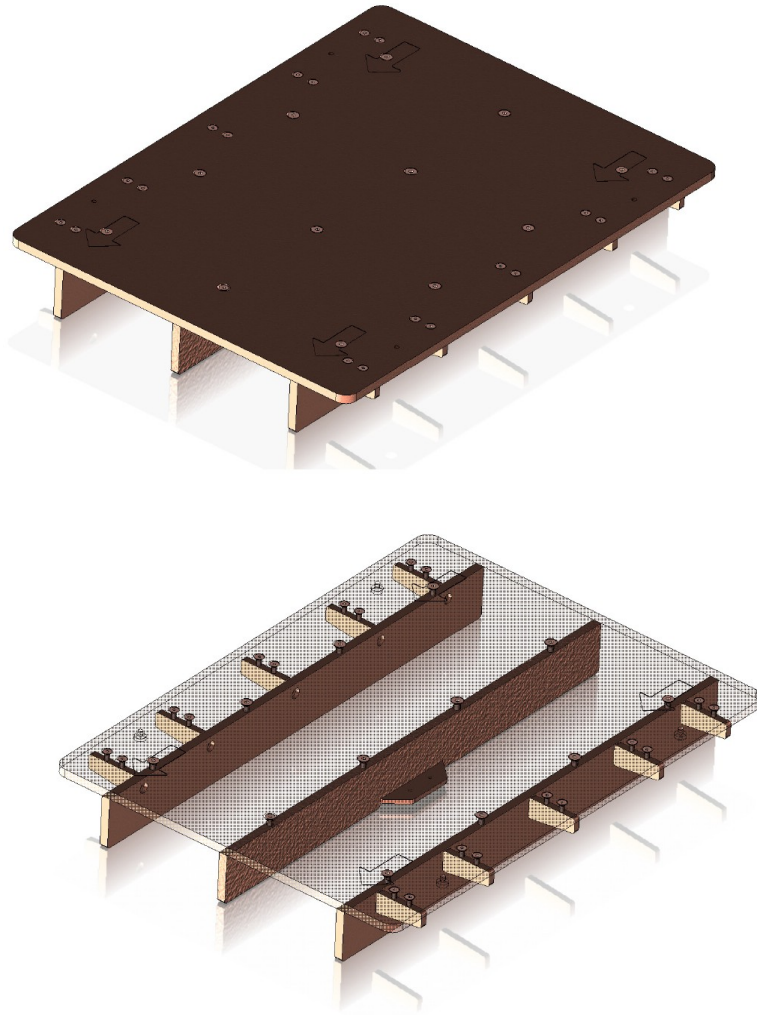
laajentamaan ainakin lisäämällä robottikantaa ja tarvetta tuotannonohjauksen liittämisestä automaattisiin järjestelmiin kartoitetaan.

### 5.3 Käytetyt tekniset ratkaisut

Lähtökohta oli suunnitella laitteisto, joka toimisi standardipaletein perinteisen FM-järjestelmän tapaan. Palettien ollessa identtisiä hitsausjärjestelmä on kaikilta osin helposti hallittava kokonaisuus. Paletin päällä asetettava jigi on tuotekohtainen ja jokaiselle tuotteelle on ohjelmoitu oma hitsausohjelmansa. L-pöydän paletin käsittelyyn ja lukitukseen käytettiin suurin osa työpanoksesta varsinkin suunnittelun osalta.

#### 5.3.1 Hitsauspaletti

Hitsauspaletti koostuu laserleikatusta 900 x 1200 x 20 S355-kansilevystä ja pulttikiinnitteisistä jalaksista. Suunnittelussa on mukailtu eurolavan standardimittoja, jolla on saavutettu helppo käsiteltävyys perinteisillä lavansiirtotrukeilla. Kuvassa 14 näkyy paletin rakenne 3D-suunnitteluohjelmassa. Paletin kansilevyyn on suunniteltu standardimallinen tartunta jigiosille ja paletit ovat täysin vaihdettavia keskenään tuotteista riippumatta.



Kuva 14. Hitsauspaletti.

Paletin suunnittelussa otettiin huomioon kustannustekijät. Ensimmäisissä suunnitelmissa paletin kappalehinta oli yli kolminkertainen nykyisestä alle 500 €:sta. Alkuperäisten suunnitelmien todettiin sisältävän ylitarkkoja toleransseja ja koneistuksen osuus paletin hinnasta oli  $2/3$ . Paletin kokoonpanohitsaus aiheuttaisi muodonmuutoksia ja metallurgisia jäännösjännityksiä. Paletti jatkokehitettiin pultein kasattavaksi, joten kokoonpanohitsauksesta, jälkilämpökäsittelyistä sekä koneistuksista voitiin luopua. Koneistuksen hyödyt olisivat jääneet minimaalisiksi jatkuvan lämpörasituksen tuomien mittamuutosten vuoksi ja uudelleen suunnitellun paletin todettiin olevan riittävän mittatarkka käyttötarkoitukseensa nähden.

**Muita pulttikiinnityksen etuja:**

- Hitsaus ei väännä palettia.
- Koneistuksen tarve on minimissä.
- Ei tarvetta päästöehkutykselle.
- Helppo kokoaminen.
- Helppo huoltaminen sekä korjaus.
- Koneistettavat osat mahtuvat yrityksen omaan koneistuskeskukseen.

#### **Valmistuskustannuksia laskevia tekijöitä olivat**

- Paletin osien laserleikkaus ja koneistusten siirto kansilevystä pieniin osiin.
- 3D- suunnittelu.
- Standardoidut kiinnityspaikat kappaleille.
- Pulttikiinnityksen mukana tuoma ylimääräisten työvaiheiden poistuminen.

#### 5.3.2 L-pöytä ja kuljettimet

Kuvassa 15 näkyy FW-järjestelmän sisäänsyöttöasema. Vasemmalla näkyvä logiikka ja sen paneeli toimivat soluohjaimena sisältäen teollisuuspc:n. Käytössä on tällä hetkellä yksi sisäänsyöttö/ulosottoasema, kahdeksan varastopaikkaa, kaksi kuljetinvaunupaikkaa ja L-pöytä. Kuvassa 16 näkyvät varastopaikat mahdollistavat miehittämättömän tuotannon.



Kuva 15. FWS:n sisäänsyöttöasema.



Kuva 16. FWS:n sisänäkymä.

Hitsausjärjestelmään valittiin Finnroboticsin L-pöytä, joka pitää sisällään L-kirjaimen muotoisen rungon ja kaksi pyöritysakselia. Pyöritysakseleille valittiin servomoottorit Kawasakin tuotevalikoimasta robottiyhteensopivuuden varmistamiseksi, L-pöytä toimii robottiohjaimen alaisuudessa, joka mahdollistaa synkronoidun ajon hitsattaessa ja luo toimivan sekä turvallisen pohjan laitteiston käytettävyydelle. Järjestelmässä on yhteensä kahdeksan vapausakselia, joilla saadaan aikaan robotin hyvä ulottuma laajasti koko tuotteen ympärille. Tarve asentohitsaukselle vähenee selvästi ja sitä myötä myös tuotteen mekaaninen kestävyys sekä muut laatuominaisuudet paranevat. Kuvassa 17 nähdään robotin paikka L-pöytään nähden.



Kuva 17. L-pöytä ja hitsausrobotti.

L-pöydän päälle kiinnitettiin Orfer Oy:n oman kuljetinpöydän paletin lukituslaitteineen. Pöydän suunnittelua paletin siirtoineen ja lukituksineen pidettiin erittäin vaativana ja projektin kannalta kriittisenä kokonaisuutena. Pöytä on ensimmäinen laatuaan ja edelleen prototyypivaiheessa, mutta jo nyt se on osoittautunut erittäin toimivaksi. Eniten käytännön haasteita tuotti maadoituksen

luotettava kosketus palettiin. Paletin lukitukseen käytetään neljää paineilmalla avautuvaa nollapistekiinnitintä, joista jokainen tarraa paletin nurkkien lukituselementtiä vasten. Lukitusvoima on jokaisella kiinnittimellä noin 3 500 kg ja lukot ovat normaalitilassa kiinni jousivoimalla. Paineilmalla avautuvat lukot ovat varmatoimisia ja turvallisia esimerkiksi laiterikon tai sähkökatkon sattuessa.

### 5.3.3 Hitsausvarustus

Hitsausrobotin varusteisiin kuuluu itse robotti, hitsausvirtalähde ja -kaapelit, jäähdytysjärjestelmä, hitsauskolvi ja langansyöttölaite. Lisäoptiona FW-järjestelmässä toimivaan robottiin liitettiin myös Kawasakin oma railonseurantalaite, Abicor Binzelin valmistamat lankajarru sekä automaattinen kolvinputsausasema. Hitsausrobotti sekä virtalähde varustellaan myös tarvittavin ohjelmistoin. Robotin ohjelmistoihin kuuluvat muun muassa railonseuranta-, railonhaku- ja ohjelmointioptiot. Ohjelmointioptioihin kuuluu Kawasakin ilmaisia ohjelmointityötä helpottavia funktioita, kuten pisteiden peilaamista ZY-koordinaattitason yli tai niiden siirtoa eri koordinaatistoissa. Ohjelmointioptioiden tarkoitus on vähentää työmäärää ohjelmoitaessa liikeratoja, kun samankaltainen työrutiini voidaan kopioida tai monistaa ja tarvittaessa siirtää XYZ-avaruudessa. Hitsausvirtalähteen ohjelmisto koostuu lisäainelangan ja hitsattavan perusaineen ennalta määritellyistä parametreista sekä lisäoptiona hankitusta WiseFusion-ominaisuudesta.

#### **Joustavan hitsausjärjestelmän hitsausvarustus:**

-Kempfi KempArc Pulse 450 -virtalähde

-Kempfi KempCool 10 -jäähdytysjärjestelmä

-Kempfi DT400 -langansyöttölaite

-Kawasaki Touch sensing unit

-Abicor Binzel-robottikaapelisarja

-Abicor Binzel-poltin

-Abicor Binzel-kolvinputsasasema.

## 6 HITSAUSJÄRJESTELMÄN YLÖSAJO

FW-järjestelmään sisällytettiin tarvittava määrä automaatiota pitäen samalla kustannukset minimissä. Tämä tarkoittaa sitä, ettei laitteistoon valittu ylimääräistä uutta ja kallista tekniikkaa. Laitteisto on monilta osin vanhojen toimivaksi osoittautuneiden yksinkertaisten teknisten ratkaisujen yhdistelmä. Kestävän ja yksinkertaisen palettien käsittelytekniikan myötä varaston ja muun mekaniikan saattaminen toimintakuntoon ei muodostunut haasteeksi vaan haasteet painoutuivat robottihitsaukseen.

### 6.1 Hitsausvirran ja langansyötön linearisointi

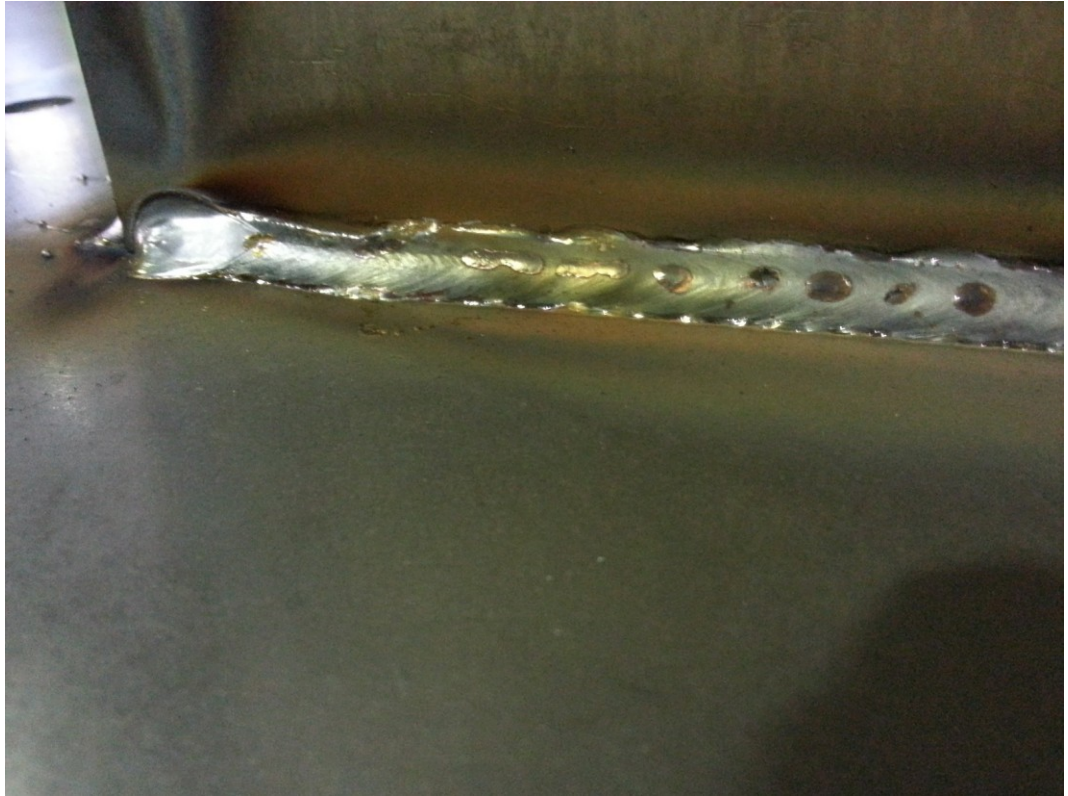
Kawasaki hitsausrobotin ja Kemppi-virtalähteen ohjaustapaerot olivat pieni haaste laitteiston toimintakuntoon saattamisessa. Kawasaki hitsausrobotin hitsausparametreihin voidaan määrittää hitsausvirta (A) ja hitsausjännite (V). Kempin robottivirtalähde vastaanottaa langansyöttöarvon (m/min) ja hienosäätöarvon (-9...0...+9). Kyseiset signaalit tuli sovittaa yhteen, jotta hitsausparametrit voitaisiin asettaa robotin ohjaimen ymmärtämään muotoon. Koska hitsausvirtalähde ei pysy vastaanottamaan hitsausvirtakäskyä, tarvittiin käytännön testejä, millä langansyöttöarvolla kulloinkin haluttu hitsausvirta toteutuu. Todellisuudessa robotti siis ilmoittaa langansyöttöarvon (m/min) hitsausvirtalähteelle, mutta operaattori syöttää hitsausparametriksi hitsausvirran (A). Robotin hitsausparametreihin jännitekenttään syötetään hienosäätöarvo, koska käytössä ovat hitsausvirtalähteen omat synergiakäyrät. Hienosäätöarvolla vaikutetaan valokaaren leveyteen ja pituuteen, joilla on suuri vaikutus hitsisauman laatuun. Käytettävä linearisointitaulukko riippuu käytettävästä hitsausprosessista. Robotin muistiin on ohjelmoitu sekä 1-MAG että PulssiMAG-prosesseille omat virta-langansyöttö- taulukot (linearisointitaulukot), joita robotti muokkaa kulloinkin käytettävän prosessin mukaan automaattisesti.

### 6.2 Hitsauksen laatuongelmat

Hitsausjärjestelmässä havaittiin heti ensimmäisistä testihitseistä lähtien ongelmia. Koekappaleilla säädetyt hitsausparametrit eivät tuottaneet haluttua lopputulosta



tuotantokappaletta hitsattaessa. Hitsauksen laatu oli erittäin vaihtelevaa täydellisestä kelvottomaan. Ongelmia lisäsi jatkuva hitsausparametrien säädön tarve, ja toisinaan säädöt eivät tuottaneet havaittavaa muutosta laadussa. Kuvassa 18 näkyy hitsauksen laatu huonoimmillaan. Sauma on a5-kokoinen pienahitsi, ja levynpaksuudet ovat 15 mm ja 5 mm.



Kuva 18. Tuotantohitsauksessa havaittu huono laatu.

Käytetty hitsausprosessi on PulssiMAG laatu- ja kustannustekijöiden optimoimiseksi. Saumasta nähdään, kuinka virtalähde on pyrkinyt vakauttamaan valokaartaan virran ja jännitteen säädöllä. Hitsisauma on täynnä virheitä, kuten reunahaava, korkea hitsikupu, liian suuri liittymiskulma ja kateettipoikkeamat. Jotta saatiin tunnistettua vaihtelevan hitsauslaadun aiheuttaja, kiinnitettiin huomiota seuraaviin asioihin:

- kolvin paikoitus saumaan nähden
- maadoituksen kunto
- lisäainelangan vapaa kulku

- lisäainelangan laatu
- kulutusosat (suuttimet, kolvit)
- suojakaasun virtaus
- hitsausparametrit
- robottijärjestelmän ohjausrajapintojen mahdolliset ongelmat.

Huomio kiinnittyi hitsausvirran suureen vaihteluun, joka oli pahimmillaan yli 40 ampeeria. Valokaari oli ajoittain erittäin levoton, sekä valokaaren pituus ja leveys muuttuivat 50 cm:n pituisella hitsisaumalla useita millimetrejä. Kyseinen muutos valokaareissa on normaalia jos kolvin etäisyys tai vapaalangan pituus muuttuvat, mutta tässä tapauksessamme ongelmia aiheutti virtalähteen virheellinen hitsausprosessin säätö. Virran vaihtelu saattaa johtua monesta asiasta, kuten lisäainelangan esteellisestä kulusta lankaputkessa, vääränlaisesta tai likaisesta virtasuuttimesta, suojakaasun syöttöhäiriöstä tai lisäainelangan metallurgisten ominaisuuksien tai ulkohalkaisijan muutoksista. Lisähaasteita saattaa ilmentyä myös esimerkiksi hitsattavan materiaalin metallurgisten ominaisuuksien muutoksista tai jopa ongelmista robotin ja virtalähteen kommunikoinnissa (etenkin analogiset signaalit). Vasta monien laiteteknisten virhelähteiden poissulkemisen jälkeen huomio keskittyi lisäainelankaan. Lisäainelanka vaihdettiin toisen valmistajan vastaavaan tuotteeseen, jolloin tulokset paranivat oleellisesti. Laadun paraneminen näkyy kuvissa 19 ja 20. Parametrien säädettävyys palautui normaaliksi ja virta- sekä jännittearvoilla oli jälleen merkitystä lopputulokseen.

Epäkurantti lisäainelanka teki valokaaren hallinnan haastavaksi. Lisäainelankaa ei tutkittu tarvittavan mittalaitteiston puuttuessa, mutta oli selvää, että langan metallurgiset ominaisuudet tai ulkoiset mittaepätarkkuudet aiheuttivat virtalähteen dynaamisessa valokaarenhallinnassa ongelmia. Käytetyt lisäainelangat ovat kemiallisilta koostumuksiltaan todella lähellä toisiaan, joten langan valmistusprosessissa on mitä todennäköisimmin tapahtunut muutoksia, jotka ovat vaikuttaneet lisäainelangan halkaisijaan. Lisäaineiden metallurgisia koostumuksia valvotaan erityisen tarkasti ja niiden valmistus on eurooppalaisten yleissitovien

standardien alainen, joten ainoaksi vaihtoehdoksi voidaan nähdä ensimmäisenä käytetyn lisäainelangan halkaisijan suurempi toleranssi.



Kuva 19. Tuotantohitsauksen hyvä laatu.



Kuva 20. Tuotantohitsauksen hyvä laatu.

### 6.3 Railon seuranta toiminnon käyttöönotto

RTPM-funktiota (Real Time Path Modulation) pääsimme testaamaan tuotannossa heti laitteiston valmistuttua. Railon seurannan toimintaperiaate on yksinkertainen, ja se on selitetty luvussa 3.3.3 Hitsausrobotin automaattinen prosessinvalvonta. Kun hitsausvirtalähteen langansyöttö ja hitsausvirta oli linearisoitu, testattiin robottihitsauksen railon seurantajärjestelmää. Ensimmäiseksi hitsattiin perinteisellä MAG-prosessilla pienaliitos 5 mm:n pelteihin. Robotille opetettiin paletin päälle kiinnitetyn pienaliitoskappaleen railomuoto ja -sijainti. Ohjelmoinnin jälkeen koekappaleen toista päätä siirrettiin erilaiseen asentoon XYZ-koordinaatistossa muuttamatta hitsauksen aloituskohtaa. Hitsattavan railon paikka ja kulma muuttuivat oleellisesti, ja hitsaus ei tulisi onnistumaan, jos railon seuranta toiminto tulkitsisi hitsausvirran takaisinkytkentätietoa väärin. Aloituskohdan jälkeen robotti kykeni kuitenkin mukautumaan railon muuttuneeseen paikkaan koordinaatistossa. Opetettujen pisteiden perusteella hitsattaessa hitsisaumasta olisi tullut epäkurantti ja hitsipalkko olisi muodostunut pääosin pienaliitoksen alalevyille.

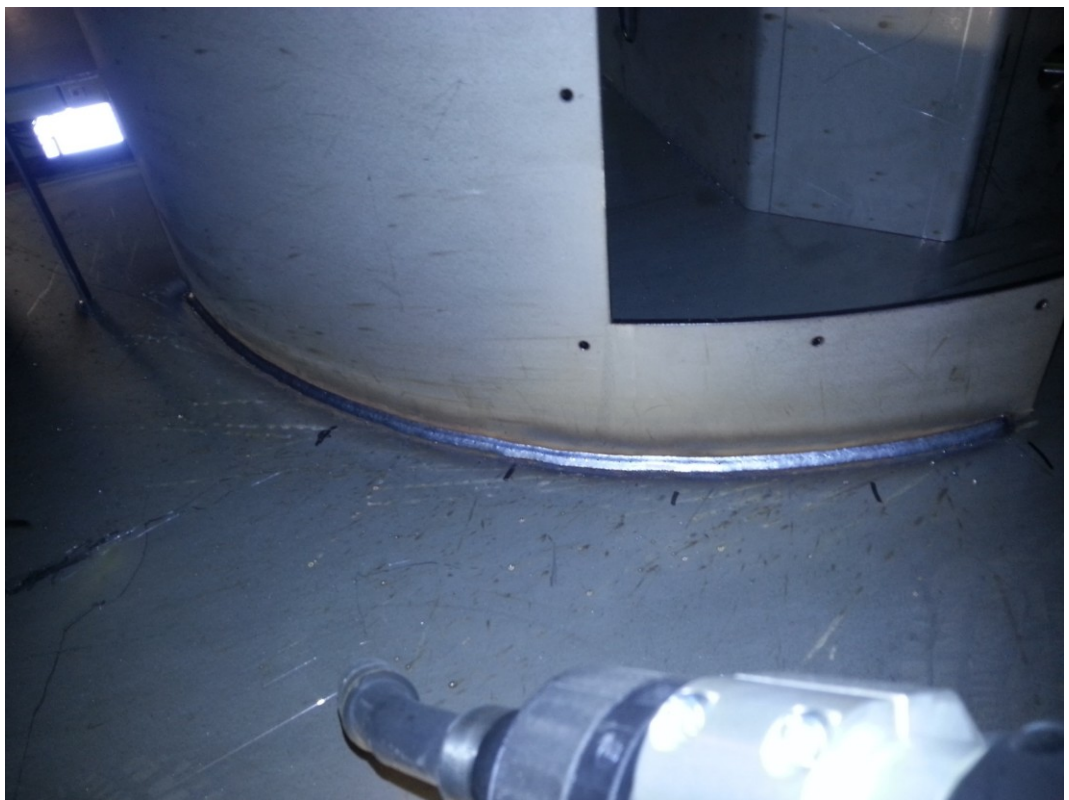
MAG-prosessilla saadut hyvät tulokset rohkaisivat kokeilemaan railonseurantaa PulssiMAG-sovelluksella. Lähtökohtaisesti Kawasaki laitteistotoimittajana ei lupaa RTPM-funktion toimivan pulssihitsauksessa, joten odotukset eivät olleet korkealla. Pulssihitsauksessa suurin ongelma on virran suuremmat ja nopeammat vaihtelut verrattuna tavalliseen pulssittomaan MAG-hitsausprosessiin. Pulssihitsauksessa ei esiinny oikosulkuja lisäainelangan ja perusaineen välillä, vaan ne leikataan pois suuritaajuuksisin virtapiikein. Tämä oli selvästi myös ongelma robotin ohjaimelle, joka ei pystynyt tulkitsemaan virtaa oikein ja railonseuranta ei toiminut toivotulla tavalla.

Kemppi tarjoaa hitsausvirtalähteisiinsä lisäominaisuutta nimeltä WiseFusion. Tätä ominaisuutta ei ole kehitetty railonseurannan parantamiseksi, mutta kyseinen virtalähteeseen ladattava lisäohjelmisto pitää valokaaren mahdollisimman lyhyenä lisäten pulssihitsaukseen ajoittaisia oikosulkuja. WiseFusion-optiolla saadaan näinollen PulssiMAG-prosessin virtakäyrä lähemmäksi perinteistä MAG-hitsausta. WiseFusion-ominaisuutta säädetään 1 ja 60 % välillä, joka tarkoittaa oikosulkujen prosentuaalista osuutta virtapulsseista. Railonseuranta alkoi toimia jo selvästi paremmin säädön ollessa 20 % ja noin 30 % todettiin olevan optimiarvo kokonaisuuden kannalta. Railonseurannan yhdistämisestä 1-MAG-prosessiin ei seurannut laatuongelmia. Koehitsauksissa havaittiin, että pulssisovelluksella tulee kuitenkin käyttää virtalähteen WiseFusion ominaisuutta hyväksi. Käytännössä railonseuranta vaatii ainoastaan puhtaan aloituskohdan ja loogiset virta-arvot, joita seurata.

Luvussa 6.1 käsitelty hitsausvirran ja langansyötön linearisointi oli oleellinen asia railonseurannan toimintakuntoon saattamisessa. Robotti käyttää sen muistiin tallennettua hitsausvirran pyyntöä analysoidessaan reaaliaikaisesti kolvin paikoitusta saumaan nähden. Syötetty hitsausvirta toimii siis ohjearvona, johon virran toteutunutta arvoa verrataan. Jos ohjearvo ei pidä riittävästi paikkaansa, ei myöskään laitteisto toimi odotetulla tavalla. Kuvissa 21 ja 22 nähdään RTPM-prosessilla hitsattuja Oilon Industry Oy:n ME-sarjan kaasupolttimen ilmanohjainpeltejä. Kaaripelti on haastava taivuttaa täsmälleen kuvien mukaiseksi ja kaaren säde vaihtelee useita millimetrejä eri kappaleiden välillä.



Kuva 21. RTPM-prosessilla hitsattu kaaripelti.



Kuva 22. RTPM-prosessilla hitsattu kaaripelti.

#### 6.4 Railonhakutoiminnon kehittäminen

Saumojen oikean paikan varmistamiseksi haetaan joko railon paikoitus ennen hitsausta tai käytetään railonseurantaa eli RTPM-funktiota. Luvussa 3.3.3 Hitsausrobotin automaattinen prosessinvalvonta käsitellään työkappaleen tunnistusta tarkemmin. Railot haetaan langalla koskettaen työkappaleen pintaa eri puolilta. Ennen railonhaun aloittamista katkaistaan vapaalanka automaattisesti tarkalleen 18 mm mittaiseksi. Vapaalangan pituus mitataan virtasuuttimen päästä ulos työntyvän lisäainelangan päähän.

Hitsaustuotannossa hitsausvirheitä havaittiin yleensä samoissa kohtaa hitsattavaa kappaletta. Palkomuodosta päätellen kolvin kuljetuskohta tai -asento eivät voineet olla oikeanlaiset raiioon nähden. Ongelmaa ryhdyttiin tutkimaan tarkastelemalla robotin liikeratoja. Robotti tulkitsi kosketuksen työkappaleeseen jokaisella ohjelmakerroilla hieman eri kohdissa koordinaatistoa aiheuttaen vääristymää hitsattavien saumojen paikoituksiin. Mittauspisteen vääristymä johtui lisäainelangan vapaasta liikkumisesta lankaputkessa kun robottia käännettiin kolvinputsausasemalta takaisin kappaleen läheisyyteen. 18mm mittaiseksi leikattu vapaalanka vaihteli kappaleen kosketusetäisyydelle viedyssä kolvissa  $\pm 5$  mm. Vapaalangan pituuden vaihtelujen minimoimiseksi tulisi lankaputken aina olla mahdollisimman lyhyt. Robottihitsauksen ulottuvuusvaatimusten vuoksi lankaputkea ei voitu lyhentää, joten otimme käyttöön lisäainelankatarraimen. Tarrain toimii juuri ennen kolvia puristaen kevyesti paineilmasyylinterillä lankaputkessa kulkevaa lisäainelankaa estäen sen vapaan liikkumisen. Paineilman poistaminen laitteesta saa langan kulkemaan vapaasti.

Laitteisto hitsaa teräsrakennetuotteita, joilla on tarkat laatuvaatimukset. Hitsien sijainnilla on suuret laatu tekniset vaikutukset ja jo millimetrin heitto hitsin paikassa aiheuttaa paljon lisätyötä virheen korjaamisessa, viimeistelyssä ja pintakäsittelyn työvaiheissa. Vapaan lisäainelangan pituuden muuttuessa railonhaku käytännössä lisäsi myöhempien työvaiheiden työkuormaa ja siitä oli pääasiassa vain haittaa. Lankajarrua ohjataan robotin kontrollerissa pyörivällä taustaohjelmalla, joka käskee paineilmaventtiilin sähköisesti auki vapauttaen lisäainelangan. Lankajarru vapautuu hitsauksen ajaksi tai jos lankaa ajetaan ulos

kolvista ilman hitsausta. Muissa tapauksissa lankajarru pitää lisäainelankaa paikoillaan.

## 6.5 Hitsauksen lämpövaikutukset

Oilon 400-2000 ME -poltinrunkojen hitsauksessa käytetään vakioituja hitsausparametreja. Erilaisille a-mitoille, liitosmuodoille, hitsausprosesseille ja liitettävälle perusainepaksuuksille on omat hitsausparametrinsa. Mitä enemmän perusaineella on massaa, sitä enemmän se kykenee johtamaan tuotua lämpöenergiaa pois hitsisaumasta. Lämmöntuonti ja sen säätely ovat oleellisia tekijöitä ehkäistessä hitsauksessa esiintyviä muodonmuutoksia. Pulssihitsauksella pyrittiin roiskeettomuuden lisäksi estämään pysyviä muodonmuutoksia kappaleessa pienempää lämmöntuontia hyödyntämällä. Lämmöntuonnin pienentämiseksi ulkoiset a-mitat pienennettiin suunnittelun kanssa yhteistyössä pienemmiksi. A-mitat alun perin on suunniteltu käsinhitsausta ajatellen ja siten robottihitsauksen kannalta turhan suuriksi. Robottihitsauksen tasaisen laadun ja varmennetun tunkeuman kautta ulkoista a-mittaa voidaan pienentää, kun luujuustarkastelussa hyödynnetään tunkeumaa eli s- mittaa.

Pulssihitsaus ja lämmöntuonnin optimointi yhdistettynä etukäteen suunniteltuun hitsausjärjestykseen minimoivat kotelomaisen poltinrunгон vetelyt. Haasteena hitsausparametrien säädössä on koekappaleen ja oikean tuotantokappaleen erilaiset lämpökäyttäytymiset. Hitsausparametrit haettiin riittävän lähelle koekappaleilla, jotka olivat massaltaan paljon pienempiä verrattuna oikeaan tuotteeseen. Ensimmäistä oikeata tuotantokappaletta hitsattaessa lämmöntuonti on usein riittämätöntä, koska suurempi massa vastaanottaa lämpöenergiaa paljon enemmän. Suuremman massan aiheuttama lämpöhäviö hitsisaumasta kompensoitiin nostamalla hienosäätöarvoa, joka synergisesti toimivassa hitsausvirtalähteessä lisää muunmuassa kaarijännitettä. Suurempien saumojen kohdalla jouduttiin hidastamaan myös hieman robotin kuljetusnopeutta. Robotilla voidaan monipuolisesti muokata hitsausjärjestystä jälkeenpäin jos valmiissa tuotteessa havaitaan mittapoikkeamia. Poltinrunkojen hitsaus toteutetaan kappaleen vastakkaisilta puolilta vuorotellen hitsaten kumoamalla edellisen hitsauksen aiheuttamat hitsisauman sisäisistä jännityksistä johtuvat



vääntövaikutukset tuomalla sille vastavoima. Tällä ajatuksella pääsimme varsin hyviin lopputuloksiin ja rungot ovat pysyneet suorina myös jatkuvassa tuotannossa.

## 7 TUOTTEIDEN SISÄÄNAJO

Sisäänajo aloitettiin Oilon Industry Oy:n raskaimpaan tuoteperheeseen kuuluvien ME -sarjan teollisuuspolttimien rungoilla. Polttimet ovat täysautomaattisia kevyt-, raskasöljy-, kaasu- tai yhdistelmäpolttimia. Polttimet ovat kotelorakenteisia teräksestä valmistettuja lämmittimiä, jotka soveltuvat käytettäväksi lämmin- ja kuumavesikattiloihin, höyrykattiloihin, kuumailmakehittämiin ja erilaisiin prosessinlämmityslaitteisiin. Tuotteilta vaaditaan sekä tinkimätöntä toimivuutta ja niiden rungoilta mittatarkkuutta ja korkeatasoista sekä yksityiskohtaista viimeistelyä. Kuvassa 25 näkyy Oilon 800-1200 ME -poltin. Poltin varustellaan käytettävän polttoaineen sekä tehoalueen mukaan, mutta valmistusteknisesti runko on sama 800-, 1000- ja 1200 ME -polttimien välillä. (Oilon 2012.)



Kuva 25. Oilon 800-1200 ME-sarjan poltin (Oilon 2012.)

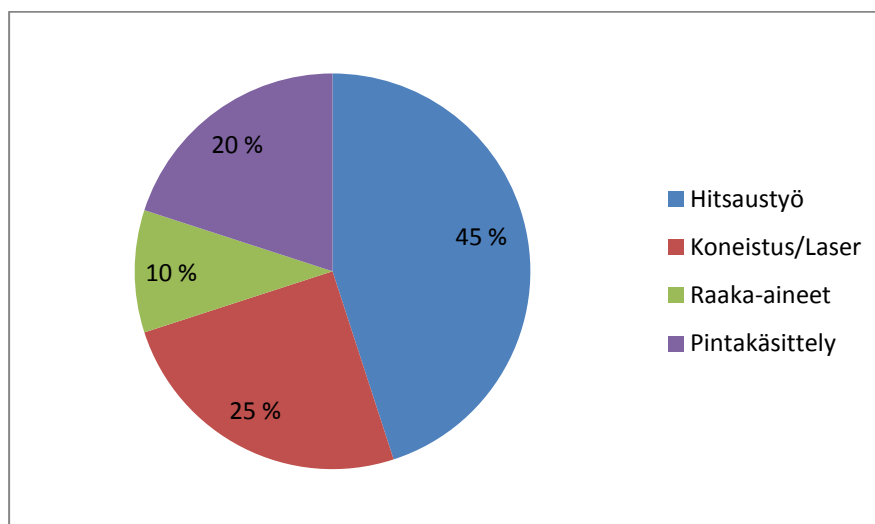
### 7.1 Oilon ME- rungon valmistusmenetelmä

Oilon ME- poltinrungon valmistus alkaa alihankinnasta ostettavien laserleikkeiden tilauksella. Osien saapuessa ne lajitellaan osakokonaisuuksiin ja osakokonaisuudet liitetään yhteen varusteluhitsauksessa. Varusteluhitsausta ennen osiin tehdään tarvittavat kierteytykset, pyöritykset ja särmäykset. Kokoonpanossa runko kasataan levyosiin lisättyjen ohjausnastojen paikoittamina kotelomaiseksi poltinrungoksi. Kokoonpanon jälkeen tuote silloitetaan, jotta se on riittävän

tukeva siirrettäväksi FW-järjestelmään hitsausta varten. Tuote paikoitetaan paletille, joka syötetään FW-järjestelmään. Kokoonpanohitsauksessa hitsataan kaikki robotin ulottuvilla olevat hitsaussaumot suunnitelmallisessa järjestyksessä minimoimalla muodonmuutokset ja kokoonpanohitsauksen jälkeisiin työvaiheisiin tarvittava aika. Robottihitsauksen jälkeen käsin tehtävässä viimeistelyhitsauksessa suoritetaan muun muassa tulppahitsausta sekä hitsataan saumat, jotka robotilla on jätetty hitsaamatta. Loppukokoonpanossa sovitetaan suojakannet ja kiinnitetään muunmuassa ilmanohjauspellit. Hiontavaiheessa manuaalihitsaaja suorittaa viimeisen tarkastuksen rungolle ennen sen siirtoa pintakäsittelyyn. Teräksen hionnalla pohjustetaan pintakäsittelyssä tapahtuvaa pintojen tasoitusta, viimeistelyhiontaa ja maalausta.

## 7.2 Oilon 800-1200 ME -rungon valmistuksen kustannusrakenne

Esimerkkituotteena toimii Oilon Industry Oy:n sarjavalmisteen 800-1200 ME -öljy- tai kaasuyhdistelmäpoltin. Kyseisen tuotteen rungon valmistuksen kustannusrakenne muodostuu manuaalihitsauksessa kuvion 1 mukaisesti.

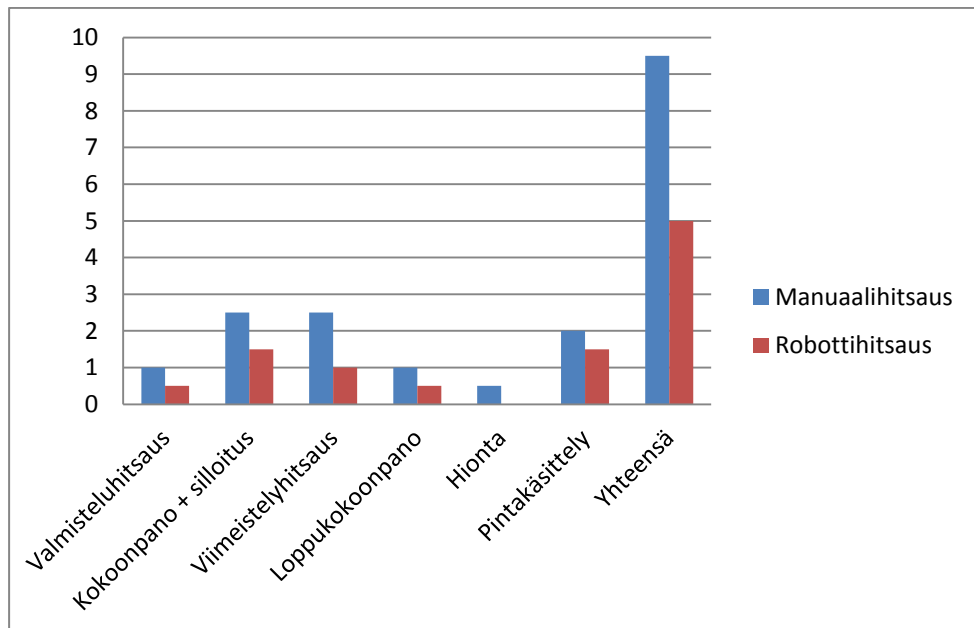


Kuvio 1. Valmistuskustannusten prosentuaaliset osuudet.

Hitsaustyön ja pintakäsittelyn osuus koko tuotteen valmistuskustannuksista on yli 60 %. Nämä kustannusrakenteen osa-alueet ovat optimoitavissa joustavalla automaattisella hitsauksella. Robottihitsauksella siirretään hitsaustyö koneen

tehtäväksi ja samalla yksinkertaistetaan ja vähennetään pintakäsittelyyn liittyviä työvaiheita. Pelkästään vakioituilla hitsausparametreilla saadaan aikaiseksi hitsauslaatua, joka minimoi pintakäsittelyä edeltävän jälkihionnan sekä viimeistelyn. Käsihitsauksessa hitsaajan asentomuutoksesta syntyy hitsiin aina epäjatkuvuuskohtia ja roiskeita. Robotisoidussa hitsauksessa voidaan liikeradat, asennot ja hitsausparametrit optimoida ilman inhimillisiä rajoitteita. Hitsauksen automatisoinnilla on myös suuri rooli ammattihitsaajan työolojen kehittämisessä.

Kuviossa 2 Oilon-poltinrunгон valmistukseen kuluvat laskennalliset työajat. Pylväsdiagrammi kertoo yhden rungon valmistukseen käytetyn työajan putoavan lähes puoleen nykyisestä. Tällä hetkellä taulukko perustuu vielä laskennallisiin arvoihin, mutta se ilmaisee kuitenkin tulevaisuuden tavoitetilan.



Kuvio 2. Robotti- ja manuaalihitsauksen valmistusvaiheisiin käytetyt tuntimäärät.

Valmisteluhitsaus pitää sisällään Oilon-polttimen runkoon kiinnitettäviä varusteluosia, kuten kaapelipitimet, koukut, listat ja ripustimet. Varusteluosat tulee liittää ennen varsinaista kokoonpanosilloitusta ja -hitsausta, koska varusteluosien kiinnittäminen tuotteen runkoon jälkeinpäin on hankalaa ja aikaa vievää. Myös rungon geometria määrittelee työvaiheet helposti hallittaviin kokonaisuuksiin. Osa varusteluosista sijaitsee polttimen rungossa hankalasti

luoksepäästävässä kohdissa ja niiden paikoittaminen esimerkiksi kokoonpanohitsauksen jälkeen olisi epävarmaa.

Kokoonpanoa tehostettiin suunnittelemalla tuoteeseen valmistettavuutta parantavia piirteitä, jotka mahdollisivat kokoonpanon ilman hitsauskiinnittimiä ja riittävän luoksepäästävyuden robottihitsaukselle. Tuoteeseen lisättiin paikoitusnastoja sekä twist tab -liitoksia, jotka vähentävät kokoonpanoon kuluva aikaa sekä silloitustyön tarvetta. Kuvassa 26 poltinrunгон levyyn laserleikkauksella toteutettu lukittava liitospala. Toisessa nurkkaliitoksen pelleistä on laserleikattu suorakaiteen muotoinen reikä, josta kuvan liitospala sopii läpi. Sovituksen jälkeen twist-tab -palaa kierretään pihdeillä, jolloin se lukitsee osat yhteen. Liitospala on heikennetty ja pidennetty versio paikoitusnastasta, jonka tarkoituksena on paikoittaa osat käsin tehtävää kiinnityssilloitusta varten. Liitostapala on oikein suunniteltuna helppo lukita käsivoimin, ja se kestää riittävästi mekaanista rasitusta ennen kokoonpanohitsausta. Polttimen runko pysyy kyseisillä muutoksilla tarvittaessa itsestään kasassa, muita ohjaus tai paikoitustyökaluja ei tarvita ja kokoonpanoon ja silloitukseen käytetty aika vähenee.



Kuva 26. Twist tab- liitoksen urospala.

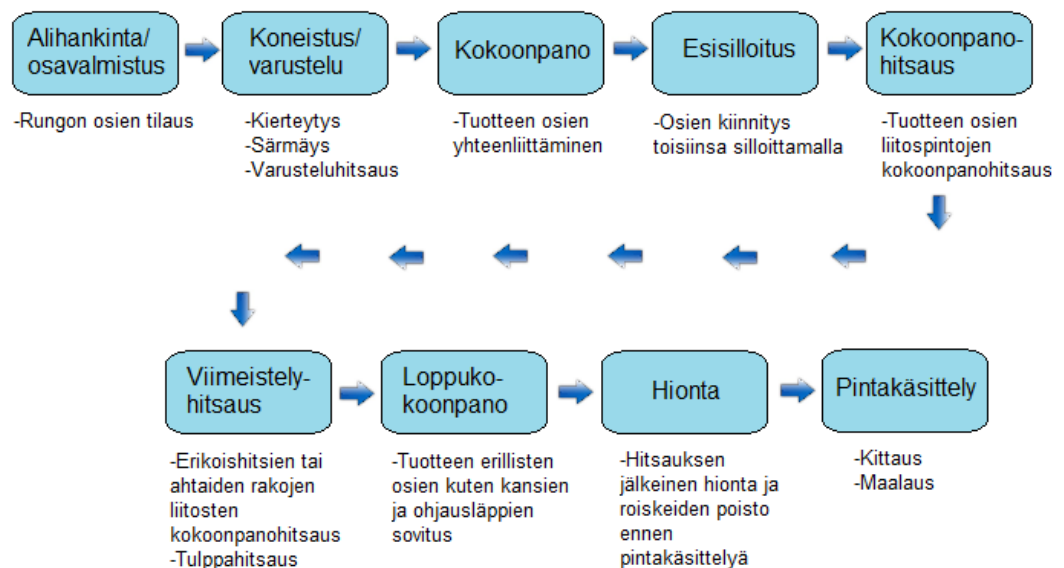
Viimeistelyhitsaus käsittää rungon robotilla tapahtuvan kokoonpanohitsauksen jälkeen tarvittavat hitsaustyöt, kuten esimerkiksi tulppahitsit.

Loppukokoonpanossa sovitetaan rungon suojakannet ja ilmankotelon sulkuläpät .

Pintakäsittely pitää sisällään esimerkkituotteessa kittauksen, hionnan sekä pohja- ja pintamaalauksen. Yhteensä robottihitsaukseen siirtyminen säästää

valmistusajassa lähes 50 %. Robottihitsauksella on tehostava vaikutus jokaiseen rungon valmistuksen työvaiheeseen. Kuten aiemmassa luvussa 6.3

Käyttökustannuksiin perustuva konetuntihinta tuotiin esille, on oleellisen tärkeää automatisoida mahdollisimman moni hitsauksen työvaiheista. Oilon-poltinrunгон työvaiheet kuvassa 27.



Kuva 27. Oilon ME-runçon työvaiheet .

## 8 ROBOTTIHITSAUKSEN KANNATTAVUUSLASKENTA

Robottihitsauslaitteiston hankinnassa tulee taloudelliset laskelmat jakaa kahteen erään: investointikustannuksiin ja käyttökustannuksiin. Investointikustannukset kattavat laitteiston hankinnasta johtuvat menoerät ja käyttökustannukset tuotannon operatiiviset menoerät.

### **Robottijärjestelmän investointikustannuksia ovat:**

- Robottihitsausjärjestelmän hankintakustannukset
- Suunnittelukustannukset
- Asennus- ja käyttöönottokustannukset
- Työvälineiden ja oheislaitteiden hankintakustannukset
- Muut kustannukset.

### **Robottihitsausjärjestelmän käyttökustannuksia ovat:**

- Välittömät palkkakustannukset
- Välilliset palkkakustannukset
- Lisäaine, kaasu
- Huolto- ja kunnossapitokustannukset
- Energia-, aine- ja tarvikekustannukset
- Koulutuskustannukset.

### **Robottijärjestelmän investoinnin säästöt:**

- Keskenikäisen tuotannon väheneminen
- Valmisvaraston pieneneminen
- Materiaalikustannusten säästöt

- Vältetään virheelliset kappaleet ja niiden korjaaminen
- Laitteistojen käyttöaste paranee
- Materiaalin käsittelykustannukset pienenevät
- Tilan tarve vähenee.

(Aaltonen & Torvinen 1997, 166.)

Hitsausrobotiikan investoinnin kannattavuuslaskelmat voidaan tehdä perinteisin investointilaskentamenetelmin, mutta usein tulee tarkastella painotuksia etenkin hitsaukseen liittyvien erityispiirteiden osalta. Robottihitsausjärjestelmän investoinnin kannattavuutta voidaan arvioida esimerkiksi hitsauslisäaineen tuoton (€/kg) tai tuotteelle muodostuvan kappalehinnan (€/kpl) mukaan. Robotti- ja manuaalihitsaukselle laskettuja arvoja voidaan myöhemmin vertailla keskenään. Kaavoissa 2 ja 3 ei huomioida energiakustannuksia, koska energian hinta ja kulutus pysyvät lähes vakioina oli hitsaaja henkilö tai automatisoitu laite.

#### **Manuaalihitsauksen kulut per kulutettu lisäainelankakilo:**

$$\text{€/kg} = (\text{tuntihinta €/h} \times \text{hitsausaika h/kg}) + \text{lisäainelanka €/kg} + (\text{hitsausaika h/kg} \times \text{paloaikasuhte} \% \times \text{suojakaasun virtaus l/h} \times \text{suojakaasu €/l}) \quad (2)$$

#### **Robottihitsauksen kulut per kulutettu lisäainelankakilo:**

$$\text{€/kg} = (\text{konetuntihinta €/h} \times \text{hitsausaika h/kg}) + \text{lisäainelanka €/kg} + (\text{hitsausaika h/kg} \times \text{paloaikasuhte} \% \times \text{suojakaasun virtaus l/h} \times \text{suojakaasu €/l}) \quad (3)$$

Kyseisiä kaavoja käytettäessä on arvioitava, kuinka luotettavasti robottihitsausta ja käsihitsausta voidaan keskenään verrata. Manuaalihitsaajalla on jokaisella omat työtapansa, kuljetusnopeus, hitsausarvot ja oheiskulut, joita ei voida yksiselitteisesti välttämättä määrittää eikä varsinkaan yleistää koko tuotannon toimintatavaksi laskennoissa. Koska konetuntihinta määritellään tapauskohtaisesti ja varsinkin manuaalihitsauksen kustannusten arviointi on hyvin aikaa vievää työtä, voidaan tarkastella robottihitsauksen suoria kustannussäästöjä yksinkertaisella laskentaperiaatteella. Alemmassa laskukaavassa ei oteta hitsaustarvikkeita tai energian hintoja huomioon, koska erot menetelmien välillä



ovat häviävän pieniä. Kyseisen laskentakaavan periaatteena on antaa suuntaa antava tieto järjestelmän hyödyistä ja takaisinmaksuajasta. Oletetaan, että manuaalihitsaajan työtunnit vuoden aikana ovat 1600 h. Robotti työskentelee omakohtaisten kokemusten perusteella arvioiden helposti kolmen manuaalihitsaajan vauhdilla kerryttäen 5700 h vuodessa. Manuaalihitsaajan palkkamenot yritykselle ovat vuodessa noin 45 000 €. Robottioperaattorin palkkakulut ovat myös 45 000 € vuodessa ja yksi operaattori työskentelee yhdellä robottihitsauspisteellä. Säästön selvittämiseksi lasketaan kolmen manuaalihitsaajan yhteenlasketut kulut vuodessa ja vähennetään summasta robottihitsauksen kulut kaavan 4 mukaisesti. Kaavassa 5 laskettu erotus on potentiaalinen vuosittainen säästö käytettäessä automatisoituja tuotantomenetelmiä.

*Kulut = Palkkamenot vuodessa × henkilömäärä*

$$Kulut = 45\,000\text{€}/a \times 3\text{henkilöä} = 135\,000\text{€} \quad (4)$$

*Säästöt = Manuaalihitsauksen palkkakulut – Robottihitsauksen palkkakulut*

$$Säästöt = 135\,000\text{€} - 45\,000\text{€} = 90\,000\text{€} \quad (5)$$

Suuntaa antava takaisinmaksuaika saadaan jakamalla investointi robottijärjestelmän tuomilla säästöillä vuodessa kaavan 6 mukaan.

*Takaisinmaksuaika = Investointikulut ÷ Vuosittaiset säästöt*

$$Takaisinmaksuaika = 120\,000\text{€} \div 90\,000\text{€} = 1,3\text{ vuotta} \sim 16\text{kk} \quad (6)$$

Robottijärjestelmä vapauttaa manuaalihitsaajan muihin työtehtäviin ja keskittää ihmisen työpanoksen huonosti automatisoitaviin ja monipuolisiin työvaiheisiin. Robotti suorittaa toistuvat, ihmistä kuormittavat ja yksitoikkoiset työvaiheet nopeammin sekä tehokkaammin. Tuotannon kiinteät kulut eivät esimerkkitapauksessa juurikaan poikkeakaan manuaalihitsauksesta kun ei oteta huomioon laitteiston investointikuluja.

## 9 FWS-JÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN

Rakennettu joustava hitsausjärjestelmä on toimintavalmis, mutta työkuorma on alhainen. Sopimusvalmistaja myy varmennettua tuotantokapasiteettia. FWS robottihitsauksen kapasiteetti varmentui tämän työn edetessä ja on nyt myytävissä asiakkaiden palveluun. Menetelmäkehitys on tärkein yksittäinen osa-alue, johon täytyy lisätä työpanosta. Järjestelmän ylösajon jälkeen tarvitaan ennenkaikkea tuottavaa ja oikeanlaista työtä, jolla saadaan FW-järjestelmä kannattamaan myös investointina.

### 9.1 Menetelmäkehitys

Luvussa 7.2 Oilon 800-1200 ME -rungon valmistuksen kustannusrakenne eritellään yksittäisen tuotteen valmistukseen käytettyä aikaa, kustannuksia ja niiden prosentuaalisia osuuksia kokonaisuudesta. Kyseisessä luvussa on myös pyritty tuomaan esille menetelmäkehitystyön tärkeys kustannusrakenteeseen, ja lisäksi sillä on vaikutus lopputuotteen ja palvelun laatuun.

Menetelmäkehitystyössä tullaan keskittymään suunnittelupalvelun tarjoamiseen asiakkaille, jotta tuotteet olisivat tulevaisuudessa edullisesti robottihitsattavia.

### 9.2 Järjestelmäohjaimen päivittäminen

FWS-Järjestelmäohjainta päivitetään riittävälle tasolle vielä vuonna 2014. FW-järjestelmästä ei kuitenkaan ole tarkoitus tulla erityistä tuotteistettua osaamisen taidonnäytettä tai edes robostiikan asiakkaille tarjoamaa hitsausjärjestelmää. FWS on ennenkaikkea laitteisto, joka mahdollistaa nykyisten asiakasvaatimusten mukaisten teräsrakennevalmistuksen Orfer Oy:n toimesta. Tästä syystä järjestelmäohjaimen osalta ei tehdä uusia innovaatioita, vaan pyritään rakentamaan laitteistoon yleisesti FM-järjestelmän toimintaperiaatteen vaatimaa älyä. Välivarastointi, valmisvarastointi, automaattiset siirrot, automaattinen hitsaus, vikatilojen valvonta ja historia, tuotantoajat, tuotantokapasiteetti ja keskustelu muunmuassa tuotannonohjauksen kanssa ovat asioita, joihin keskitytään tulevaisuudessa.

### 9.3 Robottihitsauksen tehostaminen

Robottihitsauksessa voidaan ottaa huomioon tulevaisuudessa lähestymiset, hitsausjärjestys, L-pöydän ja robotin liikkeiden synkronointi, liikenopeudet, hitsausparametrit ja paloaikasuhte. Väliliikkeitä poistamalla tai hitsausjärjestystä järkeistämällä voidaan saada parempi paloaikasuhte. Päinvastoin kuin manuaalihitsauksessa, robottihitsauksessa paloaikasuhte on hyvä tarkkailtava parametri, koska se kertoo luotettavasti laitteiston suorituskyvyn. Kun hitsauksen välillä tapahtuvat asiat on saatu nopeammiksi, voidaan tehostaa itse hitsaustapahtumaa lisäten langansyöttöä ja siten kuljetusnopeutta. Robottihitsauksessa tulisi pyrkiä vähintään 70 % paloaikasuhteeseen, johon myös uusi joustava hitsausjärjestelmä työkuorman kasvaessa ylittää.

## 10 YHTEENVETO

Robottihitsauksella on hyvät tulevaisuuden näkymät Suomessa. Jotta taattaisiin oma kilpailukyky myös teräsrakennetuotteiden valmistuksessa eikä pelkästään jo hyvin laadukkaassa suunnittelussa, tulee alan vahvasti panostaa automaatioon. Pidemmälle vietyä ideana tuotteiden tulisi olla myös suunniteltu automaation avulla valmistettaviksi. Automaatiolla on tällöin saavutettavissa selviä valmistusteknisiä etuja sarjatuotannossa verrattuna perinteiseen manuaalihitsaukseen. Ihmisen työpanos tuleeikin automaation myötä suunnata tuottavampaan kuin sarjavalmistuksesta saatavan pienen myyntikatteen työhön. Tämän opinnäytetyön pääideana oli kuvata robottihitsauksen toimintaperiaate ja havainnollistaa siihen liittyviä haasteita sekä jopa siihen liittyvää ajattelutapaa. Robottihitsaus on kokonaisuutena tehokas tuotantomenetelmä, mutta se vaatii ymmärrystä monelta eri osa-alueelta, esimerkiksi valmistustekniikasta, tuotteen valmistusmenetelmistä ja tarvittaessa jopa kustannuslaskennasta. Robottihitsaus ei itsessään tuo mitään lisäarvoa tuotannolle, jollei sitä valjasteta järkevästi oikeisiin työtehtäviin samalla tukien ihmisen työpanosta teräsrakennetuotannossa.

## LÄHTEET

- Aaltonen, Airila, Andersin, Ekman, Kauppinen, Liukko & Pohjala. 1992. Tuotantoautomaatio. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- Aaltonen, K. & Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio. Porvoo: Sanoma Pro
- Anttila, J. & Santala, J. 1990. Automaatiotekniikka. Porvoo: WSOY.
- Esab Oy. 2008. Hitsausuutiset 1/2008. Saatavissa: [www.esab.fi](http://www.esab.fi)
- Fastems Oy Ab. 2014a. [viitattu 1.2.2014] Saatavissa: <http://www.fastems.com/fi/tuotteet/palettiautomaatio/monitasojarjestelma/3d-visualisoinnit/>
- Fastems Oy Ab. 2014b. [viitattu 1.2.2014] Saatavissa: <http://www.fastems.com/fi/tuotteet/robotiikka/robofms/>
- Finnrobotics Oy. 2014. [viitattu 1.3.2014] Saatavissa: <http://www.finnrobotics.fi/?sivu=hitsaus>
- Huttunen, J. 2004. Robotiikan historia. Helsinki: Helsingin yliopisto, Tietojenkäsittelytieteen laitos. Tietojenkäsittelytieteen historia –seminaarin esitelmä.
- Kawasaki heavy industries, LTD. 2011a. Kawasaki Robot Controller E Series: Arc Welding Operation Manual.
- Kawasaki heavy industries, LTD. 2011b. Kawasaki Robot Controller E Series: Arc Welding Thick Plate Option Operation Manual.
- Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo: WSOY.
- Lepola, P. & Makkonen, M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY.
- Lukkari, J. 2002. Hitsaustekniikka: Perusteet ja kaarihitsaus. Helsinki: Opetushallitus.

Oilon Oy. 2012. Öljy-, kaasu- ja yhdistelmäpolttimet.

Suomen robotiikkayhdistys ry. 1999. Robotiikka. Vantaa: Tummavuoren Kirjapaino Oy.

Suomen robotiikkayhdistys ry. 2011. Teollisuusrobottitilasto.

## LIITTEET