

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

Anssi Pietarinen

**KÄSINHITSAUKSEN MEKANISOINTIRATKAISUJEN KEHITTÄMINEN**

Työn tarkastajat:      Professori Jukka Martikainen

Projektipäällikkö Markku Pirinen

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Teknillinen tiedekunta  
Konetekniikan koulutusohjelma

Anssi Pietarinen

### **Käsinhitsauksen mekanisointiratkaisujen kehittäminen**

Diplomityö  
2014

100 sivua, 34 kuvaa, 7 taulukkoa ja 3 liitettä.

Työn tarkastajat:      Professori Jukka Martikainen  
                                  Projektipäällikkö Markku Pirinen

Hakusanat: Käsinhitsaus, mekanisointi, hitsaussolu, hitsauskoe, kappaleenkäsittelylaite

Työn tavoitteena on kehittää asiakkaiden käsinhitsausta kartoittamalla heidän hitsaavaa tuotantoa, sekä sen mahdollisia ongelmia. Järjestettävän hitsauskokeen avulla mitataan mekanisoidun hitsauksen tuottavuutta, laatua ja työergonomiaa.

Työ sisältää teoreettisen ja käytännöllisen osuuden. Teoreettinen osuus pohjautuu kirjallisuuteen ja käytännöllinen osuus eri yritysten kyselyihin ja haastatteluihin sekä hitsauskokeeseen. Teoreettinen osuus käsittelee käsinhitsausta ja siihen liittyviä mekanisointiratkaisuja. Käsinhitsauksessa käsitellään yleisimmät käsinhitsausprosessit, käsinhitsattava tuote ja tuotanto sekä sen tuottavuutta. Mekanisointiratkaisuissa käsitellään yleisimmät mekanisointiratkaisut ja laitteet sekä käytännön toteutusta.

Käytännöllisessä osuudessa yritykset pitivät nykyisin hitsauksessa tärkeimpänä hitsaajien ammattitaitoa, tuottavuutta, työn mielekkyyttä, laatua sekä työturvallisuutta. Yritysten tulisi tarkastella tuotannossaan hitsaussolujen sisältöä, sisäistä logistiikkaa ja kappaleiden kiinnitystä. Kappaleenkäsittelijään yrityksiltä tuli paljon kehitysideoita, kuten kiinnitykseen valmiita ratkaisuja sekä pöytälevyyn erilaisia vaihtoehtoja.

Hitsauskokeen perusteella kappaleenkäsittelijällä työaika oli 29,4 % pienempi kuin työpöydällä. Laadullisesti koe antoi myös positiivisia tuloksia, käsittelypöydässä hitsattuja rakenteita ei tarvinnut korjata, mutta normaalissa työpöydässä piti, jotta C –luokan vaatimukset täyttyivät. Työturvallisuuden ja ergonomian kannalta suurimmat hyödyt olivat hyvä työasento, huurujen ja kurkottelun vähentyminen, mahdollisten palovammojen vähentyminen sekä vähemmän vaaraa osien putoamisesta.

## ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology  
Faculty of Technology  
Department of Mechanical Engineering

Anssi Pietarinen

### **Developing mechanical solutions of manual welding**

Master`s Thesis  
2014

100 pages, 34 figures, 7 tables and 3 appendix

Examiners: Professor Jukka Martikainen  
Project Manager Markku Pirinen

Keywords: Manual welding, mechanization, welding cell, welding test, positioner

The aim is to develop customers by mapping their manual welding in the welding production, as well as potential problems. With help of organized welding test is to measure the mechanized welding of welding productivity, quality and ergonomics.

The work includes theoretical and practical parts. The theoretical part is based on the literature and a practical part to different companies surveys and interviews and welding test. The theoretical part deals with manual welding and mechanical welding solutions. Manual welding deals with the most common manual welding processes, products made by manual welding and production as well as its productivity. Mechanical solutions deals with the most common solutions, equipment and practical implementation.

In the practical part the companies believe that the most important thing in welding are welders welding skills, productivity, job meaningfulness, quality and safety in the workplace. Companies should look out in the their production the welding cell content, internal logistics and fastening of the welding pieces. Companies did have lot of development ideas for positioner, such as the ready-made solutions for fastening and different options for positioners table.

Based on the welding test the working hours were 29.4% lower in positioner than in the normal workbench. In qualitative terms, the test gave also positive results, in the positioner welded structures did not have to be fixed, but in the normal workbench did have to be fixed, so that the C-class standards were obtain. In safety and ergonomics the greatest benefits were a good posture, fumes and overreach reduction, possible burns reduction and less risk of falling parts.

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>LYHENTEET JA SYMBOLIT.....</b>	<b>8</b>
<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>10</b>
1.1 Työn tausta.....	11
1.2 Tavoite ja rajaus.....	11
1.3 Työn suoritus.....	12
1.4 Yritysesittely.....	12
<b>2 HITSUKSEN SUORITUSTEKNIIKAT.....</b>	<b>13</b>
2.1 Hitsaustoiminnot.....	13
2.1.1 Perustoiminnot.....	14
2.1.2 Ohjelmointitoiminnot.....	15
2.1.3 Kontrollointitoiminnot.....	16
2.2 Suoritustekniikoiden ryhmittely.....	16
2.2.1 Käsinhitsaus.....	18
2.2.2 Hitsauksen mekanisointi.....	19
2.2.3 Hitsauksen automatisointi.....	20
2.2.4 Hitsauksen robotisointi.....	21
2.3 Käsinhitsauksen mekanisointi.....	22
<b>3 KÄSINHITSAUSPROSESSIT.....</b>	<b>24</b>
3.1 Puikkohitsaus.....	25
3.2 MIG/MAG –hitsaus.....	25
3.2.1 Kylmäkaariprosessit.....	26
3.3 Täytelankahitsaus.....	27
3.4 TIG –hitsaus.....	28
3.5 Muut prosessit.....	28
<b>4 KÄSINHITSAATTAVA TUOTE JA TUOTANTO.....</b>	<b>29</b>
4.1 Käsinhitsattavan tuotteen materiaali.....	29

4.2 Tuotteen koko ja muoto.....	29
4.3 Liitokset ja hitsit.....	30
4.4 Tuotteen ”monimuotoisuus”.....	31
4.5 Mekanisoidusti käsinhitsattavan tuotteen erityispiirteet.....	31
4.6 Käsinhitsattavan tuotannon ominaispiirteet.....	32
4.6.1 Tuotannonohjaus.....	32
4.6.2 Layout ja materiaalivirrat.....	34
<b>5 KÄSINHITSAUKSEN TUOTTAVUUS, TALOUDELLISUUS JA LAATU.</b>	<b>35</b>
5.1 Tuottavuuden tunnusluvut ja mittarit.....	35
5.2 Hitsauskustannukset.....	36
5.3 Investointikustannukset.....	40
5.4 Investoinnin kannattavuuden arvioiminen.....	41
5.5 Laatu ja laaduttomuus.....	41
5.5.1 Laaduntuottotekijät.....	43
5.5.2 Laadunvarmistus.....	44
5.6 Ergonomia ja työturvallisuus.....	45
<b>6 KÄSINHITSAUKSEN MEKANISOINNIN KOKONAISRATKAISUT.....</b>	<b>46</b>
6.1 Kappaleenkäsittelylaitteet.....	46
6.1.1 Tekniset ratkaisut.....	47
6.1.2 Kappaleenkäsittelylaitteiden käytettävyys.....	50
6.1.3 Kappaleenkäsittelylaitteiden ohjelmointi.....	50
6.2 Materiaalinkäsittely ja kuljetus.....	51
6.3 Virtalähteet.....	51
6.3.1 Synerginen säätö.....	52
6.3.2 Pulssi MIG/MAG –hitsaus.....	53
6.4 Kappaleiden kiinnitys.....	54
6.5 Tuotantosolu.....	55

6.5.1 Hitsaussolu.....	55
6.5.2 Hitsaussolun tekninen sisältö.....	56
6.6 Työnjärjestely ja suunnittelu.....	57
<b>7 MEKANISOIDUN KÄSINHITSAUKSEN KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS....</b>	<b>58</b>
7.1 Vaatimusten katselmus.....	58
7.2 Tekninen katselmus.....	59
7.3 Hitsausprosessin valinta.....	59
7.4 Mekanisointiratkaisun valinta.....	63
7.5 Hitsauksen suoritus.....	65
7.5.1 Esivalmistelut.....	65
7.5.2 Henkilöstö.....	66
7.5.3 Ohjeistus.....	67
7.5.4 Jälkikäsitteilyt.....	67
7.6 Laatu ja laadunvarmistus.....	69
7.7 Seuranta ja kehittäminen.....	70
<b>8 CASE FIROTEC ASIAKKAIDEN HITSAUSSOLUT .....</b>	<b>71</b>
8.1 Lähtökohdat ja tavoitteet.....	71
8.2 Asiakkaiden hitsaussolut.....	72
8.3 Materiaalivirta asiakkaiden hitsaavassa tuotannossa.....	73
8.4 Kappaleiden kiinnitys yrityksissä ja sen kehittäminen.....	74
8.5 Asiakkaan hitsaavan tuotannon kehittäminen.....	75
8.6 Kyselyn tulokset ja niiden analysointi.....	76
8.6.1 Tuottavuuden parantuminen.....	77
8.6.2 Laadun parantuminen.....	78
8.6.3 Taloudellisuuden parantuminen.....	79
8.6.4 Ergonomian ja työturvallisuuden parantuminen.....	79
8.7 Kehityskohteet kappaleenkäsittelijöissä.....	80

8.8 Kontti- ja perävaunuratkaisu.....	81
<b>9 CASE FIROTEC HITSAUSKOE.....</b>	<b>82</b>
9.1 Hitsauskokeen perustiedot.....	82
9.1.1 Keskirunko H754.....	83
9.1.2 Hitsausvälineet ja hitsausarvot.....	83
9.1.3 Mittausvälineet.....	84
9.2 Hitsaus kappaleenkäsittelylaitteessa.....	84
9.3 Hitsaus työpöydällä.....	85
9.4 Tulokset.....	86
9.4.1 Työergonomia ja työturvallisuus.....	87
9.4.2 Laatu.....	87
9.4.3 Hitsauskustannukset.....	88
9.5 Johtopäätökset hitsauskokeesta.....	89
9.6 Jatkotoimenpiteet ja -tutkimusaiheet.....	90
<b>10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....</b>	<b>91</b>
<b>LÄHTEET.....</b>	<b>93</b>
<b>LIITTEET</b>	

## LYHENTEET JA SYMBOLIT

$\varphi$	Hitsauspään kuljetuskulma.
$\gamma$	Hitsauspään kallistuskulma.
z	Hitsauspään korkeus työkappaleesta
x	Sivuttaissijainti liitokseen nähden.
y	Hitsauspään liikeradan liitoksen suuntaisuus.
mm, m	Millimetri, metri. Pituuden yksiköitä, yksi millimetri on tuhannesosa yhdestä metristä.
Kg	Kilogramma, massan yksikkö.
H	Tunti, ajan yksikkö.
dB	Desibeliä käytetään tavallisimmin kahden signaalin välisen tehosuhteen ilmaisuun sekä vahvistimen ja vaimentimen vaikutuksen ilmaisemiseen.
m/min	Metriä per yksi minuutti. Hitsauksessa kuljetusnopeuden yksikkö.
%	Prosentti on mitta, jota käytetään ilmaisemaan suhteellista osuutta tai määrällistä suhdetta. Prosentti ilmoittaa kuinka monta sadasosaa jokin on jostakin.
AC	Alternating Current. Vaihtovirta on sähkövirtaa, jonka suunta vaihtelee ajan funktiona.
DC	Direct Current. Tasavirta on sähkövirtaa, jonka suunta ei muutu.
EN	European Norm. Euroopassa voimassa olevat standardit.
IIW	International Institute Welding. Kansainvälinen hitsausjärjestö.
ISO	International Organization for Standardization. Kansainvälinen standardisoimisjärjestö.
MIG, MAG	Metal Inert Gas Welding / Metal Active Gas Welding. MIG/MAG -hitsaus. Kaarihitsausprosessi, jossa käytetään jatkuvaa lisäainelankaa.
MPa	Myötölujuus, $\text{N/mm}^2$ . Teräksen myötölujuudella ymmärretään sitä jännitystä, jolloin alkaa tapahtumaan merkittävää plastista muodonmuutosta.

NDT	Nondestructive Testing. Rikkomaton aineenkoetus.
PA	Hitsausasento jalkoasento
PB	Hitsausasento jalkovaaka-asento
PC	Hitsausasento vaaka -asento
PF	Hitsausasento pystyasento ylöspäin
PG	Hitsausasento pystyasento alaspäin
S690QL	Standardin mukainen Ruukin valmistama luja nuorrutettu rakenneteräs. ”S” tarkoittaa rakenneterästä, ”690” tarkoittaa myötölujuutta MPa, ”Q” tarkoittaa toimitustilaa, joka tässä tapauksessa nuorrutettua ja ”L” tarkoittaa, että iskuenergian keskimääräinen vähimmäisarvo 30 J on määritelty -40° C:ssa.
SFS	Suomessa voimassa oleva standardi.
TIG	Tungsten Inert Gas Arc Welding. TIG -hitsaus. Kaarihitsausprosessi, jota voidaan tehdä lisäaineen kanssa tai ilman lisäainetta.
UIT	Ultrasonic Impact Treatment. Ultraäänivasarointi toimii suurella taajuudella. Menetelmällä muokataan hitsin rajaviivaa voimakkailla mekaanisilla iskuilla.
U	Hitsausjännite (V)
VTT	Valtion omistama teknologian tutkimuskeskus. VTT tuottaa teknologia- ja tutkimuspalveluja sekä kotimaisille että kansainvälisille asiakkailleen, yrityksille ja julkiselle sektorille.
WPS	Welding Procedure Specification. Hitsausohje.

## 1 JOHDANTO

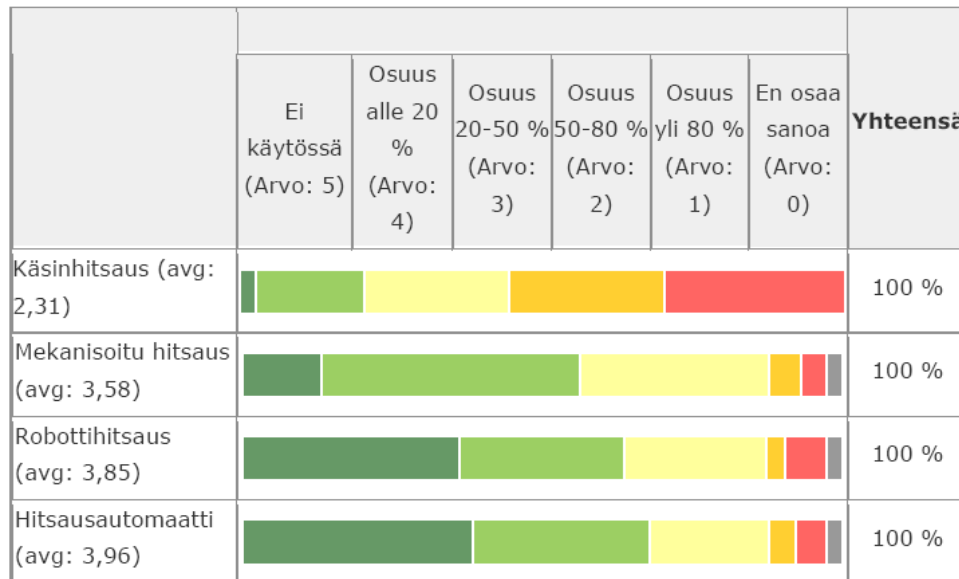
Suomalainen metalliteollisuus on pitkään ollut raskaiden muutoksien alla. Viimeisten kymmenen vuoden aikana työpaikkoja on vähentynyt kaikilla sektoreilla. Metalliteollisuudessa työpaikat ovat siirtyneet vähitellen alihankinnan siirtyessä halvemman kustannustason maihin, kuten Viroon, Latviaan, Liettuaan ja Kiinaan. Lisäksi yleinen lama ja hintatason huonontuminen on aiheuttanut tilausten vähentymistä viennissä.

Suomalaisen kaivosteollisuuden kasvu ja innovatiiviset tuotteet kuten kaivoskulkuneuvot ovat auttaneet osaltaan pitämään ammattitaitoisia työntekijöitä hitsaavissa konepajoissa. Suomalaiset konepajat ovat hitsatuissa teräsrakenteissa yli kaksi kertaa kalliimpia kuten esimerkiksi Virossa. Pelkällä käsinhitsauksella ei ole tulevaisuutta, jos sitä ei kehitetä kustannustehokkaammaksi. Automatisointi ja robotisointi auttavat nostamaan oikein toteutettuina yritysten kilpailukykyä, mutta läheskään kaikkia hitsattavia teräsrakenteita ei ole järkevää hitsata robotilla tai automatisoidusti. Syinä ovat kappaleen monimuotoisuus, kuten lyhyet hitsit, eri liitosmuodot tai aineenpaksuudet, sekä pienet osat tai hitsien vaikea luoksepäästävyys. Kappalemäärä ja vaihtelevat osat, kuten projektitoimituksissa, ovat yleensä käsinhitsaavan konepajan töitä.

Käsinhitsauksen tehostamiseen tarjoavat hitsauksen käsittelypöydät erinomaisen vaihtoehdon. Työkappale saadaan käännettyä nopeasti hitsauksen kannalta edulliseen asentoon, jolloin sekä apu- että kaariajat lyhenevät. Käsittelypöydät ovat 1-, 2- tai 3-akselisia (pyöritys, kallistus ja nosto). Työkappale kiinnitetään pöytälevyyn ja kääntelyt tapahtuvat käsittelypöydän käyttöpaneelistä tai kauko-ohjaimesta. Joissain laitteissa akseleiden asennot on esiohjelmoitavissa ohjausyksikön muistiin. Käsittelypöytien käytöllä saavutetaan paitsi tuottavuusetua, myös ergonomiatua parempien työasentojen muodossa. Työn kuormitus kevenee ja poissaolot vähenevät. Hitsauksen laatu on käsinhitsauksessa voimakkaasti riippuvainen mm. ergonomiasta ja hitsausasennosta. Käsittelypöydät tarjoavat näin erinomaiset edellytykset myös korkealaatuisten hitsien aikaansaamiselle. Korjaustyön määrä vähenee.

## 1.1 Työn tausta

Firotec Oy aloitti helmikuussa 2009 kasvuhankeprojektin, jonka tarkoituksena oli kehittää New Firo –tuoteperhettä sekä materiaalinkäsittelylaitteita. Yrityksessä uskottiin vahvasti käsinhitsauksen mahdollisuuksiin suomalaisessa ja ulkomaisessa teollisuudessa, johon kappaleenkäsittelylaitteetkin perustuvat, sillä käsinhitsaus on selvästi käytetyin suoritustekniikka esim. Suomessa, kuva 1. Käsinhitsauksen mekanisointiratkaisujen kehittämällä päästäisiin parempaan tuottavuuteen, laatuun ja työympäristöön, jonka takia yritys pyrkii kehittämään asiakkaidensa valmistusta sekä kehittämään uusia ratkaisuja käsinhitsauksen osalta. Tarkoituksena on olla entistä enemmän asiakkaan toiminnassa mukana siirtymällä laitetoimittajan roolista ratkaisutoimittajaksi ja tehdä asiakkaista entistä kilpailukykyisempiä niin kotimaan kuin ulkomaankin markkinoilla.



Kuva 1. Suomalaisen hitsaavan teollisuuden suoritustekniikoiden jakautuminen (Leino et al. 2008, s. 42).

## 1.2 Tavoite ja rajaus

Työn tavoitteena on kehittää asiakkaiden käsinhitsausta kartoittamalla heidän hitsaavaa tuotantoa, sekä mahdollisia ongelmia. Järjestettävän koehitsauksen avulla mitataan mekanisoidun hitsauksen tuottavuutta, laatua ja työergonomiaa. Hallittaessa tuottava ja laadukas käsinhitsaus ja siihen liittyvät erilaiset ratkaisut voidaan tarjota asiakkaille

kokonaisvaltaisia ratkaisuja mekanisoituun käsinhitsaukseen. Kyselyillä ja yritysten tapaamisilla selvitetään kappaleenkäsittelijöissä tapahtuvaa hitsausta, tuottavuuden ja laadun parantumista hitsauksessa, materiaalivirtaa hitsaussoluissa, hitsaussolun sisältöä, kappaleen kiinnitystä, sekä asiakkaiden mahdollisia ongelmia hitsaussoluissa. Käsin suoritettavaan hitsauksen hitsaussolua kehitetään ja sille laaditaan tekninen sisältö. Työssä keskitytään käsinhitsauksen mekanisointiratkaisuihin ja siihen liittyviin hitsaussoluihin.

### 1.3 Työn suoritus

Diplomityö tehdään Firotec – yrityksen tiloissa sekä vierailtavissa yrityksissä. Yhteistyökumppaneina ovat Lappeenrannan teknillinen yliopisto sekä hitsausvirtalähteitä valmistava Kemppi Oy. Työ kesti 6 kuukautta alkaen 4.5.2009. Ohjaajina toimivat Firotec:in puolelta myyntipäällikkö Tapio Paara, sekä yliopiston puolelta professori Jukka Martikainen. Kyselyillä ja yritysten tapaamisilla selvitettiin kappaleenkäsittelijöissä tapahtuvaa hitsausta, tuottavuuden ja laadun parantumista hitsauksessa, materiaalivirtaa hitsaussolussa, hitsaussolun sisältöä, kappaleen kiinnitystä, sekä asiakkaiden mahdollisia ongelmia hitsaussoluissa.

### 1.4 Yritysesittely

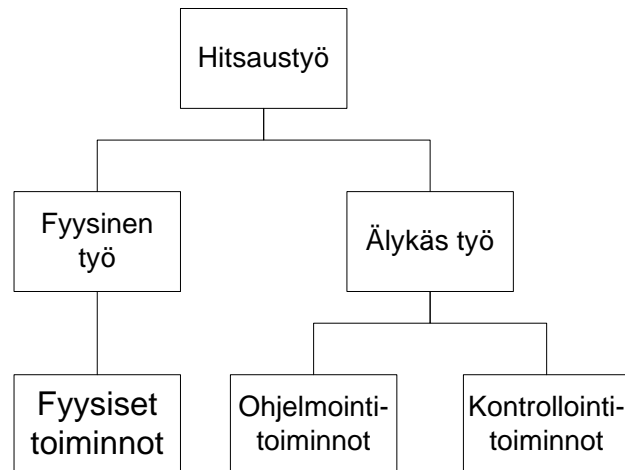
Firotec Oy on Outokummun Metallit Oy:stä eriytetty metallialan erikoisosaja. Yhtiön päätuotteet ovat projektitoimitukset ja sopimusvalmistus teollisuudelle sekä New Firo – kappaleenkäsittelylaitteet, jotka käsittävät 3 – akseliset kappaleenkäsittelylaitteet ja pyöritysrullastot. Kappaleenkäsittelylaitteiden valmistuksesta Firotecilla on lähes parinkymmenen vuoden historia. Teollisuuden projektitoimitukset ja sopimusvalmistus käsittävät erilaisia laitekokonaisuuksia, jotka pitävät sisällään kuljettimia, putkistoja, siloja, säiliöitä sekä sekoittimia. Projekteissa yritys ottaa vastuun aina suunnittelusta valmistukseen ja asennuksen kautta testaukseen ja koekäyttöön. Yritys kehittää jatkuvasti tuotteitaan, jonka avulla taataan laadukkaat ja kilpailukykyiset tuotteet markkinoille. Firotec Oy palvelee konepajoja ja muita teollisuusyrityksiä Suomessa ja lähialueilla. Noin puolet tuotannosta menee vientiin.

## 2 HITSUKSEN SUORITUSTEKNIIKAT

Hitsaustoimintojen luokittelu voi toimia apuvälineenä hitsauksen mekanisoinnin ja automatisoinnin määrittelyjen perustana. Yksinkertaisimmillaan toiminnot voidaan jakaa hitsausliikkeeseen, lisäaineensyöttöön ja työkappaleen käsittelyyn, joiden perusteella määritellään mekanisoinnin taso. Mitä enemmän toimintoja on mekanisoitu, sitä korkeampi mekanisoinnin taso on. (Lukkari, 1997, s. 25)

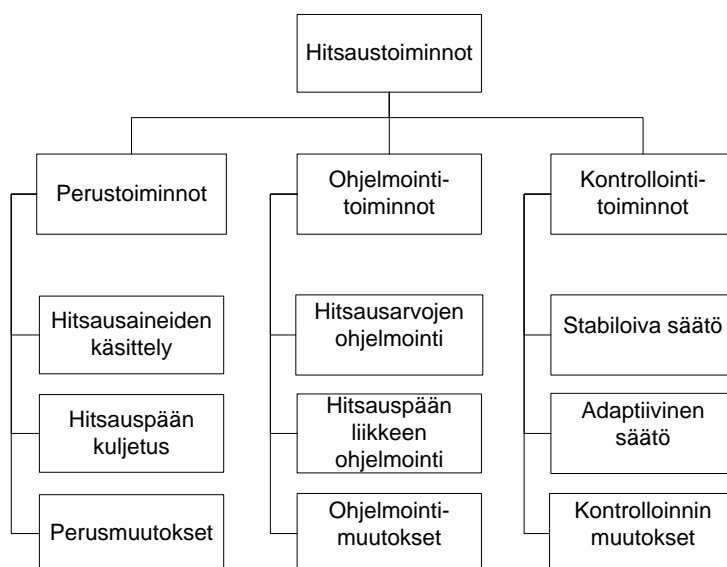
### 2.1 Hitsaustoiminnot

Käsin suoritettava hitsaustyö voidaan jakaa fyysisiin sekä ohjelmointi- ja kontrollointitoimintoihin, kuva 2. (Malin, 1985, s. 19) Ohjelmointi- ja kontrollointitoiminnot voidaan erottaa älykkääksi työksi, koska ne vaativat hitsaajalta henkisiä suorituksia ja fyysiset eli perustoiminnot fyysiseksi työksi. Fyysisillä toiminnoilla tarkoitetaan hitsaajan suorittamaa lihastyötä, kuten lisäaineen kuljetusta tai hitsiin syöttämistä tai hitsattavan kappaleen käsittelyä. Ohjelmointitoiminnoilla tarkoitetaan työohjeiden noudattamista ja hitsaustyön suorittamiseksi tarvittavien muuttujien asettamista normaaliolosuhteissa (kuten säännöllinen railogeometria, vakaat hitsausarvot), esimerkiksi sopivien hitsausarvojen asetusta ja hitsauspään asemoimista työkappaleeseen nähden. Kontrollointitoiminnoilla käsitetään ne toimenpiteet, joita tarvitaan, kun olosuhteet poikkeavat normaaliolosuhteista (kuten railogeometria vaihtelee, hitsausarvot muuttuvat). (Vesansalo, 2000, s.13)



Kuva 2. Hitsaajan suorittamien toimintojen luokittelu (Vesansalo, 2000, s.14).

Hitsaustoiminnot voidaan erotella myös kolmeen alitoimintaan, kuva 3. Hitsaajan lihasvoiman korvaamista sähköisellä, hydraulisella, pneumaattisella tai muulla voimalla voidaan puhua hitsauksen mekanisoinnista, jolloin kone suorittaa hitsaustyön fyysisen toiminnon ja hitsaaja älykkään työn. Tällöin järjestelmästä voidaan käyttää nimitystä mekanisoitu hitsausjärjestelmä. Kun fyysisen toiminnon lisäksi ainakin toinen älykkään työn toiminnoista lisätään koneen suorittamiin toimintoihin, voidaan järjestelmää kutsua automaattiseksi hitsausjärjestelmäksi ja prosessia hitsausautomaatioksi. (Vesansalo, 2000, s.14)



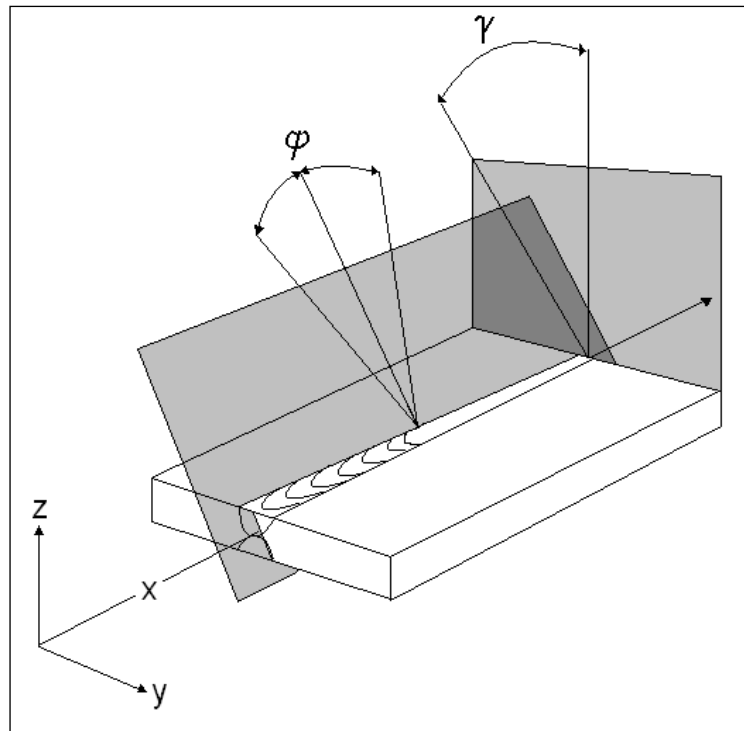
Kuva 3. Hitsaustoimintojen alitoiminnot (Malin, 1985, s. 20).

### 2.1.1 Perustoiminnot

Perustoiminnot jakautuvat hitsausaineiden käsittelyyn, hitsauspään kuljetukseen ja perusmuutoksiin. Hitsausaineiden käsittelyllä tarkoitetaan hitsaus- ja perusaineiden sulattamiseen tarvittavan energian tuontia liitokseen, lisäaineen tuontia hitsisulaan, suojakaasun tai kappaleen käsittelyä, sekä niiden tuontia tukevia toimintoja, kuten langan oikaisua. Hitsauspään kuljetuksella tarkoitetaan elektrodin kuljettamista pitkin liitosta, liikuttamalla työkappaletta elektrodiin nähden tai molempien yhtäaikaista koordinoitua liikettä. Hitsausliike on yksinkertaisimmillaan vain yhden akselin suuntainen, kun taas vaativimmat sovellukset ovat kuuden tai jopa kahdeksan liikeakselin suuntaan liikkuvia laitteita. (Malin, 1985, s. 21)

### 2.1.2 Ohjelmointitoiminnot

Ohjelmointitoiminnot jaetaan hitsausarvojen ja hitsauspään liikkeen ohjelmointiin, sekä ohjelmointimuutoksiin. Hitsausarvojen ohjelmoinnilla tarkoitetaan lisäainelangan syöttönopeuden, kaarijännitteen, hitsausvirran, suojakaasun virtausnopeuden, kuljetusnopeuden, vaaputusamplitudin sekä – nopeuden ja viiveen asettamista tai muuttamista. Hitsauspään liikkeiden ohjelmoinnilla tarkoitetaan hitsauspään asentoa ja sijaintia liitoksessa. Hitsauspään liikkeitä voidaan määrittellä yksinkertaisesti viiden parametrin avulla, kuva 4. Ohjelmointimuutoksilla tarkoitetaan hitsausarvojen ja hitsauspään liikkeen muuttamista silloin, kun prosessi muuttuu erilaiseksi, esimerkiksi ainepaksuuden kasvaessa tai pienentyessä. (Malin, 1985, s. 22)



Kuva 4. Polttimen liikeparametrit (Malin, 1985, s. 22).

- Sivuttaissijainti liitokseen nähden (x)
- Hitsauspään liikeradan liitoksen suuntaisuus (y)
- Hitsauspään korkeus työkappaleesta (z)
- Hitsauspään kallistuskulma ( $\gamma$ , taso, joka on kohtisuorassa kuljetussuuntaa vastaan)
- Hitsauspään kuljetuskulma ( $\varphi$ , taso kuljetussuunnassa)





### 2.1.3 Kontrollointitoiminnot


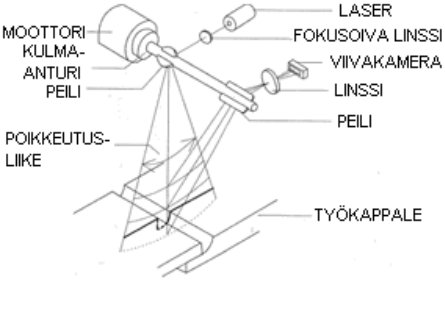
Kontrollointitoiminnoissa stabiloivassa säädössä hitsausmuuttujaa tarkkaillaan jatkuvasti tai jaksoittain. Muuttujan arvon erotessa vertailuarvosta, kuten hitsausvirran, kaarijännitteen, kuljetusnopeuden tai hitsauspään korkeuden, pyritään tekemään korjaavia toimenpiteitä, joilla arvo saadaan palautettua mahdollisimman lähelle vertailuarvoa. Tyypillinen stabiloiva toiminto on railonseuranta eri menetelmillä. Adaptiivisessa säädössä muuttujien arvoja tarkkaillaan ja vertaillaan vertailuarvoihin kuten stabiloivassakin säädössä, mutta muuttuvia olosuhteita vastaavia säätötoimenpiteitä tehdään hitsausohjelmaan. Esimerkiksi muuttuvan railogeometrian perusteella voidaan tehdä sopivimmat muutokset hitsausarvoihin. (Malin, 1985, s.22)

### 2.2 Suoritustekniikoiden ryhmittely

Suoritustekniikat voidaan ryhmitellä eri määritelmien mukaan. Joidenkin määritelmien mukaan automatisointi lasketaan osaksi mekanisointia, kun taas toisten mukaan mekanisointi lasketaan kuuluvaksi automatisoinnin tasoksi. Alimmilla tasoilla hitsaaja säätää hitsaustapahtumaa. Korkeimmilla tasoilla tämä inhimillinen tekijä korvautuu mekaniikalla ja elektronisilla komponenteilla. Boekholtin mukaan mekanisointi tarkoittaa osittain tai täydellistä käsityövaiheiden korvaamista laitteella tai koneella, siis mekaanisen työn korvaamista teknisin ratkaisuin. Mekanisoinnin tasot alkavat yksittäisistä toiminnoista päättyen kokonaan koneellisesti tuotantoon. (Boekholt 1996, s. 138). Hitsauksen mekanisointi- ja automatisointitasot voidaan ryhmitellä seuraavan taulukon 1 mukaan (Kara & Rajamäki, 1983, s.25).

*Taulukko 1. Hitsauksen mekanisointi- ja automatisointitasot (Kara & Rajamäki, 1983, s. 25).*

Nimitys	Esimerkki	
1. Käsinhitsaus	Hitsaaja suorittaa kaikki hitsaustapahtumaan liittyvät toimenpiteet, esim. puikkohitsaus.	
2. Puolikoneellinen hitsaus (osittain mekanisoitu hitsaus)	Hitsauspään kuljetus ja kontrollointi tapahtuu käsin. Hitsausaine (esim. suojakaasu tai lisäaine) tuodaan liitokseen mekanisoidusti, esim. MIG/MAG – hitsaus käsin.	
3. Koneellinen hitsaus (mekanisoitu hitsaus)	Hitsauspään kuljetus liitoksessa mekaanisesti, esim. akkukäyttöinen hitsauskuljetin MIG/MAG – hitsaukseen.	
4. Automatisoitu hitsaus	Yksittäismekanisointien avulla toteutettu kappaleen automaattinen käsittely ja hitsauspään kuljetus, esim. putkien automaattinen hitsausasema.	

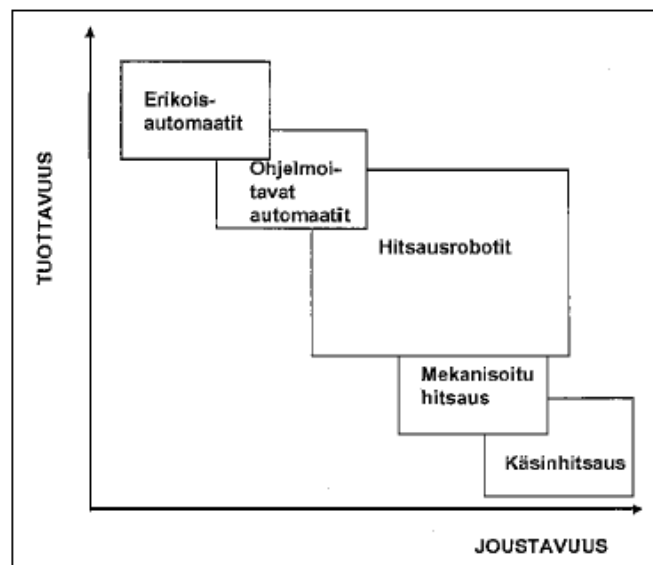
<p>5. Hitsaus automatisoitu esiohjelmallisesti</p>	<p>Hitsauspään liikkeen ohjelmointimahdollisuus; järjestelmä tallentaa ja suorittaa ohjelman, joka sisältää hitsausparametrit ja hitsauspään paikoitustiedon ja liikeradan, esim. robottihitsausjärjestelmä.</p>	
<p>6. Adaptiivinen hitsaus</p>	<p>Hitsausparametrit ja polttimen kulkurata säätyvät automaattisesti esim. railotilavuuden mukaan, esim. viivakameran ja laserin avulla toteutettu sovellus.</p>	
<p>7. Optimoitu adaptiivinen hitsaus</p>	<p>Laitteisto mittaa kaikki olennaiset prosessisuureet ja optimoi tuottavuuden ja laadun.</p>	

### 2.2.1 Käsinhitsaus

Mekanisoinnin tasona käsinhitsaukseen ei kuulu MIG/MAG – hitsaus, vaan tällöin hitsaaja hallitsee, suorittaa ja valvoo kaikki hitsaustapahtumaan liittyvät toiminnot, kuten puikkohitsauksessa, myös lisääineensyötön. Hitsaavissa konepajoissa kuitenkin, puhuttaessa käsinhitsauksesta tai käsin suoritettavasta hitsauksesta, ymmärretään yleensä kaikki ne menetelmät käsinhitsaukseen, joissa hitsauspään kuljetus tapahtuu käsin. Tämän takia tässä työssä käsinhitsaukseen luetaan mukaan myös MIG/MAG- ja TIG – hitsaus, kun niiden hitsauspäää kuljetetaan käsin.

Käsinhitsauksessa hitsaaja ohjelmoi halutut hitsausarvot virtalähteestä, sekä tuo lisääineen liitokseen ja kuljettaa poltinta haluamallaan kuljetusnopeudella haluttuun suuntaan kontrolloiden hitsaustapahtumaa ja parametreja jatkuvasti. Käsinhitsauksen kaariaikasuhte vaihtelee tyypillisesti 20–35% välillä, riippuen kappaleen monimuotoisuudesta, työntekijän ammattitaidosta sekä hitsausaineista. Huonoina puolina on hyvien käsinhitsaajien saatavuus,

työturvallisuus, kuten hitsaushuurut, sekä työvaltaisen menetelmän takia korkea työkustannustaso. Käsinhitsauksen joustavuus on sen suurin hyöty, kuva 5. Monimutkaisissa kappaleissa ammattitaitoinen hitsaaja pääsee vaikeisiin liitoskohtiin, sekä piensarja- tai yksittäistuotannossa hitsaus voi alkaa ilman erillistä ohjelmointia. Hitsauskoonpanokuvan saatuaan hitsaaja valitsee hitsin, hitsausasennon, materiaalin ja lisäaineen mukaan sopivat hitsausparametrit ja aloittaa hitsauksen. (Leino, 1991, s. 4-5)



Kuva 5. Hitsausmenetelmien joustavuus ja tuottavuus (Leino, 1991, s. 4-5)

### 2.2.2 Hitsauksen mekanisointi

Hitsauksen mekanisointi voidaan jakaa osittain mekanisoituun sekä täysin mekanisoituun hitsaukseen. Osittain mekanisoidussa hitsauksessa hitsauspään kuljetus ja kontrollointi tapahtuu käsin. Hitsausaine (esim. suojakaasu tai lisäaine) tuodaan työkohteeseen mekanisoidusti, kuten MIG/MAG – hitsauksessa. Täysin mekanisoidussa hitsauksessa hitsauspään kuljetus tapahtuu mekaanisesti, jolloin hitsaaja pyritään irrottamaan pois itse hitsauskohteesta. Lisäksi lisäaineensyöttö ja polttimen kuljetus suoritetaan koneellisesti. Tällöin hitsaaja säätää hitsausarvot virtalähteestä ja mekanisointilaitteesta ja määrittää aloitus- ja lopetuskohdan, sekä valvoo ja kontrolloi hitsaustapahtumaa sekä tarvittaessa muuttaa hitsausparametreja. Kun hitsauskohteeseen saadaan etäisyyttä, paranevat työntekijän työolosuhteet ratkaisevasti. Mekanisoinnin avulla saadaan kaariaikasuhde nostettua jopa

50 %:iin, jos hitsauspaikan layout, silloitusvarustus ja työnkulku on suunniteltu oikealla tavalla. (Heikonen, 1990, s. 61) Mekanisoinnin hyödyntäminen vaatii yritykseltä ennakkoluulottomuutta ja osaamista. Suurimmat hyödyt voidaan jaotella seuraavasti (Haula, 2008, s.2):

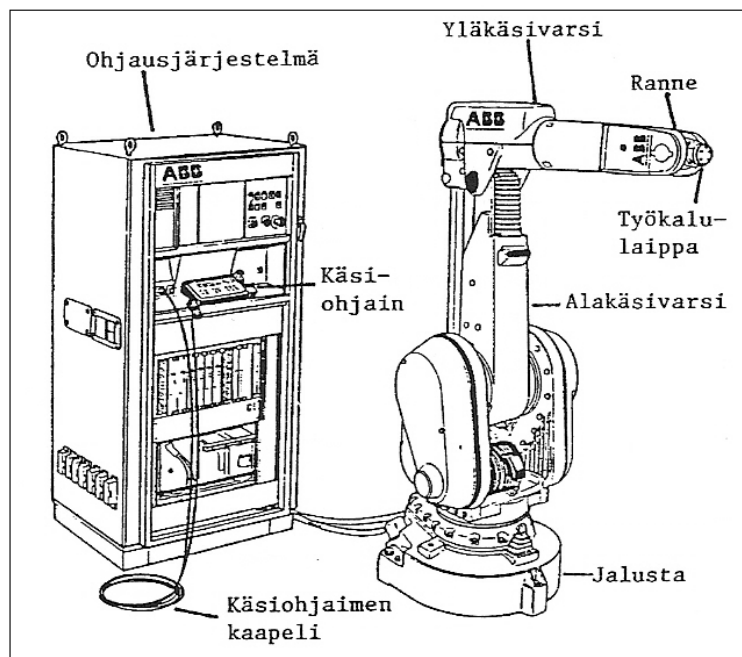
- Hitsauksen tuottavuus kasvaa
- Hitsin laatu on tasainen
- Tuotteen ulkonäkö paranee, ei käsinhitsauksen muotovaihteluita
- Työergonomia paranee
- Työturvallisuus paranee
- Jälkityö vähenee
- Aloitus- ja lopetuskohtien lukumäärä vähenee
- Hitsin a-mitta pysyy vakiona tasaisen kuljetusnopeuden ansiosta
- Tehokkaiden hitsauslisäaineiden käyttö mahdollista

### 2.2.3 Hitsauksen automatisointi

Automaattisessa hitsauksessa yksittäismekanisointien avulla hitsauspään kuljetuksen ja lisääinesyötön lisäksi kokoonpantavat osat kootaan, paikoitetaan sekä puretaan mekaanisesti eli kappaleen käsittely tapahtuu automaattisesti. Hitsausparametrit ja liikeradat ohjelmoidaan ennen hitsauksen suorittamista ja hitsausarvojen käsivarainen säätö ei ole mahdollista hitsauksen aikana. Erikoisautomaatit edustavat puolestaan pitkälle vietyä automatisoitua hitsausta. Niiden tuottavuus on suurta, mutta vastaavasti erikoisautomaattien joustavuus erilaisille hitsattaville tuotteille on huono. Yleensä ne ovat suunniteltu ja räätälöity vain tietyn tuotteen tai tuoteperheen valmistukseen. Erikoisautomaateilla hitsataan suursarjavalmistaisia tuotteita ja automaattien investointikustannukset ovat korkeita. Erikoisautomaatteja ovat esimerkiksi putken pituushitsauslinjat. (Martikainen, 2007b, s. 120–122.)

## 2.2.4 Hitsauksen robotisointi

Robotilla tarkoitetaan vähintään kolminivelistä mekaanista laitetta, joka on uudelleen ohjelmoitavissa. Robotin yhtä niveltä sanotaan vapausasteeksi. Vapausasteet ovat kiertyviä tai suorita, pääsääntöisesti hitsausroboteissa sähkökäyttöisiä. Rakenteen perusteella yleisimpiä robotteja ovat suorakulmaiset, scara-, kiertyväniveliset ja sylinterirobotit. Nykyisin lähes kaikki hitsaavat robotit ovat kuuden vapausasteen kiertyvänivelisiä teollisuusrobotteja, joille on ominaista suhteellisen pieni koko ja kuormankantokyky, mutta sitä vastoin niillä on suuri ulottuvuus. Kuvassa 6. on kuuden vapausasteen teollisuusrobotti ja sen tärkeimmät komponentit. (Kuivanen, 1999)

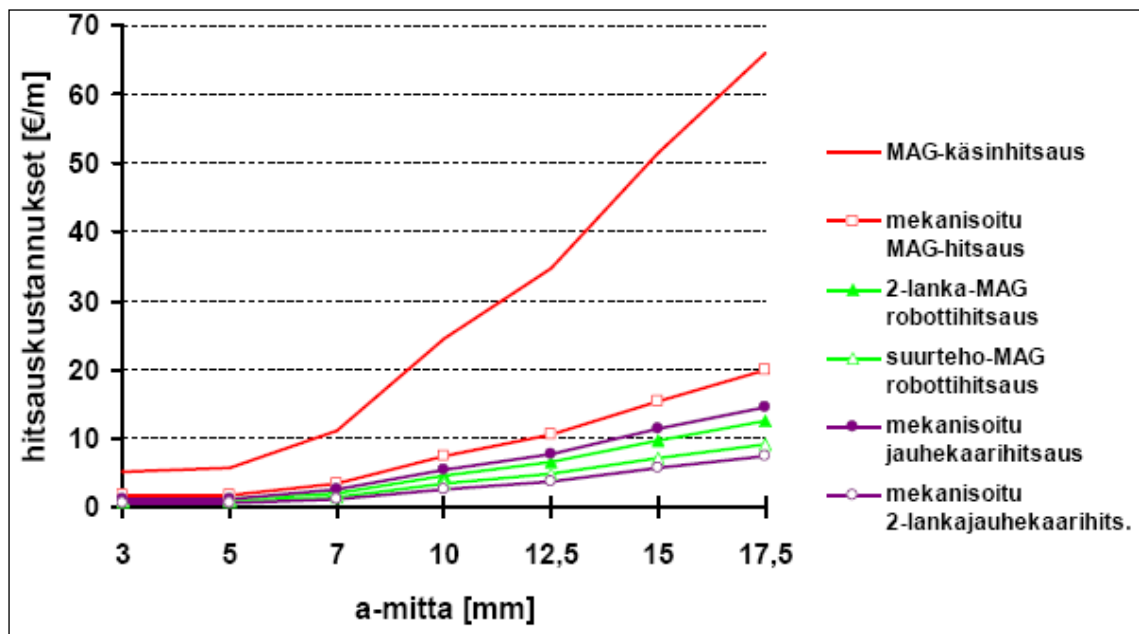


Kuva 6. Teollisuusrobotti ja sen tavallisimmat komponentit (Martikainen, 2007b, s. 136).

Robotisoidussa hitsauksessa tärkeimpänä tekijöinä ovat tuottavuus, hitsauksen toistettavuus ja tasainen laatu. Robottihitsauksen onnistumisen kannalta oleellista on koko tuotantoketjun tasalaatuisuus ja sisäinen toimintavarmuus. Osavalmistuksen hallitsemattomuus kostaatuu robottihitsauksessa, jolloin osat eivät sovi paikoilleen, osia puuttuu tai hitsit eivät osu kohdalleen eri valmistuserissä. Näistä syistä robotin kaariaika voi jäädä matalaksi ja operaattoreiden aika kuluu osien sovittamiseen ja hitsausvirheiden sekä ohjelmien korjaamiseen. (Haapakoski, 2008, s. 29)

### 2.3 Käsinhitsauksen mekanisointi

Suomessa hitsataan edelleen paljon käsin puikko-, MIG/MAG- ja TIG – hitsausprosesseilla, vaikka ne vievät paljon työaikaa. Hitsauksen automatisointi on tärkeää suomalaisille yrityksille kilpailukyvyn säilyttämiseksi, mutta kaikkea ei pysty automatisoimaan esim. kappaleiden geometrian tai vähäisen sarjakoon vuoksi, jolloin käsinhitsaus voi olla kustannuksiltaan edullisempi vaihtoehto. A – mitan kasvaessa esim. hyvin luoksepäästävillä suorilla tai kehähitseillä käsin suoritettavan MAG -hitsausprosessin kustannukset kasvavat sen muihin menetelmiin verrattaessa huomattavasti korkeammiksi, kuva 7.



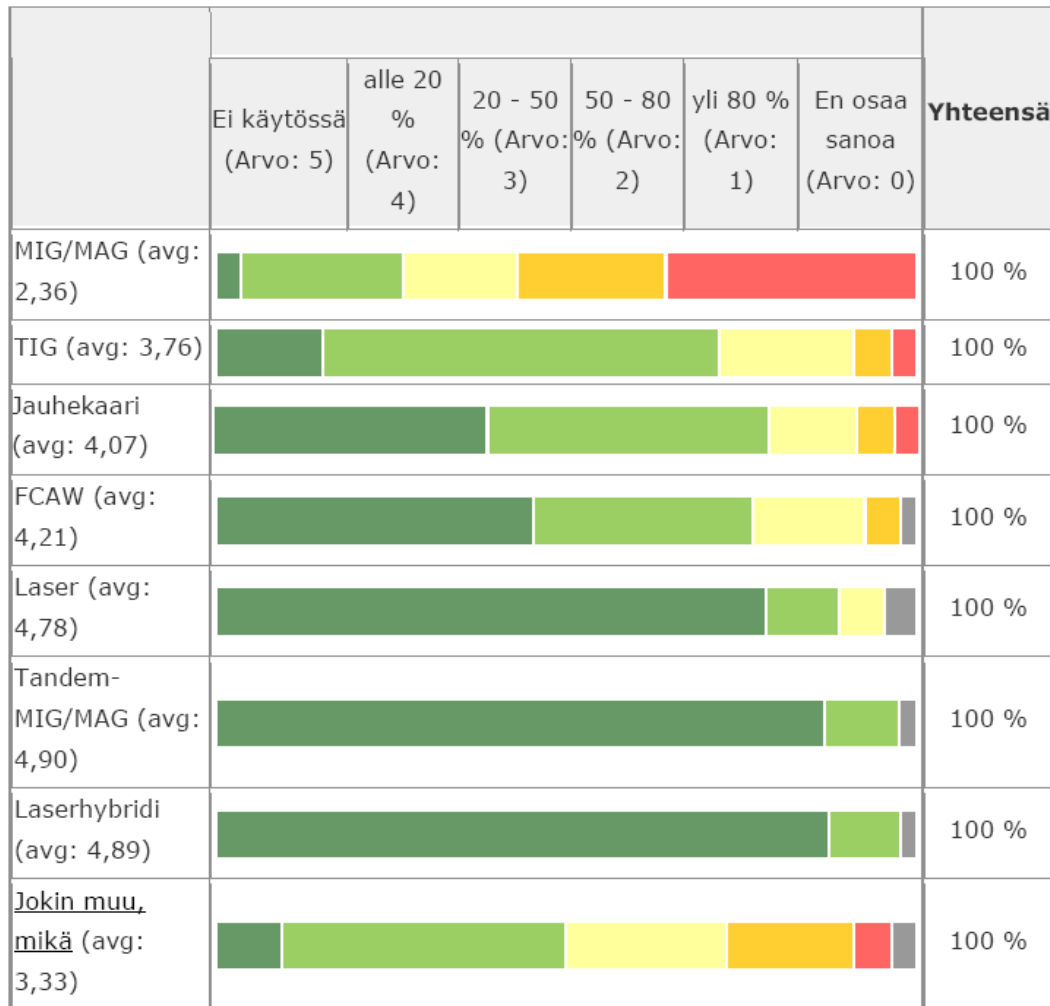
Kuva 7. Hitsauskustannusten kasvu a-mitan kasvaessa (Leino, 2008, s.17).

Käsinhitsausta voidaan kuitenkin kehittää monella tavalla ja tärkeimpänä lähtökohtana on siirtyä tuottavimpiin menetelmiin, kuten MIG/MAG – hitsaukseen. Hitsattavalle kappaleelle sopivalla kappaleenkäsittelylaitteella päästään tuottaviin hitsausasentoihin, kuten esim. yläpienasta jalkoasentoon, jolloin myös laatu paranee, sekä lisäksi työn mielekkyys, työergonomia ja työturvallisuus kohentuvat. Pyöritysrullastot sopivat lieriömäisille kappaleille, sekä kappaleenkäsittelypöydät monimutkaisimmille kappaleille. Kappaleenkäsittelylaitteet poistavat lisäksi hitsaukseen liittyviä sivuaikoja, jolloin kaariaikasuhte paranee. Hitsaussolua kehittämällä päästään parempaan työympäristöön ja

materiaalivirran hallintaan. Erilaisia materiaalisiirron ratkaisuja vertailemalla löydetään sopivin menetelmä. Kappaleiden kiinnitystä kehittämällä esim. mekaanisista kiinnittimistä hydraulisiin kiinnittimiin saadaan kiinnitystä nopeammaksi. Hitsaussolua voidaan varustella hitsausta helpottavilla välineillä, kuten apupöydillä tai kaapeleiden kannattimilla.

### 3 KÄSINHITSAUSPROSESSIT

Käsinhitsaukseen soveltuvat prosessit ovat yleensä puikko-, MIG/MAG- ja TIG – hitsaus, joista MIG/MAG on yleisin. Kuvassa 8 on VTT:n tutkimus eri hitsausprosessien käytöstä suomalaisissa konepajoissa. Jokaisella hitsausprosessilla on omat hyvät ja huonot puolensa, joiden takia ne soveltuvat eri materiaaleille eri tavalla.



Kuva 8. VTT:n tutkimusraportti Suomessa käytettävistä hitsausprosesseista (Leino et al. 2008, s. 42)

### 3.1 Puikkohitsaus

Puikkohitsaus (SFS-EN 24063: Nro 111) on metallikaarihitsausta hitsauspuikon avulla käsin. Sitä käytetään kaikkialla hitsaavassa teollisuudessa ja yleensä kaikkialla, missä hitsausta tarvitaan. Valokaari palaa puikon pään ja työkappaleen välillä. Sydänlanka sulaa ja sula metalli siirtyy sulan kuonan ympäröimänä metallipisaroina hitsisulaan. Päälystetyyppejä on neljä: hapan-, selluloosa-, rutiili- ja emäspäälyste. (Lukkari, 1997, s. 88) MIG/MAG – hitsauksen yleistymisen suomalaisilla telakoilla ja konepajoilla on vähentänyt etenkin puikkohitsausta.

Tyypillisiä puikkohitsauksen käyttäjiä ja käyttöaloja ovat silti edelleen mm. paineastioiden hitsaus, erikoisterästen hitsaus, suurten ja monimuotoisten rakenteiden hitsaus, hitsaus ulkona, korjaushitsaus ja päällehitsaus. Puikkohitsaus soveltuu erinomaisesti kaikkien teräslaatuja hitsaukseen ja suurimmilla lisäainetoimittajilla voi olla luetteloissaan jopa yli sata erilaista hitsauspuikkoa. Puikkohitsaus soveltuu hyvin kaikkiin mahdollisiin asentoihin, kun kohteeseen on valittu sopiva puikko ja sopivat hitsausarvot, sekä lisäksi sillä on hyvä luoksepäästävyys ahtaissa paikoissa. Puikkohitsauksen käyttöalue alkaa noin 1,0–1,5 mm aineenpaksuudesta, eikä paksuudella ole käytännön ylärajaa, vaan se määräytyy lähinnä vaihtoehtoina käytettävissä olevien tehokkaampien ja taloudellisempien hitsausprosessien ja -menetelmien mukaan. Ulko-olosuhteet eivät juuri haittaa hitsausta, sekä sen ulottuvuus ja siirrettävyys ovat erittäin hyvät keveiden kannettavien virtalähteiden ansiosta. Puikkohitsauksen mekanisointi on vaikeaa lisäaineen lyhyiden sekä määrämittaisuuden takia. (Lukkari, 1997, s. 89–91.)

### 3.2 MIG/MAG -hitsaus

MIG/MAG – hitsaus (SFS-EN 24063: Nro 131 MIG -hitsaus ja Nro 135 MAG -hitsaus) eli metallikaasukaarihitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa suojakaasun ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välillä. Suojakaasu voi olla joko aktiivinen (MAG -hitsaus), joka reagoi hitsisulassa olevien aineiden kanssa tai inertti (MIG -hitsaus), joka ei reagoi. MIG/MAG – hitsaus on yleensä osittain mekanisoitua hitsausta eli hitsaajan käsin tehtyä hitsausta. Hitsaus on myös helppo edelleen mekanisoida, automatisoida ja robotisoida. (Lukkari, 1997, s. 159-160.)

MIG/MAG – hitsausta käytetään nykyään kaikkialla hitsaavassa teollisuudessa, mm. maatalouskoneita, metsäkoneita, teräsrakenteita, putkistoja ja paineastioita valmistavassa teollisuudessa. Prosessi soveltuu yhtä hyvin sekä terästen että useimpien ei – rautametallien hitsaukseen. Suojakaasu määräytyy lähinnä hitsattavan materiaalin perusteella, sekä lisääinevalikoima on laaja ja niiden saatavuus on hyvä. MIG – hitsausprosessia käytetään pääasiassa alumiinin ja kuparin hitsaukseen ja MAG – prosessia rakenneterästen, ruostumattomien ja haponkestävien terästen hitsauksiin. Sopivilla hitsausarvoilla MIG/MAG - hitsausprosessi soveltuu hyvin kaikkiin hitsausasentoihin. Hitsattavien aineenpaksuuksien alaraja on noin 0,8 mm eikä ylärajaa käytännössä ole, vaan se määräytyy lähinnä vaihtoehtoina käytettävissä olevien tehokkaampien ja taloudellisempien hitsausprosessien mukaan. (Lepola & Makkonen, 2005, s. 42)

### 3.2.1 Kylmäkaariprosessit

MIG/MAG –hitsauksen lyhytkaarialueella toimivia niin sanottuja kylmäkaarihitsausprosesseja on olemassa useita. Prosessista ja laitteiston valmistajasta riippuen toimintaperiaatteet vaihtelevat, mutta yhteistä näille kaikille on pienentynyt lämmöntuonti perinteisiin hitsausmenetelmiin verrattaessa. Kylmäkaariprosessit on suunniteltu käytettäväksi sellaisten materiaalien ja kohteiden kanssa, joissa sallittu hitsaustapahtuman lämmöntuonti on hyvin rajoitettua. Lyhytkaarihitsauksen sovelluksia ovat esim. CP eli Cold Process, Cold Arc, CMT eli Cold Metal Transfer, STT eli Surface Tension Transfer, FastROOT sekä RMD eli Regulated Metal Deposition.

Kemppi Oy esitteli vuonna 2005 uuden rakenneteräksille ja ruostumattomille teräksille soveltuvan pohjapalon ja ohutlevyjen hitsaukseen tarkoitetun FastROOT prosessin. Kyseessä on muokattu lyhytkaarihitsausprosessi, joka on käytettävissä Kempin FastMig Synergic – tuoteperheen laitteissa. FastROOT-prosessissa jännite- ja virtaparametreja ohjataan hitsauksen aikana digitaalisesti. Hitsauksen aikana seurataan oikosulkua ja ohjataan pisaran irtoaminen langan päästä tapahtumaan oikea-aikaisesti. (Uusitalo, 2006, s. 5.)

Käytettäessä FastROOT-hitsausprosessia hitsaaja pystyy säätämään langansyöttöä, toisen virrannousuvaiheen korkeutta ja pohjavirtaa. Hitsaajan tulee kuljetuksessa huomioida, että valokaaren tehokkuuden vuoksi tulee kaarta kuljettaa sulan päällä, eikä sen reunoilla.

Paksunnan sulan tuoma tuki estää lisäänelankaa menemästä sulan läpi ja aiheuttamasta roiskeita juuren puolelle. (Uusitalo, 2006, s. 6.)

FastROOT:a käytetään eniten rakenneterästen ja ruostumattomien terästen hitsaukseen, joiden hitsaus FastROOT:n avulla on käytännössä roiskeetonta. FastROOT:n eduiksi voidaan laskea sen TIG-hitsausta parempi tuottavuus ja nopeus, roiskeettomuus, helppo hitsattavuus, hyvät juurenpinnan ja juurenpuolen muodot sekä vähäinen jälkityöstön tarve. (Uusitalo, 2006, s. 6-7.)

### 3.3 Täytelankahitsaus

Täytelankahitsausta tehdään lähes pelkästään suojakaasun kanssa, joten hitsausprosessin nimitys on MAG-täytelankahitsaus. Se muistuttaa toimintaperiaatteiltaan ja laitteeltaan hyvin paljon MIG/MAG -hitsausta. Lisäaineena on umpilangan sijaan täytelanka. Suojakaasuna on aktiivinen kaasu, argonin ja hiilidioksidin muodostama seoskaasu tai puhdas hiilidioksidi. Täytelankahitsaus ilman suojakaasua on harvinainen prosessi, jota käytetään jonkin verran päällehitsauksessa.

Täytelanka on putkimainen lanka, jonka teräskuoren sisällä on täytejauhe. Seostamattomissa ja niukkaseosteisissa täytelangoissa kuori on seostamatonta terästä ja ruostumattomissa langoissa ruostumatonta terästä. Kuoren tehtävä on olla suoja täytejauheelle, antaa muoto lisäaineelle, tuottaa sulaessaan hitsiainetta ja toimia virranjohtimena. Täytteen koostumus ja tehtävät muistuttavat suuresti hitsipuikon päällystettä. Täytteen pääkoostumuksen perusteella voidaan täytelangat jakaa kahteen ryhmään: jauhetäytelangat ja metallitäytelangat. MAG -täytelankahitsauksen etuina on suuri tuottavuus, helppo mekanisointavuus, hyvät asentohitsausominaisuudet, hyvä tiiveysvarmuus ja hyvät hitsiaineen mekaaniset ominaisuudet. (Esab, 2014)

### 3.4 TIG – hitsaus

Volframi-inerttikaasukaarihitsaus eli TIG – hitsaus (SFS-EN 24063: Nro 141) on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa sulamattoman volframielektrodin ja työkappaleen välillä suojakaasun ympäröimänä. Hitsaustapahtumaa suojaa inertti suojakaasu, jona käytetään argonia tai heliumia. Käsinhitsauksessa tuodaan mahdollinen lisäaine erikseen toisella kädellä hitsisulaan. (Lukkari, 1997, s. 249)

TIG – hitsaus on yleensä käsinhitsausta. Se voidaan helposti myös mekanisoida esimerkiksi asentamalla hitsain kuljetinlaitteeseen, jolloin langansyöttölaite syöttää mahdollisen lisäaineen lankakelalta hitsisulaan. TIG – hitsaus soveltuu lähes kaikkien metallien hitsaukseen. Eniten menetelmää käytetään ruostumattomien terästen ja alumiinien hitsaukseen. Menetelmä soveltuu erityisen hyvin ohuiden aineenpaksuuksien hitsaukseen, aina 0,1 mm ylöspäin ja suuremmilla aineenpaksuuksilla menetelmän käyttö rajoittuu yleensä pohjapalkoihin. Ulko-olosuhteissa menetelmän käyttöä rajoittaa suojakaasun suojauksen häiriintyminen. (Lukkari, 1997, s. 256–257)

### 3.5 Muut prosessit

Plasmahitsausta (SFS-EN 24063: Nro 15) voidaan tehdä käsinkuljetuksena tai mekanisoidusti. Plasmahitsaus on volframikaasukaarihitsausprosessi, jossa pääasiallisena hitsauslämmön lähteenä on valokaaren muodostama plasma. Yleensä hitsaus on mekanisoitua, koska plasmahitsauksen edut voidaan parhaiten hyödyntää mekanisoidussa ja automatisoidussa hitsauksessa. Käsinhitsauksessa käytetään yleensä sulattavaa valokaarta. (Lukkari 1997, s. 272)

## 4 KÄSINHITSATTAVA TUOTE JA TUOTANTO

Käsinhitsattavaksi tuotteeksi soveltuu pienet yksinkertaiset rakenteet ja aina teknisesti vaativat suuret kokonaisuudet. Suurimpana rajoittavana tekijänä on käsin suoritettavien hitsausprosessien tuottavuus muita hitsausmenetelmiä huonomman hitsiaineentuoton ja kaariaikasuhteen takia, sekä ammattitaitoisten hitsaajien saatavuus. Kustannukset ja yrityksen resurssit määräävät pitkälti millä hitsausprosessilla ja -menetelmällä tuotteet hitsataan. Tuotteen soveltuessa liitosmuodoiltaan, sarjakooltaan sekä syntyviltä kustannuksiltaan paremmin muille menetelmille on yrityksen liiketoiminnan kannalta viisasta siirtyä toisiin menetelmiin. Monimutkaiset kappaleet soveltuvat usein parhaiten käsinhitsaukseen ja etenkin mekanisoituun käsinhitsaukseen. Tuotannoltaan käsinhitsauksella päästään nopeisiin toimituksiin pienissä sarjoissa verrattaessa muihin menetelmiin. Samassa hitsaussolussa tuotteet voivat vaihdella eri materiaalienkin välillä kunhan kappale soveltuu kooltaan ja muodoltaan käytettävään kappaleenkäsittelylaitteeseen.

### 4.1 Käsinhitsattavan tuotteen materiaali

Käsinhitsaukseen soveltuu erinomaisesti kaikki teräslaadut, valuraudat, titaanit, magnesiumit sekä alumiini-, kupari- ja nikkelseokset riippuen käytettävästä hitsausprosessista. Puikkohitsaus soveltuu seostamattomien, hienorae-, säänkestävien, suurlujuisten, kuumalujien, kylmäsitkeiden, ruostumattomien ja tulenkestävien terästen, valuraudan sekä nikkelseosten että kupariseosten hitsaukseen. Alumiiniseoksia hitsataan jonkin verran korjaustilanteissa puikolla. (Lukkari 1997, s. 90–91) Puikkohitsauksessa taitava hitsaaja voi päästä alle 2 mm ammitasta aina yli 6 mm:iin yksipalkohitsauksena, paksummat materiaalit vaativat monipalkohitsauksen. MIG/MAG – hitsauksella päästään noin 0,1 mm:iin saakka. TIG – hitsauksella päästään erittäin ohuisiin materiaaleihin, jolloin lisäainetta ei käytetä.

### 4.2 Tuotteen koko ja muoto

Käsin hitsattavien tuotteiden koot voivat vaihdella hyvinkin suuresti suuren sarjakoon omaavista pienistä osavalmisteista yksittäisiin, mutta suuriin kappaleisiin. Pääsääntönä on, että hitsit ovat käsinhitsaajan ulottuvilla ja luoksepäästävässä asianmukaisilla poltin- orientaatiolla, sekä hitsattavissa tuottavassa hitsausasennossa turvallisesti. Etenkin pieniä kappaleita, joissa on pieniä hitsejä, hitsataan paljon käsin. Käsinhitsausta käytetään myös mekanisoidun

hitsauksen apuna siten, että suorat ja kehähitsit hitsataan mekanisoidusti ja loput hitsit käsin. Robotisoidussa hitsauksessa käytetään myös käsinhitsausta hyväksi varustelussa hitsattaessa pienempiä osia. Silloitushitsaukset suoritetaan yleensä käsin ennen mekanisoitua ja robotisoitua hitsausta. Ohutlevyjen käsinhitsauksessa suositellaan käytettäväksi mahdollisimman ohuita hitsauslisäainelankoja, jolloin voidaan käyttää pienempiä hitsausvirtoja. Lämmöntuonti jää tällä tavoin mahdollisimman pieneksi, joka on edullista muodonmuutosten osalta. Käsinhitsaajalle pienen sulan hallinta on helppoa ja läpipalamisen vaara pienenee. Ohutlevyjen hitsauksessa ongelmana on ohuella lisäainelangalla syntyvän hitsin kapeus. Yleinen lisäainelangan kohdistusvaatimus MIG/MAG -hitsauksessa esimerkiksi päittäisliitokselle on +/- 0,5 millimetriä kerrottuna lisäainelangan halkaisijalla. (Brace & Brook, 2002)

#### 4.3 Liitokset ja hitsit

Hitsausliitoksien muotoilulla pyritään vaadittavaan lujuuteen, valmistettavuuteen, esteettisyyteen ja käytettävyyteen hitsattavalle rakenteelle. Hitsausinsinööri tai suunnittelija määrittelee rakenteeseen eri liitosmuodot, kuva 9. Liitokset tai railomuodot eivät rajoita käsin suoritettavaa hitsausta, mikäli hitsi on luoksepäästävässä. Lisäksi railon keskiviivalle sallittavat mittapoikkeamat teoreettisesta liikeradasta ovat rajoitetummat esim. mekanisoidussa tai automatisoidussa hitsauksessa kuin käsin suoritettavassa hitsauksessa. Staattisesti kuormitetuille rakenteille pyritään liitosten muotoilulla etsimään voimavuolle helpoin reitti, jolloin pyritään välttämään lamellirepeily. Valmistettavuuden kannalta on varmistettava hitsien luoksepäästävyys. Käsin suoritettavilla hitsausprosesseilla, etenkin puikkohitsauksella, päästään erittäin vaikeisiin liitospaikkoihin, jolloin käsinhitsaus antaa suunnittelijoille enemmän vapauksia. (Karhula, 2004, s. 80-84.) Käsinhitsauksessa käytettävät yleisimmät hitsausprosessit soveltuvat lähes kaikille hitsausasennoille, jalkoasennon ollessa helpoin. Käsin suoritettavassa hitsauksessa puutteellinen tunkeuma tai läpipalamisen vaara ei myöskään ole niin suuri kuin esim. mekanisoidussa hitsauksessa. MIG/MAG -hitsauksessa railojen kulmaa voidaan pienentää suhteessa puikkohitsaukseen ohuemman hitsauslangan ansiosta. (Grönlund, 1990)

Perus- merkki	Liitos		Railon nimi	Hitsin nimi
△			Piena- railo	Piena- hitsi
			I-railo	I-hitsi
V Y			V-railo	V- hitsi
V Y			Puoli-V- railo	Puoli-V- hitsi
X X			X-railo	X-hitsi
K K			K-railo	K-hitsi
U			U-railo	U-hitsi
J			J-railo	J-hitsi
X			Kaksois- U-railo	
K			Kaksois- J-railo	
L			Tulppa- railo	Tulppa- hitsi
O				Piste- hitsi
⊕				Saumake- hitsi

Kuva 9. Erilaiset liitosmuodot (Grönlund, 1990).

#### 4.4 Tuotteen ”monimuotoisuus”

Mekanisoidulle, automatisoidulle tai robotisoidulle hitsaukselle kappaleen monimuotoisuus, kuten lyhyet hitsit, eri liitosmuodot tai aineenpaksuudet, sekä pienet osat tai hitsien vaikea luoksepäästävyys ovat ongelmia. Mekanisoidulle hitsaukselle on tyypillistä suorat tai kehähitsit, robotisoidulle hitsaukselle soveltuu nykyisin monimutkaisemmatkin kappaleet, mutta niiden toistettavuus jää usein huonoksi. Käsin suoritettavalle hitsaukselle on ominaista kappaleet, jotka eivät sovellu muihin menetelmiin.

#### 4.5 Mekanisoidusti käsinhitsattavan tuotteen erityispiirteet

Mekanisoidusti käsinhitsattava tuote on muutamista kymmenistä kiloista tuhansiin kiloihin painava kappale, jonka käsittely olisi hankalaa tai jopa vaarallista ilman kappaleenkäsittelijää. Kappaleessa hitsit sijaitsevat eri puolilla, ne voivat olla lyhyehköjä, sekä luoksepäästävyys huonohko, jolloin kappaleenkäsittelijällä pyritään siirtämään kappale joka kerta optimiasentoon. Hitsaavan konepajan ensimmäisenä lähtökohtana on lähes aina rahallinen säästö hankittaessa kappaleenkäsittelijää pienenevän työajan kautta. Myöhemmin tulevat esille vasta laadullisen, työturvallisuuden ja työnmielekkyyden kautta saatavat hyödyt yritykselle.

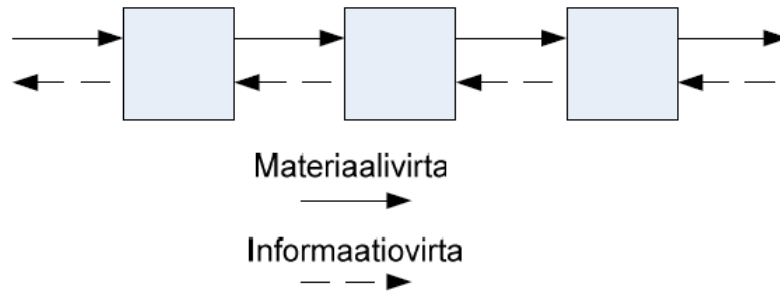
#### 4.6 Käsinhitsattavan tuotannon ominaispiirteet

Käsinhitsaavassa tuotannossa voidaan hitsata samaa osaa jatkuvasti, mutta etenkin käsinhitsaukseen soveltuu muita menetelmiä paremmin tuotteiden vaihtuminen ja tuotannon mukautuminen uusiin tuotteisiin tuotannon säilyttäessä nopeat toimitusajat. Yksittäistuotanto ei ole yleensä järkevää millään muulla menetelmällä kuin käsinhitsaamalla. Ammattitaitoinen hitsaaja on samassa ajassa hitsannut pienet alle 50 kg:n osat kuin hitsausoperaattori on vasta tehnyt uuden ohjelman robottiin samalle kappaleelle. Hitsaaja mukautuu uusiin ja vaihtelevaan tuotantoon nopeasti, sekä pystyy tekemään pienet muutokset hitsattaviin kappaleisiin itse.

Mekanisoiduissa ja robotisoiduissa konepajoissa on myös tuotanto jakautunut käsinhitsaavan osastoon, jossa tehdään pienet esivalmistelut, osavalmisteet ja silloitushitsaukset ennen varsinaista kokoonpanohitsausta. Sielläkin pienet sarjat sekä riippuen tuotteesta myös suuriakin sarjoja suoritetaan yleensä käsin, sillä tuotantolinjaa ei ole järkevää muokata sopivaksi pienille sarjoille niin ajallisesti kuin rahallisestikin.

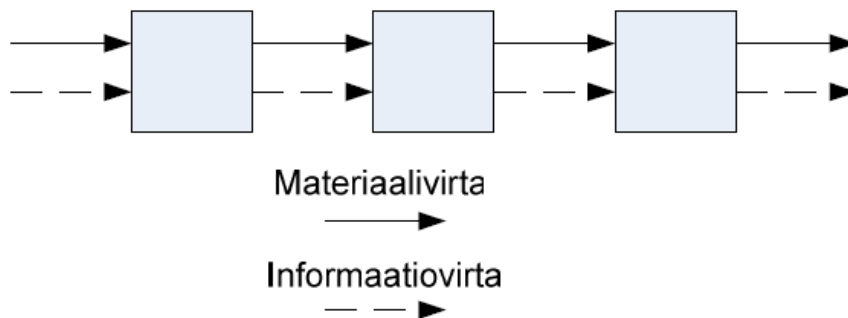
##### 4.6.1 Tuotannonohjaus

Yrityksen tuotannonohjauksen tehtävänä on optimoida tuotannon tavoitteet ja niiden toteutuminen laadun, määrän, toimitusajan ja kustannusten suhteen niin, että saavutetaan yrityksen toiminnan ja toimivuuden kannalta paras kokonaistulos. Käsinhitsauksen tuotannonohjaus riippuu käytännössä yrityksestä sekä hitsattavasta tuotteesta. Tilausohjattavuudessa eli imuohjauksessa joudutaan tekemään kompromisseja tuotteen toimitusajan ja toimintaan sitoutuvan vaihto-omaisuuden määrän välillä. Tilauksen saavuttua lähtee tuotantoon impulssi, josta informaatio kulkeutuu vastavirtaa valmistuksen alkupisteeseen, jossa aloitetaan esim. rakenteiden hitsaus. Kappaleet kulkeutuvat suoraan seuraavaan vaiheeseen myötävirtaan ilman erillisiä varastoja tai pienien puskurivarastojen avulla pienten eräkokojen takia, kuva 10. Tilausohjauksessa hankintoja pystytään ohjaamaan hyvin, koska toimitusaika lasketaan lopusta alkuun, mutta heikkoutena on kuitenkin toimitusajan kasvaminen. Suomessa imuohjauksesta on kehitetty termi JOT, ”juuri oikeaan tarpeeseen”. JOT – periaatteella rakenteet hitsataan vain ja ainoastaan silloin, kun asiakas niitä tarvitsee sekä vain sen verran, mikä on asiakkaan tarve. (Sipper et al. 1997, s. 544-545.)



Kuva 10. Imuohjauksen periaate (Sipper et al. 1997, s. 545).

Työntöohjauksen perusteena on menekin ennakointi, jolloin tiedetään, että tuotteella on kysyntää tulevaisuudessa esim. edellisvuosien myyntitilastojen tai tulevaisuuden näkymien perusteella. Toimitusaika lasketaan tällöin alusta loppuun. Käytännössä lyhyen toimitusajan turvaamiseksi joudutaan kappaleita valmistamaan riittävän varmuuden saavuttaviin varastoihin. Työntöohjauksessa jokaisen työn valmistumiselle asetetaan määräaika, jonka jälkeen arvioidaan työhön ja toimenpiteisiin kuluva aika ja materiaali- ja informaatiivirta kulkee samaan suuntaan kuten kuvassa 11. Työ aloitetaan juuri silloin, kun työ ehditään tehdä määräpäivään mennessä. Mitä enemmän tuotannossa on erilaisia prosesseja ja mahdollisia muuttujia, sitä vaikeampaa tuotannon ajoittaminen on johtuen mahdollisista viiveistä eri prosessien välillä. Työntöohjattavassa massatuotannossa valmistuskustannukset jäävät pieniksi, mutta kuitenkin tavaran varastoinnista, ylimääräisestä käsittelystä, mahdollisesta myymättä jääneistä tuotteista ja epävarmuudesta syntyy ylimääräisiä kustannuksia. Työntöohjaus soveltuu myös pieniin eräkokoihin, jos valmistustekniikat ovat kehittyneitä ja läpimenoajat pienentyneet. (Peltonen, 2013)



Kuva 11. Työntöohjauksen periaate (Sipper et al. 1997, s. 545).

#### 4.6.2 Layout ja materiaalivirrat

Hitsaussolun layout kannattaa kehittää mahdollisimman hyvin tuotteen valmistukseen sopivaksi. Tuotteen mukaisella layoutilla saavutetaan läpimenoajan lyhentämisen lisäksi muitakin etuja: välivarastot pienenevät, ohjattavuus helpottuu, tuotevirta muuttuu visuaalisesti havaittavaksi, tilantarve vähenee jne. (Vilpas, 1990, s. 33)

Riippuen käsinhitsattavasta tuotteesta tuotanto voi jakautua joko kiinteäasemaiseen, funktionaaliseen, solu- tai tuotantolinjalayoutiin tai näiden yhdistelmiin. Kiinteäasemaisessa layoutissa materiaali ei liiku läpi prosessin, vaan sen sijaan hitsaajat sekä laitteistot liikkuvat hitsattavan materiaalin luokse. Tällainen tuotanto sopii parhaiten vaikeasti siirrettäville sekä erittäin painaville kappaleille. Funktionaalisisessa layoutissa samankaltaiset työvaiheet kerätään yhtenäisiksi ryhmiksi, jolloin hitsaus keskitetään omaksi ryhmäksi muusta tuotannosta. Tällöin materiaalivirrasta voi tulla hyvinkin monimutkainen ja jalostamaton työaika voi kasvaa korkeaksi. Solu -layout koostuu pienistä itsenäisistä valmistusyksiköistä eli soluista, joiden tarkoituksena on valmistaa osakokoonpano, tuotteen osa tai tuote mahdollisimman valmiiksi. Valmistusyksikkö voi sisältää esim. pienempiä käsihitsaussoluja, joissa silloitetaan ja hitsataan monimutkaisemmat osat, hitsausrobotin, jossa kokoonpano hitsataan ja koneistuskeskuksen, jossa tehdään tarvittavat koneistukset. Tuotantolinja -layout on suunniteltu tuotteille, joiden työnkulku on jatkuvasti sama. Materiaalivirta kulkee pitkin linjastoa, kunnes materiaaleista valmistettu hyödyke on valmis toimitettavaksi eteenpäin. Rajoittavina tekijöinä on tuotevariaatioiden rajoitettu määrä sekä yksittäisen häiriön vaikutus koko tuotantolinjaan. (Slack et al. 2004, s. 207-213)

## 5 KÄSINHITSAUKSEN TUOTTAVUUS, TALOUDELLISUUS JA LAATU

Suomessa hitsaavat konepajat joutuvat kilpailemaan yksinkertaisissa rakenteissa ja tulevaisuudessa myös vaikeimmissa rakenteissa Baltian alueen konepajojen kanssa etenkin projektiluonteisissa töissä. Jatkuvasti joudutaan miettimään miten hitsauksen taloudellisuutta ja tuottavuutta pystytään parantamaan. Teknisten parannusten kautta usein myös laatu ja työergonomia parantuu huomaamatta.

### 5.1 Tuottavuuden tunnusluvut ja mittarit

Hitsauksessa tuottavuus tarkoittaa sitä, kuinka paljon valmista hitsiä tai hitsausliitosta aikaansaadaan käytetyillä työ-, materiaali-, laite- ym. panoksilla, kuten hitsimetriä tai hitsattuja kappaleita tietyssä ajassa, esim. työvuorossa. Hitsiaineentuottoa eli railoon sulatetun lisääineen (hitsiaineen) määrää tunnissa käytetään paljon tuottavuuden mittarina MIG/MAG – hitsauksessa. Paloaikasuhte eli kaariaikasuhdetta käytetään myös tuottavuuden mittarina. Se kertoo valokaaren paloajan osuuden koko hitsaustyöajasta. (Martikainen, 2007b, s. 13.)

Hitsauksen tuottavuuden parantamisessa keskeinen tehtävä on lyhentää erilaisia hitsaustyöhön käytettyjä aikoja. Lähtökohdaksi voidaan ottaa hitsaustyöajan ja kaariajan laskentakaavat, joissa hitsiainemäärä on railossa tarvittavan hitsiaineen määrä. Hitsiainemäärää pienentämällä tai paloikasuhdetta ja hitsiaineentuottoa suurentamalla parannetaan hitsauksen tuottavuutta lyhentämällä hitsaustyöhön käytettävää aikaa. Kuvassa 12 on esitetty millä toimenpiteillä on mahdollista pienentää hitsausaikaa. (Lukkari, 2000, s. 6):

Kaarihitsauksessa kaariaika ja hitsausaika voidaan laskea seuraavasti:

$$Kaariaika = \frac{Hitsiainemäärä(kg/m)}{Hitsiaineentuotto(kg/h)}(h/m) \quad (1)$$

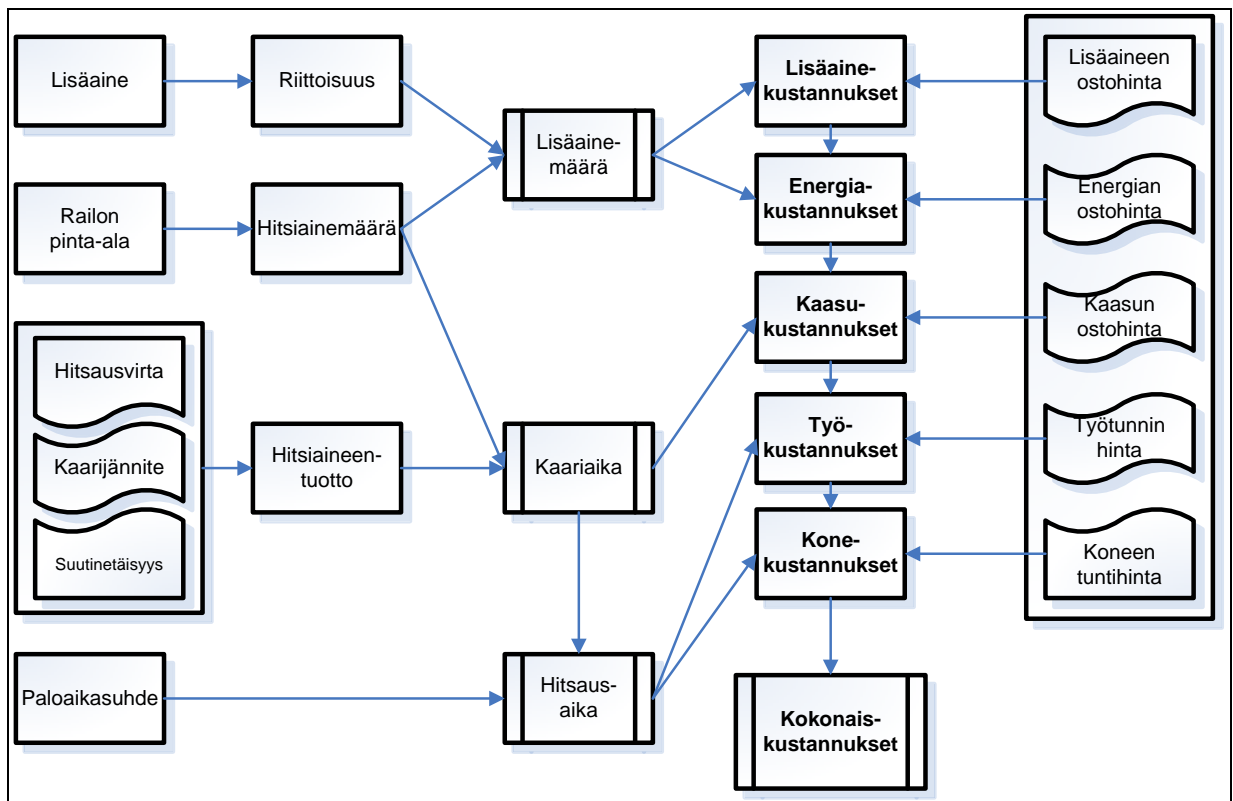
$$Hitsausaika = \frac{Hitsiainemäärä(kg/m)}{Hitsiaineentuotto(kg/h) \times Paloikasuhde(-)}(h/m) \quad (2)$$

<p><b>Hitsiainemäärän pienentäminen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Edullinen railomuoto: pieni railotilavuus</li> <li>• Tarkka levyjen leikkaus, railonvalmistus ja sovitus</li> <li>• Tunkeuman hyväksikäyttö pienahitsissa: pienempi sulatettava lisäainemäärä</li> <li>• Tarpeettoman suurten hitsien välttäminen</li> <li>• Lujien terästen käyttö: ohuimmat levynpaksuudet ja pienemmät railot</li> <li>• Osien lukumäärän vähentäminen: vähemmän hitsejä</li> <li>• Taivutuksen ja profiilien käyttäminen: vähemmän hitsejä</li> </ul>	<p><b>Paloaikasuhteen suurentaminen vaikuttamalla hitsausmenetelmään liittyviin sivuaikoihin</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lisäaineen vaihto: jatkuva lisäaine</li> <li>• Kuonan poisto: kuonaton menetelmä</li> <li>• Roiskeiden poistaminen: roiskeeton hitsaus (hitsausmenetelmän ja – arvojen hallinta)</li> <li>• Virheiden korjaus: laadukas hitsaus</li> <li>• Juurenavaus: riittävä tunkeuma</li> <li>• Hitsausarvojen säätö: helppo ja nopea säätäminen</li> </ul>
$\text{Hitsausaika} = \frac{\text{Hitsiainemäärä (kg / m)}}{\text{Hitsiainee ntuotto (kg / h)} \times \text{Paloaikasuhte (-)}} \text{ (h / m)}$	
<p><b>Hitsiaineentuoton suurentaminen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hitsausvirran suurentaminen</li> <li>• Paksumman lisäaineen käyttö, so. Sietää enemmän virtaa</li> <li>• Hitsiaineentuotoltaan tehokkaiden lisäaineiden käyttäminen</li> <li>• Hitsiaineentuotoltaan tehokkaiden hitsausmenetelmien käyttäminen</li> <li>• Hitsaus jalkoasennossa</li> <li>• Kappaleenkäsittelijöiden käyttäminen</li> <li>• Mekanisointi ja automatisointi</li> </ul>	<p><b>Palo aikasuhteen suurentaminen lyhentämällä tuotannon ja työkappaleeseen liittyviä sivuaikoja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Töiden hyvä järjestely</li> <li>• Työpaikan hyvä järjestys</li> <li>• Hyvä työnopastus ja neuvonta</li> <li>• Hitsausohjeiden ja työohjeiden käyttö</li> <li>• Aputyöntekijöiden käyttö</li> <li>• Kappaleenkäsittelijöiden käyttö</li> <li>• Mekanisointi ja automatisointi</li> </ul>

Kuva 12. Toimenpiteet, joilla on mahdollista pienentää hitsausaikaa (Lukkari, 2000, s. 6).

## 5.2 Hitsauskustannukset

Yrityksen menestymiselle on tärkeää, että tuotteiden valmistus on tuottavaa ja taloudellista. Hitsauskustannukset kertovat, missä ovat suurimmat kustannuserät ja mihin kannattaa pureutua. Hitsauskustannukset muodostuvat monesta tekijästä. MIG/MAG – hitsaukselle ne on esitetty yhteenvetona kuvassa 13, joita laskemalla yritys voi esim. myydä ja tarjota hitsattuja tuotteita kannattavasti, vertailla eri hitsausmenetelmiä tai vaihtoehtoisia valmistusmenetelmiä, selvittää tuotteen kustannusrakennetta sekä tarkastella eri suunnitteluvaihtoehtoja. Kustannuksien laskentakaavat on esitetty taulukossa 2, jossa ne on annettu hitsimetriä kohti. (Lukkari, 2000, s. 4-5)



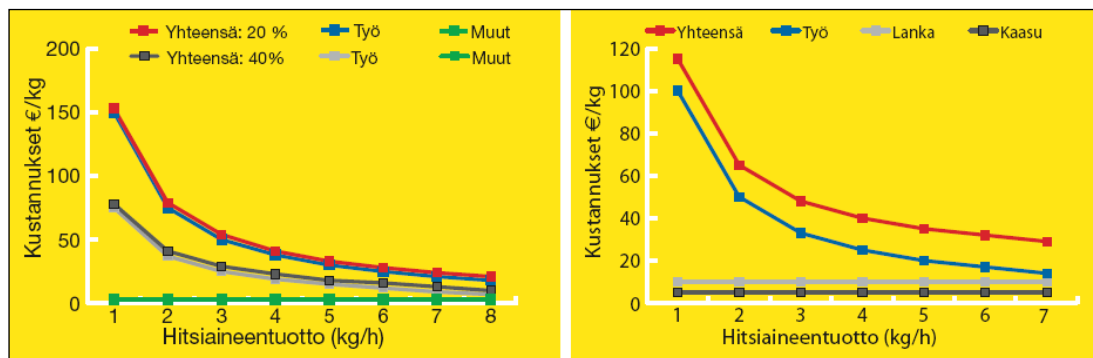
Kuva 13. Esimerkki MIG/MAG – hitsauksen hitsauskustannuksien muodostumisesta (Lukkari, 2000, s. 4).

Taulukko 2. Hitsauskustannusten laskentakaavat (Lukkari, 2000, s. 4-5).

Kustannus:	Kustannustekijä:
<p>Työ:</p> $K_T = \frac{M}{T} \times \frac{1}{e} \times HT \text{ (€/m)}$	<p><math>M</math> = hitsimäärä (kg/m)  <math>T</math> = hitsiaineentuotto (kg/h)  <math>e</math> = paloaikasuhte (-)  <math>H_T</math> = työtunnin hinta (€/h)</p>
<p>Lisäaine:</p> $K_L = M \times \frac{H_L}{N} \text{ (€/m)}$	<p><math>M</math> = hitsimäärä (kg/m)  <math>H_L</math> = lisäaineen ostohinta (€/kg)  <math>N</math> = hyötyluku (-)</p>
<p>Energia:</p> $K_E = M \times E \times H_E \text{ (€/m)}$	<p><math>M</math> = hitsiainemäärä (kg/m)  <math>E</math> = energian kulutus (kWh/kg)  keskimääräisenä energian kulutuksena voidaan pitää 3 kWh/kg  <math>H_E</math> = energian ostohinta (€/kWh)</p>
<p>Suojakaasu:</p> $K_S = \frac{M}{T} \times V \times H_S \times k \text{ (€/m)}$	<p><math>M</math> = hitsiainemäärä (kg/m)  <math>T</math> = hitsiaineentuotto (kg/h)  <math>V</math> = kaasun virtaus (l/min)  <math>H_S</math> = kaasun ostohinta: seoskaasu (€/m<sup>3</sup>)  <math>H_S</math> = kaasun ostohinta: CO<sub>2</sub> (€/kg)  <math>k</math> = kerroin: 0,06 (seoskaasu)  <math>k</math> = kerroin: 0,12 (CO<sub>2</sub>)</p>
<p>Kone:</p> $K_K = \frac{M}{T} \times \frac{1}{e} \times H_{KT} \text{ (€/m)}$ <p>Koneen tuntihinta voidaan laskea</p> $H_{KT} = (H_H \times (\frac{1}{T_p} + \frac{p}{2 \times 100}) + Y) \times \frac{1}{T_k} \text{ (€/h)}$	<p><math>M</math> = hitsiainemäärä (kg/m)  <math>T</math> = hitsiaineentuotto (kg/h)  <math>e</math> = paloaikasuhte (-)  <math>H_{KT}</math> = koneen tuntihinta (€/h)  <math>H_H</math> = koneen ostohinta (€)  <math>T_p</math> = koneen poisto-aika (v)  <math>p</math> = pääoman korkoprosentti (%)  <math>Y</math> = koneen vuosittaiset huoltokustannukset (€)  <math>T_k</math> = koneen vuosittainen käyttöaika (h)</p>

Hitsauskustannuksiin ei yleensä oteta mukaan hitsaustyön tekemiseen liittyviä materiaaleja ja muita työvaiheita, kuten raaka-aineet, levyjen leikkaus ja paloittelu, railojen tekeminen, mahdollinen esikuumennus ja jälkilämpökäsittely, tarkastukset, korjaukset ja muut jälkityöt. Työvaltaisissa valmistusmenetelmissä, jollainen käsin suoritettava hitsaus on, ovat työkustannukset yleensä suurin kustannuserä. Hitsauskustannukset vaihtelevat materiaalien ja yritysten mukaan, sillä lisääaineiden ja kaasujen hinnat riippuvat materiaalista, työtuntien hinnat ovat yrityskohtaisia, sekä kustannuksissa käytettävä hitsiaineentuotto ja kaariaikasuhte vaihtelevat suuresti. (Lukkari, 2006, s. 8)

Seostamattoman teräksen käsinhitsauksessa suurin kustannuserä on luonnollisesti työkustannukset, 75–90%. Loput jakaantuvat lisääaineille, suoja-kaasuille, koneille ja energialle. Kuvassa 14 vasemmalla on esimerkki hitsauksen kustannusrakenteesta seostamattoman teräksen MAG – umpilankahitsauksesta 20 % ja 40 % kaariaikasuhteilla. Mitä suurempi hitsiaineentuotto on, sitä matalammat työkustannukset ovat ja muiden kustannusten % -osuus kasvaa. Ruostumattoman teräksen MAG – umpilankahitsauksessa lisääaineen osuus on huomattavasti korkeampi, kuva 14 oikealla, koska ruostumaton hitsauslanka maksaa vähintään yli viisi kertaa enemmän kuin seostamaton umpilanka. (Lukkari, 2006, s. 9-10)



Kuva 14. Seostamattoman teräksen (vasemmalla) ja ruostumattoman teräksen (oikealla) hitsauskustannukset MAG – umpilankahitsauksessa (Lukkari, 2006, s. 10).

### 5.3 Investointikustannukset

Investointilaskelmien avulla selvitetään hankkeiden kannattavuutta: pääomaa ei haluta sitoa epävarmoihin hankkeisiin, joilla on mahdollisuus epäonnistua. Laskelmien avulla myös vakuutetaan yrityksen johto ja mahdolliset rahoittajat. Käsinhitsauksen kehittämistä on myös tehtävä tarkat investointilaskelmat samoilla kriteereillä kuin muistakin resursseista kilpailevien investointien kannattavuudesta. Taloudelliset laskelmat kannattaa jakaa hitsaussolun investointikustannuksiin ja käyttökustannuksiin. (Aaltonen & Torvinen, 1997)

Käsinhitsauksen investointikustannuksia ovat: (Aaltonen & Torvinen, 1997)

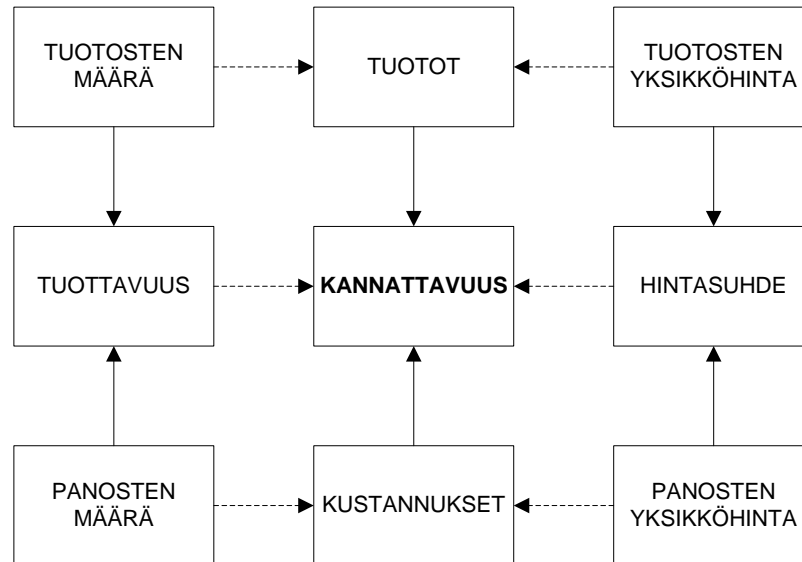
- Hitsaussolun hankintakustannus
  - hitsaussoluun kuuluvat laitteet
- Suunnittelukustannukset
  - hitsaussolun asentamisen ja käyttöönoton suunnittelu
- Asennus- ja käyttöönottokustannukset
  - materiaalit ja työ
- Työvälineiden ja oheislaitteiden hankintakustannukset
- Muut kustannukset

Hitsaussolun käyttökustannuksia ovat: (Aaltonen & Torvinen, 1997)

- Välittömät palkkakustannukset
  - hitsaajien palkkakustannukset
- Välilliset palkkakustannukset
  - työnjohto
- Energia-, aine- ja tarvikekustannukset
  - laitteiden käytöstä johtuvat
- Koulutuskustannukset
- Huolto- ja kunnossapitokustannukset

## 5.4 Investoinnin kannattavuuden arvioiminen

Investoinnin kannattavuuden tarkoituksena on kohteen kyky aikaansaada tuottoja enemmän kuin kustannuksia. Kannattavuutta määriteltäessä tulee ottaa huomioon mitkä asiat siihen vaikuttavat. Kuvassa 15 on esitetty ”yhdeksän laatikon periaate” kannattavuuden muodostumisesta. (Martikainen, 2007b, s. 12.)



Kuva 15. ”Yhdeksän laatikon periaate” kannattavuuden muodostumisesta. (Martikainen, 2007b, s. 12).

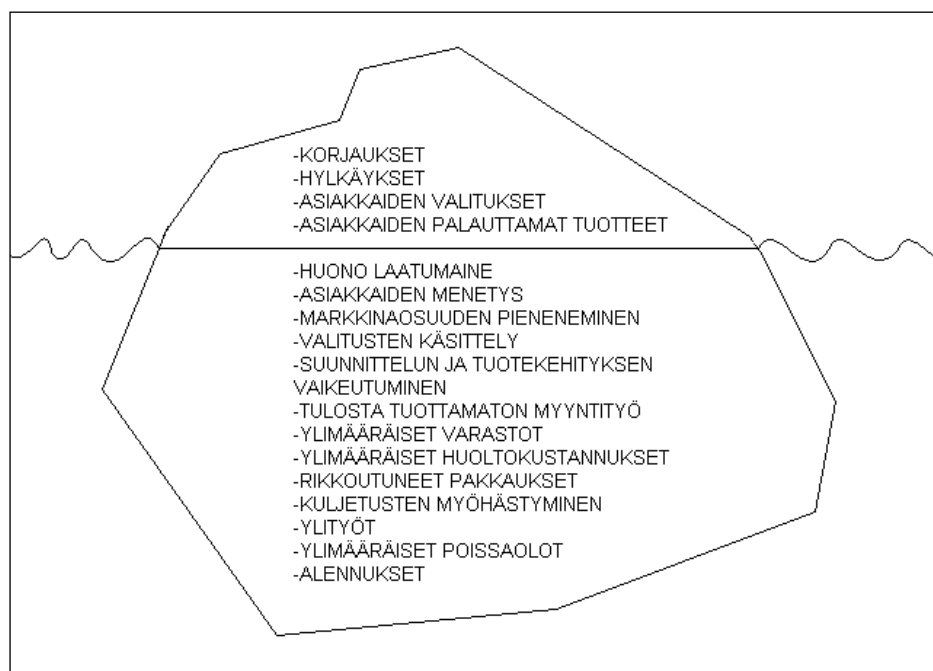
Kannattavuus muodostuu tuottavuudesta ja hintasuhteesta. Hintasuhte on tuotosten yksikköhinta/ panosten yksikköhinta. Se ilmaisee tuotoksen yksikköhinnan muutoksen suhteessa panosten yksikköhinnan muutokseen. Investoinnin kannattavuutta voidaan tarkastella vertailemalla nykyisen tuotannon mukaisia tuotekohtaisia kustannusjakaumia uuden tuotannon vastaaviin kustannusjakaumiin.

## 5.5 Laatu ja laaduttomuus

Hitsattava tuote on hyvä, kun se täyttää sille asetetut vaatimukset, jotka asettaa yritys itse, asiakas, viranomainen, tuote tai käyttökohde. Visuaalinen laatu kertoo, että hitsi on yksinkertaisesti hyvännäköinen; sileä pinta, ei roiskeita, reunahaavaa, valumia eikä pintahuokosia. Hyvänä konepajalaatuna voidaan pitää hitsiluokkaa C tai IIW 3 ilman vajaata hitsautumissyvyyttä, joka on saavutettavissa normaalilla huolellisuudella ja vastuuntuntoisella

työllä. Tietyn hitsiluokkalaadun hitsi täyttää silloin, kun se täyttää siihen luokkaan vaaditut vaatimukset, kuten standardissa EN ISO 5817 esitetyt hitsiluokkalaadut B, C ja D. Hitsiluokkalaadut eivät ota kantaa metallurgisiin tekijöihin, vaan niitä pitää tutkia mikro- ja makrohietutkimuksilla. (Martikainen, 2007b, s. 24.)

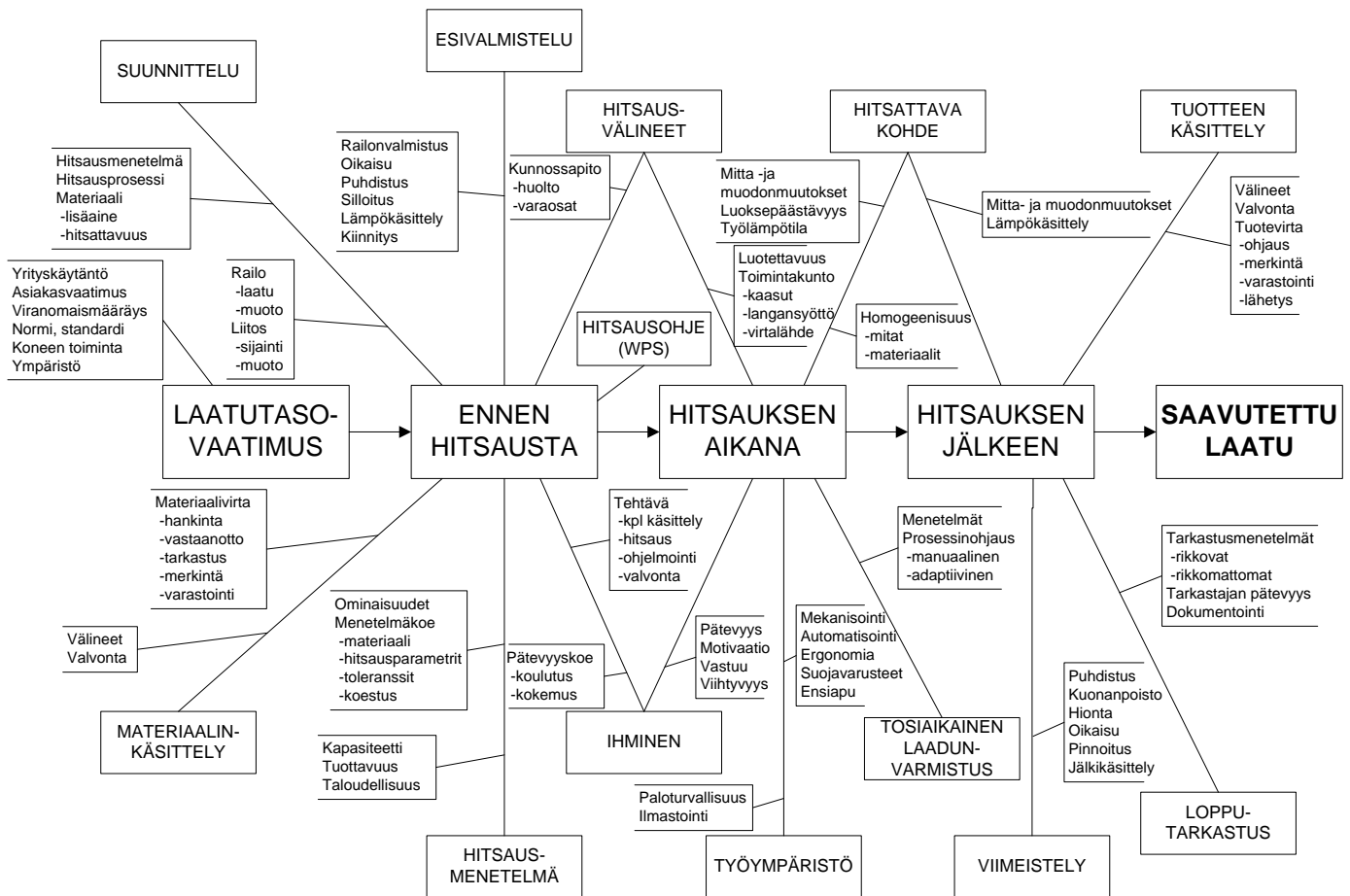
Suomalaisen metalliteollisuusyritysten todelliset laadukustannukset ovat keskimäärin 15 -20 % liikevaihdosta. Kehittämistoimin kustannuksia voidaan laskea 10 %:iin, mutta siitä kustannusten laskeminen vaatii yleensä jo suurempia investointeja. Useissa yrityksissä laadukustannusraportointi paljastaa todellisista kustannuksista vain noin 30–40 %, sillä monet kustannukset ovat välillisiä eikä niitä nähdä erillään siitä vaiheesta, jossa ne syntyvät. Kuvassa 16 jäävuoren veden alle jäävä osa kuvaa piiloon jääviä välillisiä laaduttomuuskustannuksia. Laadun kehittäminen on oltava taloudellisesti järkevää, sillä tuotot eivät välttämättä näy heti, mutta ne tulevat kyllä ajallaan. Hyvin harvoin on järkevää heti alkuun lähteä rakentamaan laatujärjestelmää, vaan on oleellista ainakin aluksi kehittää johdonmukaisesti niitä asioita, jotka näkyvät selvästi ja ovat tärkeitä sekä ovat toteutettavissa. (Martikainen, 1999, s. 31–32.)



Kuva 16. Laaduttomuuskustannusten ”jäävuori” (Martikainen, 1999, s. 31).

### 5.5.1 Laaduntuottotekijät

Laatukäsite on aivan liian ohut, mikäli se mielletään vain tuotteen tekniseksi virheettömyydeksi. Laatu on tarkasteltava laaja-alaisemmin tarkastelemalla laaduntuottotekijöitä, kuva 17. Laaduntuottotekijät voidaan jakaa tekijöihin ennen hitsausta, hitsauksen aikana ja hitsauksen jälkeen. Laaduntuottotekijöiden lisäksi yrityksen toiminnan on oltava kunnossa, jolloin varsinaisen tekemisen lisäksi on myös hallittava asiakkaan palveleminen, kuten ensivaikutelman luominen, yhteyksien hoitaminen, toimitusaikojen noudattaminen, logistiikkatoiminnot jne. (Martikainen, 1999, s. 30.)



Kuva 17. Hitsauksen laaduntuottotekijät (Martikainen, 1995, s. 47).

Käsinhitsauksessa on paneuduttava erityisesti ennen hitsausta ja hitsauksen aikana suoritettaviin toimenpiteisiin, jottei tuotteen lopputarkastuksella ja korjaustyöllä menetettä

saavutettuja laatu- ja taloudellisuusetuja. Käsinhitsauksessa suuressa roolissa tässä on hitsaaja eli ihminen, sillä hänen kokemus, pätevyys ja motivaatio hitsaukseen vaikuttavat suuresti saavutettavaan laatuun. Käsinhitsaaja pystyy hoitamaan hitsauksen aikana monia sellaisia asioita, joita mikään auditointi, laite tms. ei pysty. Helpottamalla hitsaajan työtä mekanisointiratkaisuilla päästään parempaan työympäristöön ja helpompiin hitsausasentoihin, jotka myös suuresti vaikuttavat saavutettavaan laatuun. Kiinnostuneella, motivoituneella ja ammattiyhteisöllä hitsaajalla on asenne kohdallaan ja hän välittää tekemisestään, jolloin saadaan haluttua laatua. (Martikainen, 1995, s. 47.)

### 5.5.2 Laadunvarmistus

Laadunvarmistuksen suunnitelluilla ja järjestelmällisillä toimenpiteillä saadaan riittävä varmuus siitä, että tuote tai palvelu täyttää asetetut laatuvaatimukset. Käsinhitsauksessa laaduntarkkailua suorittaa ensimmäisenä hitsaajat itse yleensä silmämääräisesti. Standardin EN ISO 9712 mukaan pätevyitynyt tarkastushenkilökunta tarkastaa rakenteen NDT – menetelmillä eli ainetta rikkomattomilla menetelmillä, mikäli tarve siihen on. NDT -menetelmien tavoitteena on antaa tietoja materiaalin, tuotteen tai rakenteen laadusta, ominaisuuksista ja mahdollisista virheistä, poikkeamista ja puutteista. Perustarkastusmenetelmänä NDT – tarkastuksessa on aina silmämääräinen tarkastus (visual testing, VT).

Hitsaukseen nimetyn vastuuhenkilön eli hitsauskoordinoijan yhtenä tehtävänä on valvoa näitä tarkastuksia. Hitsauskoordinoijan perustehtävänä on hitsauksen laadunhallinnan organisointi SFS-EN ISO 3834 mukaisesti, eli mm. kouluttaa, opastaa ja neuvoa hitsaajia, toimia hitsauksen asiantuntijana yrityksessä, laatia hitsausohjeet sekä osallistua vaatimusten katselmukseen ja tekniseen katselmukseen. (Martikainen, 2007a, s.10, 49-51.)

Rikkovalla aineenkoetuksella tutkitaan perusaineen hitsattavuutta, lisäaineiden sopivuutta, hitsausliitosalueella tapahtuvia kiderakennemuutoksia ja testataan hitsatun rakenteen kuormituskestävyyttä, esim. veto-, kovuus-, isku- ja taivutuskokeilla. Käytännössä laatua tulee tehdä tekemällä, ei tarkastamalla, jolloin kaikki laaduntuottotekijät tulee ymmärtää ja hallita, jotta päästään haluttuun laatuun.

## 5.6 Ergonomia ja työturvallisuus

Hitsaajien ja levyseppien työ on fyysisesti raskasta ja tapaturma-altista, sillä työssä esiintyy paljon kiertyviä työasentoja, työskentelyä kädet ylöspäin kurkottaen, painavia (5-30 kg) käsin nosteltavia osia sekä usein toistuvia liikeratoja. Hitsaaja altistuu useiden työvaiheiden aikana myös haitallisena pidetyn melutason (85 dB) äänenvoimakkuuksille, mekaanisille vaaroille kappaleiden siirtelyssä, pölylle, hitsauksessa syntyville ultraviolett- ja näkyvän valon lämpösäteilylle sekä hitsaussavuille, jotka muodostuvat hitsauskaasuista ja kiinteistä hiukkasista. Kiinteät hiukkaset eli hitsaushuurut ovat pienen hiukkaskokonsa vuoksi ns. hengitettävää pölyä, joka kulkeutuu keuhkoihin saakka. Huurun koostumus määräytyy 85–90 %:sti lisäaineen mukaan. Hitsaustyöt luokitellaan lisäksi aina tulitöiksi, joita koskevat työläinsäädännön, palomääräysten ja vakuutusehtojen erityismääräykset. (Kainulainen, 1998, s. 42–43.)

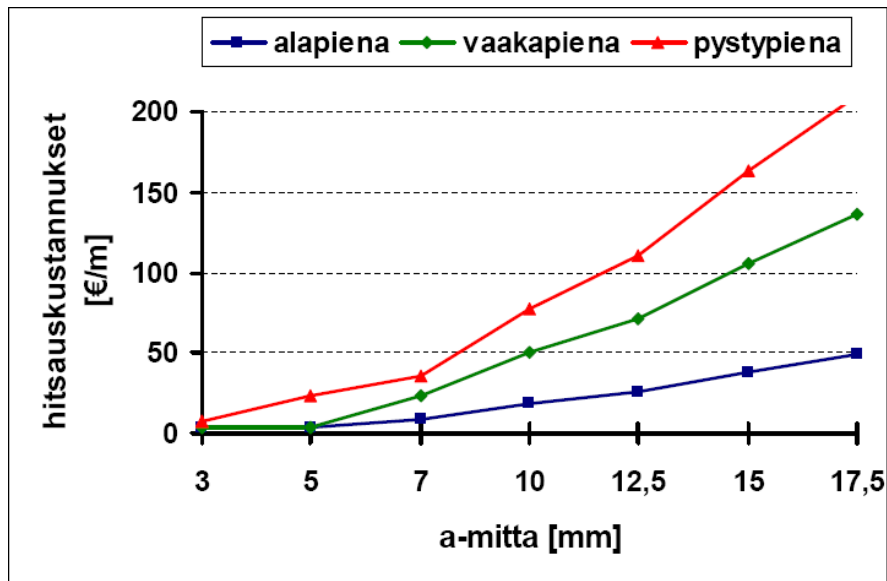
Työn ergonomiaa ja työturvallisuutta voidaan kohentaa käsinhitsauksessa kappaleenkäsittelijöillä, jolloin kappaleen käsittely on turvallista hitsauksien välillä, ja hitsausasento on helpompi hitsaajalle. Työn rasittavuutta saadaan poistettua myös erilaisilla kaapeleiden kannattimilla. Suunnitellulla työjärjestyksellä työnteko on tehokasta, mutta myös turvallisempaa, sekä oikein suunnitellulla hitsaussolun layoutilla poistetaan turhia työvaiheita, sekä saadaan hitsaajan työtilasta selkeämpi. Kaikkia hättatekijöitä ei kuitenkaan saada poistettua työympäristöstä, joten työntekijän on suojauduttava henkilökohtaisilla suojaimilla, kuten suojakäsineillä, -haalareilla, -päähineillä ja – jalkineilla sekä silmä-, kasvo-, kuulo- ja hengityssuojaimilla. (Kainulainen, 1998, s. 44.)

## 6 KÄSINHITSAUKSEN MEKANISOINNIN KOKONAISRATKAISUT

Erilaisilla mekanisointiratkaisuilla pyritään saamaan parempaa tuottavuutta, laatua ja taloudellisuutta hitsaukseen, ja usein jälkikäteen huomataan myös työergonomiassa tapahtuva parannus. Suomessa laitevalmistajia on useita, kuten esim. New Firo Oy, Pemamek Oy, Oy ESAB, Jucat Oy ja Taltor Oy.

### 6.1 Kappaleenkäsittelylaitteet

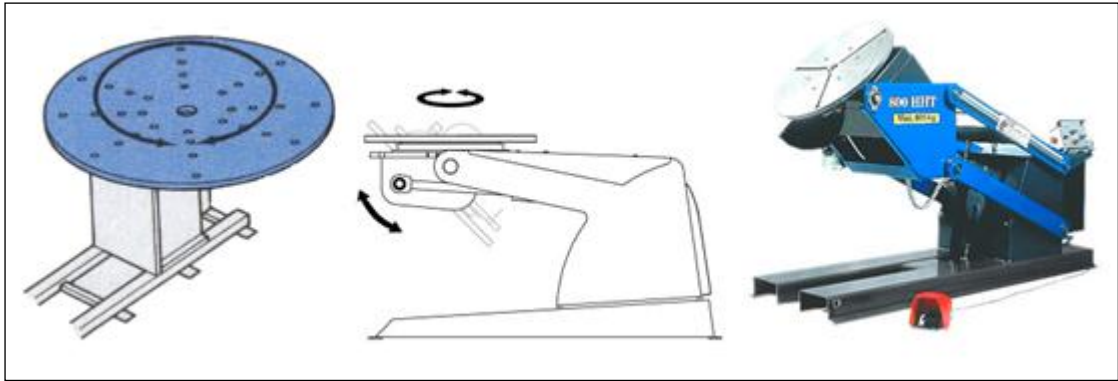
Hitsauksen mekanisoinnin teknistä toteutusta suunniteltaessa on mietittävä kappaleenkäsittely. Vaihtoehtoina on, että tuodaan kappaleet hitsauslaitteen luo tai kuljetetaan hitsauslaite kappaleen luo, mikä on yleensä suurten kappaleiden valmistuksessa edullisempi vaihtoehto. Kappaleenkäsittelylaitteilla, kuten käsittelypöydillä, rullastoilla ja vasta-pöytäpareilla pyritään hitsausasentoa optimoimaan jalko- tai alapiena-asentoon, jolloin voidaan käyttää suurempia hitsaustehoja. Jalko- ja alapiena -asunnoissa hitsaus on 2-3 kertaa nopeampaa suuremman hitsiaineentuoton takia kuin vaakapiena- tai pystypiena-asunnoissa, kuva 18. Kappaleenkäsittelyllä on myös suuri vaikutus hitsauksen sivuaikojen lyhentymiseen. Tuotteen konstruktiosta riippuen hitsausaika ja – kustannuksia voidaan siten pelkällä kappaleenkäsittelyllä lyhentää tyypillisesti 30–50%. Työaikasäästön lisäksi hitsaus jalkoasennossa parantaa myös hitsin laatua ja parantaa työn ergonomiata ja työn mielekkyyttä helpomman hitsausasennon takia. Laatumuunnoksiin voidaan vaikuttaa myös, kun korjaustyö ja reklamaatiot vähenevät. Kappaleenkäsittelijöiden avulla myös hyvin ammattitaitoinen hitsaajakapasiteetti voidaan hyödyntää paremmin vain niissä kohteissa, joissa korkeaa ammattitaitoa todella tarvitaan. (Leino, 1991, s. 4-5)



Kuva 18. Hitsausasennon vaikutus hitsauskustannuksiin (Leino, 2008, s. 14).

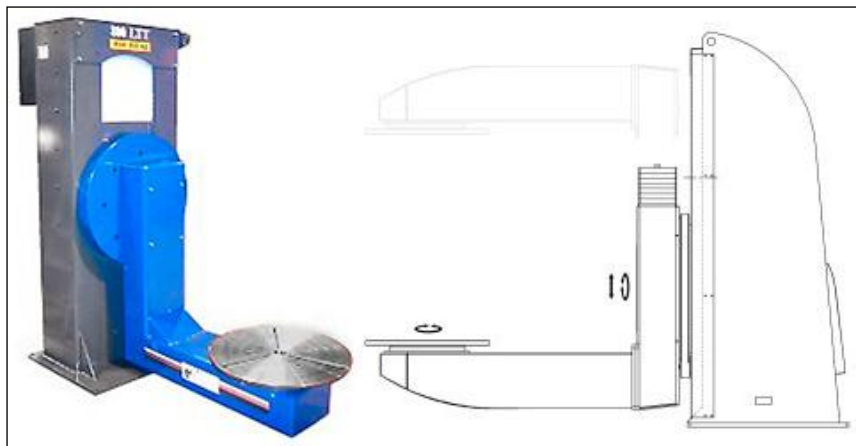
### 6.1.1 Tekniset ratkaisut

Yksinkertainen kappaleenkäsittelijä on yksiakselinen käsittelypöytä, joka pyörittää siihen kiinnitettyä kappaletta, kuva 19 vasemmalla. Pyörimisakseli voi olla vaaka- tai pystytasossa. 2-akselisissa käsittelypöydissä on yleensä kappaleenpyöritys sekä kallistus, jolloin pyöritysakseli voidaan asettaa optimiasentoon parhaimman hitsausasennon saavuttamiseksi. 3 – akselisilla käsittelypöydillä mahdollistetaan myös korkeuden säätö, jolloin saavutetaan hitsattavan kappaleen optimiasennon löytäminen myös korkeussuunnassa. Käsittelypöydissä pyöritys on yleensä sähkömoottorin, vaihteiston ja hammaskehän avulla toteutettu ratkaisu. Korkeuden säätö on toteutettu yleensä käsittelypöydissä hydraulisyylinterillä ja kallistus joko hydraulisyylinterillä tai puolikkaalla hammaskehällä. 3 – akseliset pyörituspöydät soveltuvat monimutkaisille kappaleille vaihtelevaan tuotantoon. Kyseistä pöytää ei tarvitse kiinnittää lattialle sen rakenteen vuoksi, jolloin se voidaan siirtää haluttuun paikkaan esim. trukilla. Siirreltävyyden ja soveltavuuden takia eri tuotteille 3- akselista pyörituspöytää pidetään peruspöytänä.



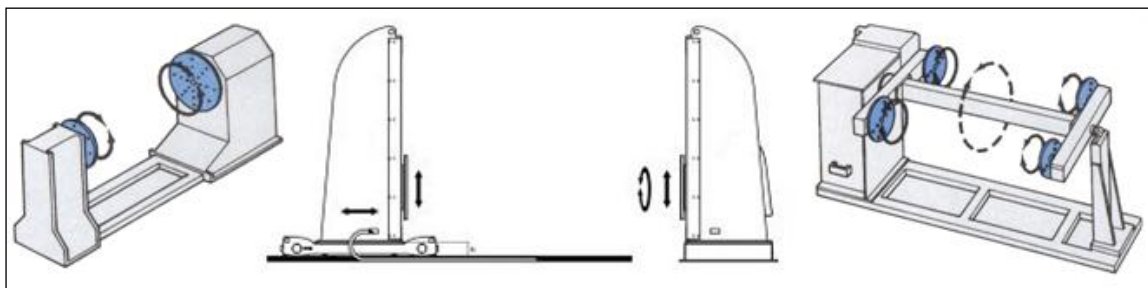
Kuva 19. Vasemmalta oikealle 1-, 2- ja 3- akseliset käsittelypöydät (Cary & Helzer, 2005, s. 302, Pemamek, 2013, Firotec, 2013).

L-pöydiksi kutsutuissa kappaleenkäsittelijöissä on yleensä kolme akselia, työkappaleiden pyörytykseen, kallistukseen ja nostoon, kuva 20. L-pöytä voi toimia myös vastapöydän yhtenä osana. Kallistus ja nosto on yleensä toteutettu hammaskehällä, vaihteistolla ja sähkömoottorilla. Nosto on toteutettu hydraulisyylinterillä metallijohteiden varassa. L-pöydät ovat paikkasidonnaisia, sillä ne joudutaan kiinnittämään lattiaan esim. kemiallisilla ankkureilla liimaamalla tai mekaanisilla ankkureilla niiden rakenteen vuoksi. L-pöydissä käsitellään usein vaativia ja raskaita työkappaleita. Kyseiselle pöydälle soveltuu paremmin pidemmät kappaleet kuin 3- akseliselle peruspöydälle sen massakeskipisteen vuoksi, ja usein L-pöytä valitaankin tuotekohtaisemmin, jolloin pöydässä hitsataan vain tiettyjä tuotteita. Kuutiomaiset kappaleet kuten hytit, kauhat ja rungot ovat tyypillisiä hitsattavia kohteita. Myös kokoonpano, hionta ym. ovat työvaiheita, joissa L-pöytiä käytetään konepajateollisuudessa.



Kuva 20. L-pöydän periaatekuva (Firotec, 2013, Pemamek, 2013).

Vastapöydissä on kantavuuden parantamiseksi kaksi toisiaan vastakkain olevaa käsittelypöytää, joiden välille kappale kiinnitetään. Käsittelylaitteisto voi olla kaksiasemainen, jolloin toista puolta voidaan purkaa ja kuormata hitsauksen ollessa käynnissä, oikealla kuvassa 21. (Cary & Helzer, 2005, s. 299–302.) Vastapöydät soveltuvat pitkille kulmikkaille tai lieriömäisille pyöritettäville työkappaleille. Vastapöydät kiinnitetään myös lattiaan, jolloin se on paikkasidonnainen. Yleensä vetopää on kiinteä ja vapaapää liikkuva kiskojen päällä, jolloin hitsattavasta kappaleesta riippuen voidaan siirtää vastapöydän pituus kohdalleen.



Kuva 21. Vastapöydän toimintaperiaate (Cary & Helzer, 2005, s. 302, Pemamek, 2013).

Pyöritysrullastot tuovat apua hitsaukseen, maalaukseen, leikkaukseen ja kokoonpanoon pyörähdyssymmetrisissä kappaleissa, kuten säiliöissä ja putkissa. Rullastoilla, kuten muillakin kappaleenkäsittelijöillä on tarkoitus löytää edullisin hitsausasento, jonka kautta työn tuottavuus kasvaa ja kappaleiden käsiteltävyys paranee. Kappaleen painon, pituuden, halkaisijan ja muotojen perusteella valitaan sopivin rullasto, joko normaali, itsesäätyvä tai automatisoitu. Rullastoissa ohjaus, kuten pyörityksen säätö tapahtuu yleensä kauko-ohjaimen kautta ja niiden monipuolisuutta voidaan lisätä liittämällä hitsaustorni tai – robotti niiden yhteyteen. Normaalit ja itsesäätyvät rullastot eivät yleensä ole paikkasidonnaisia, jolloin niitä ei tarvitse kiinnittää lattiaan. Kuvassa 22 on New Firo – pyöritysrullastoja, vasemmalla itsesäätyvä rullastopari, ja oikealla normaalirullasto. Itsesäätyvässä rullastossa pyörätelit kääntyvät vapaasti kappaleen halkaisijan mukaan, jolloin se sallii kappaleelle suuremman epäkeskeisyyden ja halkaisijan vaihtelun, ja ohuemman materiaalin. (Firotec, 2013)



Kuva 22. Itsesäätyvä- ja normaalirullasto (Firotec, 2013).

### 6.1.2 Kappaleenkäsittelylaitteiden käytettävyys

3-akseliset kappaleenkäsittelypöydät ovat työn mielekkyyden, turvallisuuden ja käytettävyyden kannalta parempi vaihtoehto kuin 1 – ja 2 – akseliset pöydät, sillä hitsausaseman optimointi korkeussuunnassa vähentää hitsaajaan kohdistuvaa fyysistä rasitusta. Laitteiden muotoilun lähtökohtana on mahdollisimman hyvä luoksepäästävyys. Kappaleenkäsittelijän rakenteet eivät voi olla hitsaajan tiellä, vaan hitsaajalla on oltava tilaa, jossa työskennellä ja löytää mahdollisimman hyvä asento. Laitteisiin kuuluu yleensä johdottomat tai johdolliset kaukosäätimet ja jalkapolkimet, joilla säädetään hitsausasento. Rullastoissa on molemmissa pareissa vetopyörät, jolloin pyöritys on tasainen.

### 6.1.3 Kappaleenkäsittelijän ohjelmointi

Kappaleenkäsittelijöiden tuottavuutta on edelleen mahdollista parantaa ohjelmointilaitteella etenkin sarjatuotannossa. Hitsaaja ohjelmoi parhaimmat hitsausasennot laitteeseen valmiiksi, jolloin käsittelijä voi suorittaa uudelleen asemoinnin itsenäisesti. Hitsaaja voi tällöin suorittaa hitsaussivuaikoihin luettavia työvaiheita, kuten hitsauspistoolin puhdistuksen, jolloin kaariaikasuhde paranee. Ohjelmointi vaatii sylintereiden ja hammaskehien paikkatiedot, jotta oikea asemointi toimisi, jolloin sylintereinä voidaan käyttää esim. mittaavia sylintereitä tai niiden apuna paikka-antureita, jotka ilmoittavat tarpeelliset paikkatiedot eteenpäin. (Leino, 1991, s. 5)

## 6.2 Materiaalinkäsittely ja kuljetus

Hitsaavassa tuotannossakin tuoteketjujen kokonaisvaltainen hallinta edellyttää kriittistä analysointia ketjun jokaisessa kohdassa, kuten hitsaussoluissa. Materiaalivirtojen siirto hitsaussoluun ja sieltä pois on oltava mahdollisimman nopeaa ja helppoa. Eri vaihtoehtoja vertailtaessa on otettava huomioon eri logistisia tekijöitä, kuten kokonaissiirtomatkat, siirtojen määrät, kappaleiden muoto ja massa, tarvittava siirtokapasiteetti ja kustannukset. Tavoitteena on kehittää logistiikkatoiminnot niin, että niitä voidaan käyttää erilaisille tuotteille ja rakenteille ilman suurempia muutoksia.

Pienemmät kappaleet kuljetetaan yleensä hitsaussoluihin varastoista lavoilla haarukkavaunujen tai trukkien avulla ja hitsauksen jälkeen valmiit kappaleet siirretään lavoissa eteenpäin seuraavaan työvaiheeseen tai varastoon. Suuremmat tai pitkät kappaleet kuljetetaan niille suunnitelluilla kuljettimilla, jotka liikkuvat esimerkiksi pyörien tai kiskojen päällä tai teollisuusnostureilla. Suuret, painavat rakenteet hitsataan yleensä siinä, missä se on mahdollista, jolloin hitsauslaitteisto tuodaan rakenteen luokse ja hitsaussolu on kappale itse. Yksikiskojärjestelmä on kattoon kiinnitettävä rata, joka kulkee hitsaussolujen ja muiden työvaiheiden lävitse. Valmis kappale kiinnitetään kappaleenkäsittelylaitteesta suoraan kiskossa kulkevaan nostimeen, josta se siirretään seuraavaan työvaiheeseen. Työvaiheiden jälkeen tyhjä nostin siirretään alkupisteeseen rataa pitkin. Hitsaussolun sisällä pieniä kappaleita siirretään yleensä käsin ja suurempia kappaleita kääntöpuomi-, saksi- tai teollisuusnostureiden avulla. Korkeavarastoista voidaan kappaleita kuljettaa esim. palettien päällä, jolloin purkuasemista kappaleet siirretään hitsaussoluihin. Hitsaussolujen vieressä voi kulkea myös rullarata, jota pitkin kappale vaihtaa työvaihetta ja siirtyy koko ajan eteenpäin.

## 6.3 Virtalähteet

Yleisempien käsin suoritettavien hitsausmenetelmien MIG/MAG-, TIG- ja puikkohitsauksen hitsaustehonlähteenä voi olla joko virta- tai jännitelähde riippuen käyttötarkoituksesta. Hitsaustehonlähde nimityksen sijaan käytetään yleensä nimitystä hitsausvirtalähde. Virtalajina kaarihitsauksessa voidaan käyttää joko tasa- tai vaihtovirtaa. Virtalajin ja napaisuuden valintaan vaikuttavat mm. hitsausprosessi, lisäaine, hitsattava materiaali ja tunkeumavaatimus. MIG/MAG – hitsauksessa käytetään virtalähteinä vakiojännitelähteitä, joilla on lievästi

laskeva ominaiskäyrä, jonka avulla saadaan aikaan itsesäätyvä valokaari, joka pysyy vakio pituisena hitsauksen aikana, vaikka hitsauspistoolin etäisyys työkappaleesta vaihtelee. TIG -hitsauksen virtalähde voi olla joko tasavirta-, vaihtovirta- tai kaksoisvirtalähde. Kaksoisvirtalähteestä (AC/DC) saadaan valittua katkaisijaa kääntämällä haluttu virtalähde. Materiaalista riippuen valitaan haluttu virtalähde. TIG – hitsauksessa kaarenpituuden vaihtelusta aiheutuvia muutoksia virrassa ja jännitteessä pyritään estämään jyrkästi laskevalla ominaiskäyrällä. Puikkohitsauksessa virtalähteinä käytetään tasasuuntaajaa, muuttajaa, muuntajaa ja invertteriä. Nykyaikaiset virtalähteet ovat yleensä joko tasasuuntaajia tai invertterejä. Muutokset hitsausvirrassa pyritään estämään laskevalla tai hyvin jyrkästi laskevalla ominaiskäyrällä, jolloin hitsaustapahtuma pysyy vakaana. (Lukkari, 1997, s. 78-80.)

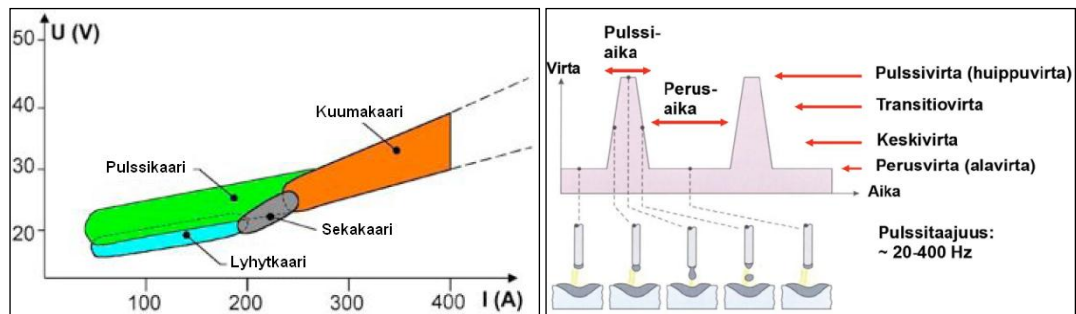
### 6.3.1 Synerginen säätö

Kun puikkohitsauksessa säädetään vain virtaa, niin MIG/MAG – hitsauksessa säädetään kahta hitsausarvoa eli langansyöttönopeutta tai hitsausvirtaa ja virtalähteestä jännitettä. Kun näitä hitsausarvoja säädetään erikseen omista säätönopeista, kutsutaan tällöin säätöä kaksinuppisäädöksi. Säädön tapahtuessa samasta säätönupista, jolloin jännite ja virta muuttuvat samanaikaisesti oikeassa suhteessa toisiinsa, nimitetään säätötapaa yksinuppisäädöksi eli synergiseksi säädöksi. Synergisessä säädössä MIG/MAG – hitsauksessa käyttäjä valitsee langansyöttönopeuden ja laite osaa säätää hitsausvirran tai – jännitteen oikeaksi. (Lukkari, 1997, s. 180.)

Hitsauslaitteistossa on myös suuri määrä muita hitsaukseen liittyviä parametreja, joiden arvoja koneessa oleva ohjelmisto valvoo ja ohjaa jatkuvasti hitsauksen aikana. Tällaisia parametreja ovat esimerkiksi hitsausvirran nousu- ja laskuajat valokaaren syttyessä ja lopetuksessa, virran dynamiikka eli oikosulkukäyttäytyminen sekä virtapulssien muoto ja taajuus pulssihitsauksessa. Näiden hitsausparametrien keskinäisen vuorovaikutuksen toimivuudesta vastaavat hitsauslaitteen ohjauspaneelissa olevat ohjelmistot, joita kutsutaan myös hitsauskäyriksi. Käyriä on kehitetty erilaisia eri perusaineille, lisäaineille ja suojakaasuille. (Uusitalo, 2007, s. 57.)

### 6.3.2 Pulssi -MIG/MAG -hitsaus

Pulssikaassa ohjataan aineensiirtymistä pulssivirran eli sykkivän virran avulla, kuva 23. Pulssivirta saadaan aikaan syöttämällä virtapulsseja suurella taajuudella tietyn perusvirran päälle, jolloin aineensiirtyminen tapahtuu suihkumaisesti virtapulssien aikana. Perusvirran tehtävänä on pitää hitsauslangan pää ja hitsisula sulana ja lisäainepisara irtoaa lisäainelangan kärjestä huippuvirran aikana. Pulssikaari edellyttää inerttiä suojakaasua tai argonvaltaista seoskaasua. Säädetäviä pulssiparametrejä ovat mm. tauko- ja pulssivirta, pulssiaika ja –taajuus. Perusvirta täytyy valita niin suureksi, ettei valokaari pääse sammumaan pulssien välillä. Huippuvirran pitää olla niin korkea ja pitkäaikainen, että pisara irtoaa ilman oikosulkua. Pulssiparametrien hallitsemiseksi markkinoilla on synergisiä pulssi – MIG/MAG – hitsauslaitteita, joissa pulssitus ohjautuu ohjelmoidusti langansyöttönopeuden mukaan siten, että kullakin langansyöttönopeudella yhden virtapulssin aikana hitsisulaan siirtyy yksi sulapisara. Pulssiarvojen riippuvuus langansyöttönopeudesta eri langanhalkaisijoilla, materiaalilaaduilla ja suojakaasuilla on esiohjelmoitu koneen muistiin. Oikeat pulssiparametrit säätävät automaattisesti hitsaajan valitsemaan langansyöttönopeuteen nähden koneen muistissa olevaa esivalittua ns. synergiäkäyrää pitkin. (Lukkari, 1997, s. 171–172)



Kuva 23. Pulssikaassa ohjataan aineensiirtymistä pulssivirran eli sykkivän virran avulla (Uusitalo, 2007, s. 57).

Suurimpana pulssihitsauksen etuna voidaan pitää roiskeettomuutta sekä hitsin hyvää ulkonäköä. Terästen pulssi – MAG – hitsauksessa edut tulevat parhaiten esille ohuiden aineenpaksuuksien hitsauksessa, asentohitsauksissa ja ruostumattoman teräksen hitsauksessa. Seostamattoman teräksen hitsauksessa etuna on roiskeettomuus mm. kohteissa, joissa muuten jouduttaisiin käyttämään sekakaarta. Ruostumattoman teräksen hitsauksessa pulssihitsauksen

käyttö vähentää umpilangalla huokosten syntymistä hitsiin. Nikkeliseoksilla ja muilla vaikeasti hitsattavilla materiaaleilla pulssitus helpottaa hitsausta. Yleisintä pulssihitsauksen käyttö on alumiinin MIG – hitsauksessa, sillä erityisesti alumiinin hitsauksessa pulssihitsaus vähentää huokosia ja parantaa syötettävyyttä, sekä lisäksi jo 2 mm alumiinilevyn MIG – hitsaus on mahdollista pulssituksella, jolloin se on vaihtoehto TIG – hitsaukselle. (Lukkari, 1997, s. 172–173) Kaksoispulssihitsauksessa on tavallisten pulssihitsausominaisuuksien lisäksi myös pulssitettu langansyöttönopeus. Siinä langansyöttönopeus vaihtelee hitsauksen aikana, ja käyttäjä voi säätää vaihtelun amplitudia ja taajuutta. Toiminnolla saadaan säädettyä hitsiin sopiva tunkeuma ja hyvä ulkonäkö. (Kemppe, 2014)

#### 6.4 Kappaleiden kiinnitys

Käsinhitsaus ei vaadi yleensä yhtä tarkkaa paikoittamista ja kiinnittämistä kuin esim. automatisoitu hitsaus, koska hitsaaja kontrolloi koko ajan hitsausta ja tarkkailee eri hitsausmuuttujia. Hitsauskiinnittimen suunnittelun lähtökohtana on saada hitsattavat railot haluttuun kohtaan sopivalla tarkkuudella. Suurilla kappaleilla on usein suositeltavaa silloittaa kappale eri vaiheena ennen varsinaista hitsausta ja siirtää kappale silloituksen jälkeen hitsausta varten hyvin yksinkertaiseen, hitsausta mahdollisimman vähän häiritsevään hitsauskiinnittimeen. Tällöin vaaditaan kaksi eri kiinnitintä, sekä ylimääräinen asetus. Kaksivaiheisessa kiinnityksessä osat silloitushitsataan kiinnittimessä, sekä sen jälkeen tarvittavat kiinnittimen osat poistetaan, jotta päästään kaikkiin hitsattaviin kohteisiin ja hitsataan kappale valmiiksi. Etenkin pienet kappaleet voidaan kiinnittää niin, että kappale hitsataan suoraan valmiiksi ilman silloitusta. Tällöin on otettava huomioon erityisesti muodonmuutosten vaikutukset ja suunniteltava hitsausjärjestys tarkoin. (Martikainen, 2007b, s. 190, Leino, 1987, s. 8.)

Kappaleenkäsittelylaitteeseen tapahtuva kiinnitys toteutetaan joko hitsauskiinnittimestä, itse kappaleesta tai esim. erillisestä kiinnityslevystä. Hitsattava kappale voidaan silloittaa kiinnityslevyyn, joka ruuvien avulla kiinnitetään pöytälevyyn. Kappale voidaan myös kiinnittää suoraan ruuvien, lestirautojen, kierretankojen sekä T-urien avulla pöytään kiinni. Yleensä hitsaajat itse ovat suunnittelemassa ja toteuttamassa kiinnitysvälineitä. Sarjatuotannossa kiinnityksessä tulevat yleistymään hydraulikka- ja pneumiikkatoimintaiset kiinnittimet.

## 6.5 Tuotantosolu

Läpäisyajan lyhentämiseksi solutuotannossa tuotanto on virtautettua ja solutettu osiin. Solussa tehdään useita työvaiheita, jolloin tarvitaan monitaitoisia työntekijöitä, jotka voivat myös korvata toisiaan. Solutuotannon vastakohtana on funktionaalinen tuotanto, jonka pyrkimyksenä on maksimoida kalliiden koneiden käyttöaste, vaikka keskeneräiseen tuotantoon olisi sitoutunut paljon pääomaa ja läpäisyajat olisivat pitkiä. Tuotantosolut voivat olla täysin automaattisia, kuten hitsausrobotti, kappaleenkäsittelijä ja käsittelyrobotti tai ihmistyöntekijän ja automaattisten koneiden yhdistelmä tai täysin manuaalisia. (Hyötyläinen & Karvonen, 2000, s. 52-54.)

Tuotantosolut voivat olla traditionaalisia soluja tai verkostosoluja. Traditionaalinen solu on ohjaus-, autonominen tai sosiotekninen solu. Perinteisessä ohjaussolussa työntekijät hallitsevat useita työvaiheita, sekä kiertävät tarpeen mukaan tehtävästä toiseen. Autonominen solu toimii itsenäisesti ja sosiotekninen malli korostaa itseohjautuvia soluja, joiden perustana on työn laajeneminen, työkierto ja ryhmätoiminta. Solun tehtäviin sisällytetään erilaisia suunnittelu- ja ohjaustehtäviä, kuten laadusta vastaaminen, kunnossapito ja materiaalitehtävät. Verkostosolua ei mielletä pelkästään ohjaukselliseksi kokonaisuudeksi, vaan organisaatioyksiköksi, joka ohjaustehtävänsä ohella on osa koko verstaan ja tehtaan kattavaa yhteistoimintaverkkoa. Verkostosolulla on kolme ulottuvuutta: valmistustehtävät, tukitehtävät ja kehitystoiminta. Solun työntekijät ovat monitaitoisia ja vaihtavat tarpeen mukaan työtehtävästä toiseen. Solu vastaa osin yksin, mutta pääosin yhteistyössä tukitoimintojen kanssa alueellaan tukitehtävistä, kuten valmistuksenohjauksesta ja ennakkohuolloista. Solu seuraa systemaattisesti työvälineisiinsä, työympäristöönsä, tuotteiden valmistettavuuteen ja ylipäätään toimintaansa liittyviä ongelmia. Systemaattinen ongelmanseuranta on perusta solun toiminnan jatkuvalla kehittämiselle. (Hyötyläinen & Karvonen, 2000, s. 52-54.)

### 6.5.1 Hitsaussolu

Solun toimintatavan ulottuvuuden perusteella voidaan sanoa onko solutuotanto miten pitkälle toteutettu. Hitsaussoluissakin olisi hyvä suorittaa työn laajentumisen ja tukitehtävien lisäksi ryhmätyötä, verkostotoimintaa ja kehittämistoimintaa. Hitsaavassa tuotannossa hitsaussolut ovat pääosin MIG/MAG – hitsausta käsin, jolloin solu on voitu varustaa

kappaleenkäsittelylaitteilla. Automatisoitu hitsaussolu käsittää yleensä hitsausrobotin ja kappaleenkäsittelylaitteen, mutta kappaleen lastaus ja purku tapahtuu usein manuaalisesti nosturin avustuksella. Hitsaussolun suunnittelussa on huomioitava yleinen toimintamalli yrityksessä, solun läpikulkeva materiaalivirta, solua edeltävät ja jälkeiset tapahtumat, sekä miten laajat toimintatavat soluun halutaan sisällyttää.

#### 6.5.2 Hitsaussolun tekninen sisältö

Käsinhitsauksessa hitsaussolun tärkeimpänä teknisenä sisältönä voidaan pitää käytettävän hitsausmenetelmän hitsauslaitteistoa sekä kappaleenkäsittelylaitteistoa. Käsinhitsausprosesseihin kuuluvat hitsauslaitteistot koostuvat tyypillisesti virtalähteestä, mahdollisesta langansyöttölaitteesta, maadoituskaapelista, hitsauspistoolista, -polttimesta tai -pitimestä, mahdollisesta nestejäähdytysyksiköstä sekä suojakaasupullosta tai kaasuverkkoliitännästä. Kaasuverkkoliitännän lisäksi soluun on tuotava riittävät hydraulikka- ja pneumatiikkaverkkoliitännät sekä sähköliitännät. Kappaleenkäsittelylaite riippuu hitsattavan tuotteen muodosta sekä painosta. Kohdeilmapoistolla mahdollistetaan puhtaampi ilma hitsaajille poistamalla hitsauksen yhteydessä syntyvät hitsauskaasut ja – huuрут. Erillinen hitsauspöytä voi toimia esimerkiksi pienempien kappaleiden silloituksissa ennen varsinaista hitsausta. Hitsattavat kappaleet voidaan tuoda ja poistaa suoraan käsittelylaitteelle haarukkavaunun, erilaisten trukkien, kevyiden rullaratojen tai solun yläpuolelle asennettavan yksikisko- ja kevytnostojärjestelmien avulla, ja lisäksi kappaleiden siirto voi tapahtua palettiradan avulla varastosta solun lähelle. Siirron tapahtuessa käsittelylaitteelle tai hitsauspöydälle vasta solussa, voidaan nostoa helpottaa esim. kääntöpuominosturin, saksinostimen tai solukohtaisen teollisuusnosturin avulla.

Oikeanlainen valaistus on tärkeää turvallisen työympäristön kannalta, ja muunneltavilla valoverhoilla estetään valokaaren näkyminen ulkopuolisille, sekä mahdollistetaan työrauha hitsaajalle. Lisäainelangat, -puikot sekä erilaiset työkalut ja suojaimet pidetään niille tarkoitetuissa kaapeissa. Hitsauskaapeleille on hyvä olla kannattimet, joiden avulla helpotetaan työn rasittavuutta. Solussa voi olla myös varaosia esim. hitsauslaitteistolle, mutta yleensä varaosien vähäisen menekin takia varaosakaappi on hyvä sijoittaa yhteiseksi kaikkien hitsaussolujen läheisyyteen. Erilaiset peruskiinnittimet käsittelylaitteistolle helpottavat kiinnitysmahdollisuuksia hitsattavien osien vaihtuessa. Hitsaussolun laitteistolle voidaan tehdä

huoltosopimukset joko laitetoimittajien tai paikallisten yritysten kesken. Kehittyneistä virtälähteistä voidaan kerätä tietoa hitsausarvoista, jolloin laitetta voidaan säätää ennen kuin laatupoikkeamia tulee.

## 6.6 Työnjärjestely ja suunnittelu

Hitsauksen mekanisointilaitteilla saavutettava kaariaikasuhte riippuu olennaisesti työnjärjestelystä ja -suunnittelusta. Hitsattavien kappaleiden siirto kappaleenkäsittelylaitteelle, kiinnitys ja irrotus, sekä siirto jatkotuotantoon on tapahduttava mahdollisimman sujuvasti rasittamatta hitsaajaa liikaa. Pienten kappaleiden ja sarjatuotteiden valmistuksessa on selvästi helpompaa järjestää hitsaustyöpaikan layout, silloitusvarustus ja työnkulku siten, että kappaleenkäsittelylaitteen toiminta on ainakin lähes keskeytyksetöntä kuten suurten kappaleiden yksittäistuotannossa. (Leino, 1991, s. 6) Hitsaussoluun tulevat laitteet on suunniteltava hitsattaville kappaleille sopiviksi, kuten oikeanlaiset nosturit ja kappaleenkäsittelijät, sekä hitsaussolun layout sekä solun kapasiteetti on oltava sopiva materiaalivirrälle, jotta pullonkauloja ei muodostuisi.

Hitsaavan tuotannon menetelmäsuunnittelun lähtökohta on kohteen kannalta mahdollisimman tehokkaan hitsausmenetelmän ja –menettelyn valinta. Tehokkain menetelmä on se, jolla tuote saadaan valmistettua nopeimmin, ei välttämättä se menetelmä, joka antaa suurimman hitsiaineentuoton. Menetelmäsuunnittelussa tarvitaan spesifioidut tiedot käsiteltävistä materiaaleista, koneilta ja laitteilta vaadittavalta kapasiteetilta sekä eri vaiheiden vaatimista työajoista. Suunnittelun tuloksena vaihtoehtoisista menetelmistä ja menettelyistä valitaan taloudellisin työtutkimukseen ja vertailulaskelmiin perustuen. Hitsauksen menetelmäsuunnittelu on iteratiivista suunnittelua edullisimman ratkaisun löytämiseksi. Yhteistyö tuotesuunnitteluun on tärkeää, jotta tehokkaimman menetelmän käyttömahdollisuudet pääosin määräytyisivät. (Vilpas, 1990, s. 20.)

## 7 MEKANISOIDUN KÄSINHITSAUKSEN KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS

Haluttaessa kehittää yrityksen käsinhitsausta tai suunniteltaessa uutta hitsaussolua on tiedettävä hitsattavien tuotteiden laaduntuottotekijät, eli mitä tapahtuu ennen hitsausta, sen aikana sekä sen jälkeen. Käytön asettamat vaatimukset, asiakkaan tarpeet ja odotukset tuotteelle, viranomaisten ja standardien vaatimukset sekä mahdollisten hitsausprosessien rajoitukset ja mahdollisuudet kertovat minkälainen tuote on ja millä se on valmistettava. Vaatimusten ja teknisen katselmuksen avulla varmistetaan, että valmistajalla on tiedossa kaikki tarvittavat tiedot, jotta tuote olisi valmistettavissa. Oikealla hitsausprosessin valinnalla pyritään säästämään aikaa ja materiaalia, sekä mekanisointiratkaisuilla vaikuttamaan valmistelu- ja sivuaikoihin. Kuljetinjärjestelmillä pyritään järjestämään kappaleen tuonti ja vienti mahdollisimman tehokkaaksi, sekä poistamaan turhia varastoja ja kustannuksia.

Standardi SFS-EN ISO 3834 ei ole varsinainen laatu järjestelmästandardi, mutta se kertoo mitä asioita hitsauksessa tulee ottaa huomioon. Täydentämällä laatu järjestelmästandardia ISO 9001 tai toimimalla itsenäisesti se on hyvä työkalu hitsauksen toimintaan sekä ohjeistuksen perustaksi. (Martikainen, 2007a, s. 37.) Hitsauksen suoritus on käytännössä myös tiedettävä, jotta hitsaussolun layout voidaan suunnitella palvelemaan hitsaajia mahdollisimman hyvin.

### 7.1 Vaatimusten katselmuks

Vaatimusten katselmuksessa rakenteen valmistaja käy lävitse sopimuksessa esitetyt vaatimukset sekä mahdolliset muut vaatimukset, sillä kaikki tarpeellinen tieto valmistukseen on oltava saatavissa ennen työn aloittamista. Valmistajan on tiedettävä ostajan asettamista teknisistä tiedoista. Valmistajan on tarkistettava, että työn sisällön on oltava suorituskykyjen puitteissa ja riittävät resurssit ovat käytettävissä valmistukseen, jotta toimitus voidaan toteuttaa aikataulun mukaisesti, sekä lisäksi asiakirjojen on oltava selviä ja yksiselitteisiä. Tarkasteltavia asioita ovat (SFS-EN ISO 3834-2, s. 6-8.)

- Käytettävä tuotestandardi ja mahdolliset lisävaatimukset
- Lakisääteiset vaatimukset ja viranomaisvaatimukset
- Valmistajan määrittämät lisävaatimukset
- Valmistajan kyky täyttää annetut ehdot

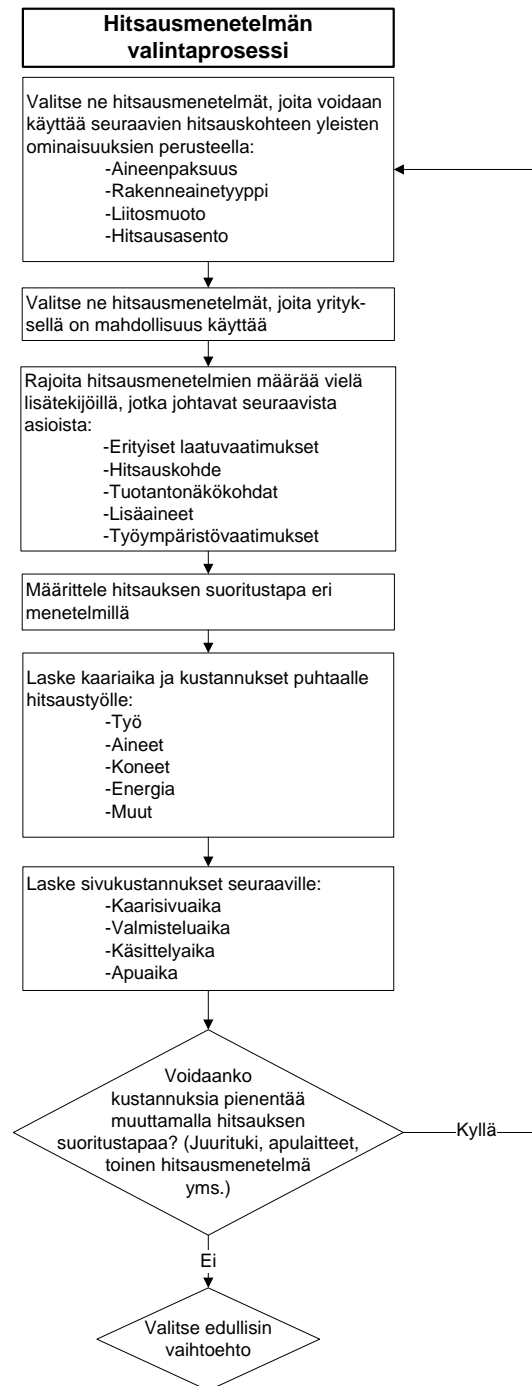
## 7.2 Tekninen katselmus

Teknisessä katselmuksessa eritellään perusaineet ja määritellään hitsausliitosten ominaisuudet, kuten hitsien laatu- ja hyväksymisvaatimukset, railojen mitat, sijainti, luoksepäästävyys ja hitsausjärjestys, sekä tarkastuksen ja rikkomattoman aineenkoetuksen edellyttämä luoksepäästävyys. Hitsausaineille laaditaan ohjeet varastoinnista, käsittelystä ja käytöstä, sekä tuotteelle hitsausohjeet ja niiden hyväksymistapa. Hitsausohjeissa (WPS) esitetään yksityiskohtaisesti hitsaussovellukseen vaadittavat muuttujat toistettavuuden varmistamiseksi. Lisäksi laaditaan ohjeet lämpökäsittelylle sekä rikkomattomalle aineenkoetukselle. Tarkastuksen ja testauksen menettelykäytäntö sekä laadunvalvonnan järjestely yrityksessä käydään lävitse, jotta saatavat tulokset olisivat todenmukaisia. Alihankinnan käyttö eri työvaiheissa ja mille tuotteille on hyvä käydä yleisesti lävitse, jotta tiedetään mikä on ydinosaamista ja mikä kannattaa siirtää alihankintaan. Materiaalien ja hitsien valinta on tärkeää, jotta saataisiin esim. tuotteelle vähemmän painoa käytettäessä suurlujuusteräksiä, ja lisäksi materiaalien tunnistus ja jäljitettävyyys on oltava kunnossa. Katselmukseen kuuluu jälkilämpökäsittelyn tarve, esim. liian nopean jäähtymisen tai rakenteen sitkeyden lisääminen. Poikkeamien käsittelystä ja korjaavista toimenpiteistä on laadittava ohjeistus, jotta käytäntö olisi samanlainen läpi yrityksen. Ympäristöolosuhteiden merkitys prosessien käyttöön on tiedettävä, jotta voitaisiin toimia oikein esim. alhaisissa lämpötiloissa tai vaikeissa ulko-olosuhteissa. (SFS-EN ISO 3834-2, s. 8.)

## 7.3 Hitsausprosessin valinta

Menetelmä- ja työvälinsuunnittelun tehtävänä on etsiä kullekin työvaihesuunnittelussa määrätyle työvaiheelle edullisin työmenetelmä ja välineet, sillä suurilla volyyymeilla pienelläkin ajan ja materiaalin säästöillä on taloudellista vaikutusta. Menetelmäsuunnittelussa tarvitaan spesifioidut tiedot käsiteltävistä materiaaleista, koneilta ja laitteilta vaadittavalta kapasiteetilta sekä eri vaiheiden vaatimista työajoista. Hitsaavan tuotannon menetelmäsuunnittelun lähtökohta on kohteen kannalta mahdollisimman tehokkaan hitsausprosessin ja -menetelmän valinta. (Vilpas, 1990, s. 20) Hitsausprosessin ja hitsauksen suoritustavan sekä hitsausenergian valinnan vaikutus korostuu teräksen lujuuden kasvaessa ja iskusitkeyden laatuluokan kiristyessä. Hyvään liitoksen iskusitkeyteen on mahdollista päästä kaikilla tavanomaisilla hitsausprosesseilla edellyttäen, että hitsausenergia pidetään kyseiselle

teräkselle annettujen suositusten mukaisina. (Vähäkainu, 2003, s. 29.) Paras hitsausmenetelmä ei ole välttämättä se, joka antaa suurimman hitsiaineentuoton, vaan se, jolla tuote valmistetaan nopeimmin annetut vaatimukset täyttäen. Hitsausmenetelmän valintaprosessi esitetty kuvassa 24. (Vilpas, 1990, s. 20.)

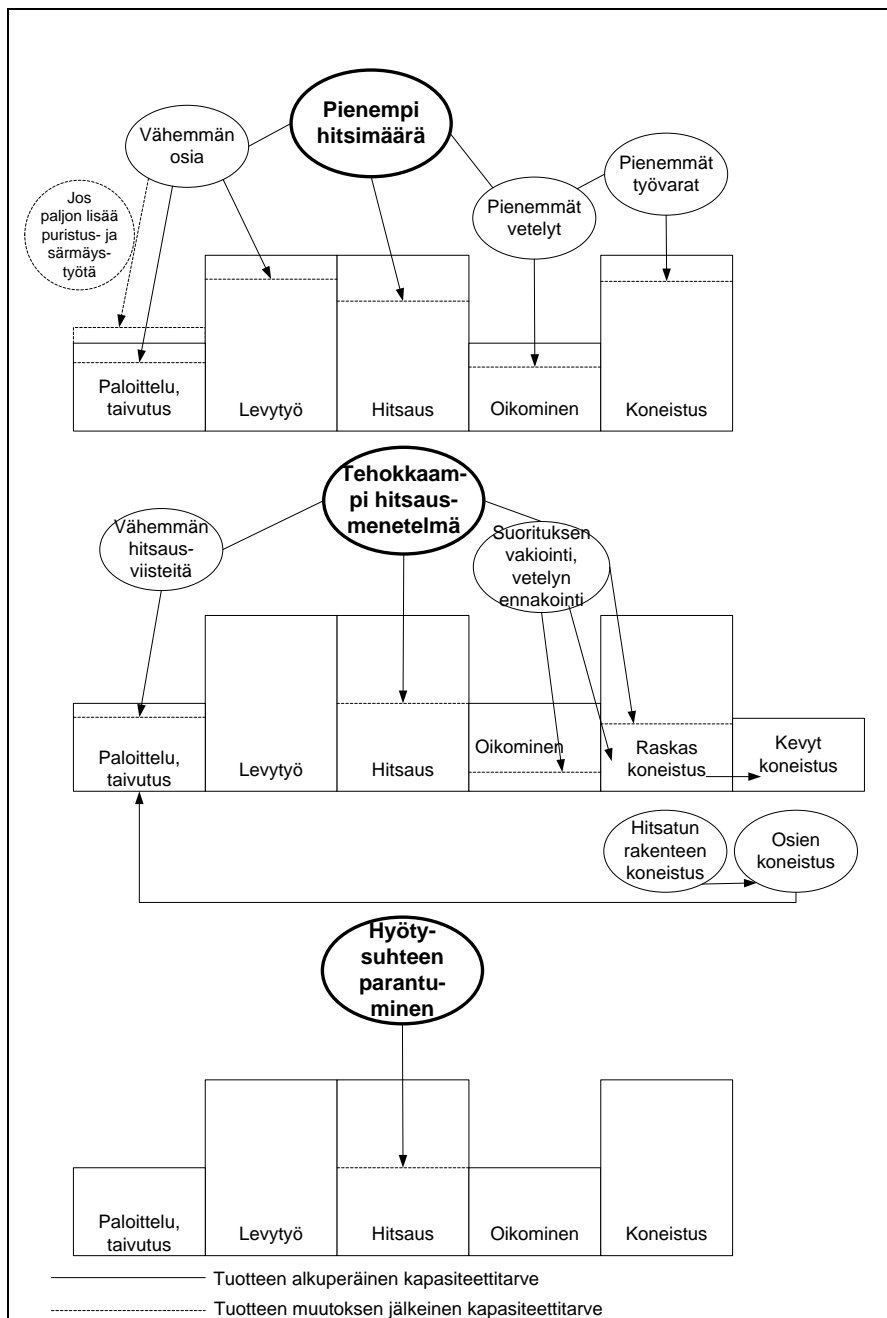


Kuva 24. Hitsausmenetelmän valintaprosessi (Vilpas, 1990, s. 22).

Yhteistyö muiden suunnitteluvaiheiden kanssa on tärkeää. Keskeisin yhteistyömuoto on palaute tuotesuunnitteluun, jossa tehokkaimman menetelmän käyttömahdollisuudet pääosin määräytyvät. Valinnan jälkeen etsitään seuraaviin kysymyksiin vastaukset yhdessä tuotesuunnittelun ja tuotantoteknisen suunnittelun kanssa: (Vilpas, 1990, s. 21.)

- Onko valmistusmenetelmän valintaperuste oikea? Edullisin vai sama kuin ennenkin?
- Onko hitsaus edullisin menetelmä?
- Mikä uusi menetelmä olisi parempi?
- Salliiko suunnittelu ja muotoilu edullisimman (tai hitsausta edullisemmän) menetelmän käytön?
- Voidaanko vaaditut mitat ja toleranssit saavuttaa?
- Täytyvätkö lujuus- ja sitkeysvaatimukset?
- Mikä on edullisin menetelmä suhteessa eräkokoihin?
- Mikä on tuotannon avainkone? Miten sen käyttö optimoidaan pullonkaulan eliminoimiseksi?
- Mitä apuvälineitä menetelmävalinta edellyttää?
- Olisiko alihankinta parempi vaihtoehto?

Hitsausajalla on keskeinen sija hitsauksen menetelmä- ja työvälinesuunnittelussa. Hitsausajan osatekijät vaikuttavat hitsauskustannuksiin. Kappaleen 5.1 kuvassa 12 on esitelty ne tekijät, joihin pitää vaikuttaa, kun pyritään parantamaan hitsauksen tuottavuutta lyhentämällä hitsausaikaa. Hitsausajan lyhentämisellä on vaikutusta lisäksi myös muihin työvaiheisiin, kuva 25 (Vilpas, 1990, s. 25).

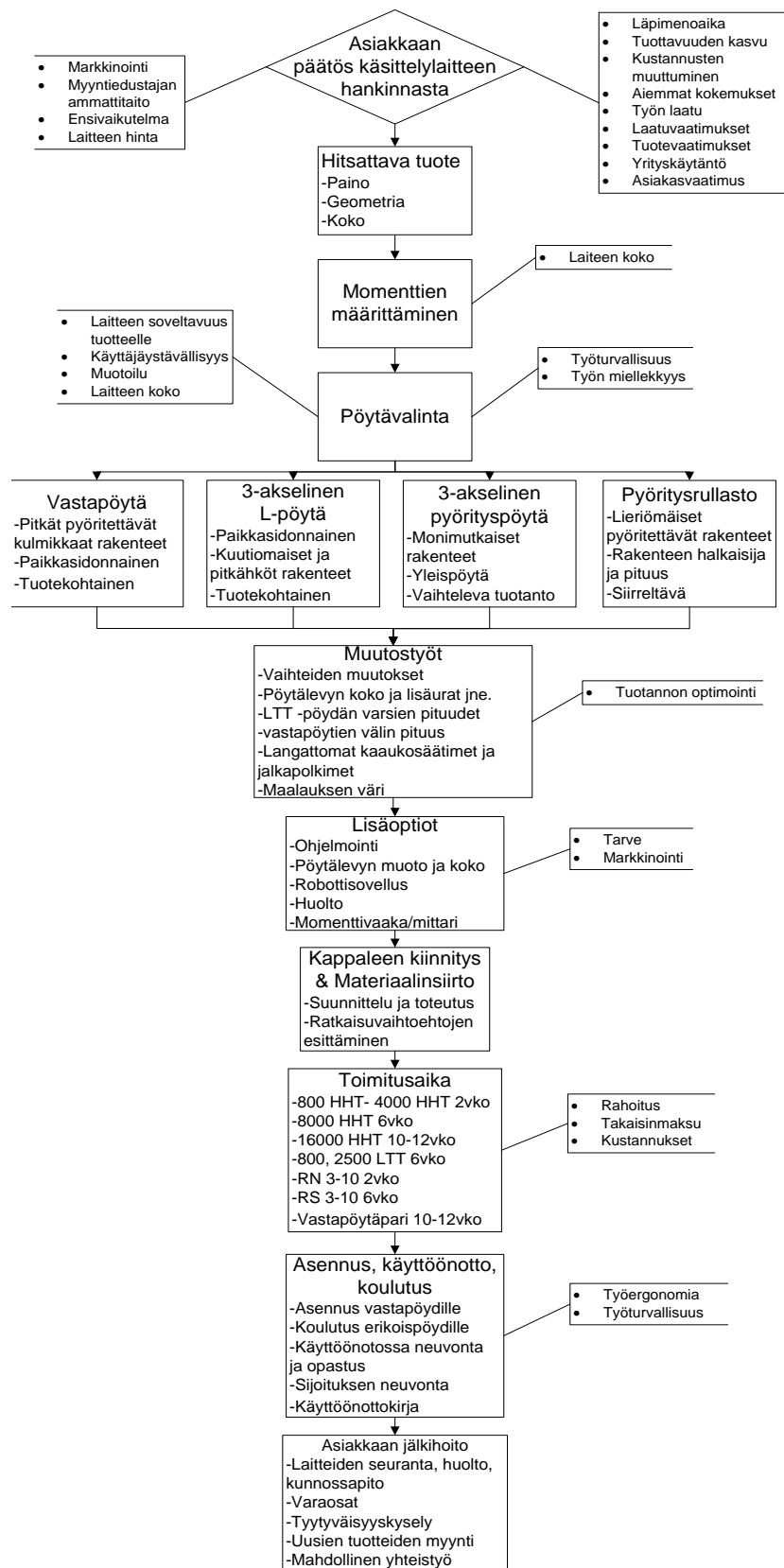


Kuva 25. Pienemmän hitsimäärän, tehokkaamman hitsausmenetelmän ja paremman hyötysuhteen vaikutus eri työvaiheisiin (Vilpas, 1990, s. 25).

#### 7.4 Mekanisointiratkaisun valinta

Menetelmävalinnan lisäksi on valittava ja suunniteltava edullisimmat hitsausapulaitteet kuten kappaleenkäsittelylaitteet, kiinnittimet, kuljettimet, nostimet ym. välineet, joilla on merkitystä hitsauskustannusten muodostumisessa valmistelu- ja sivuaikojen kautta (Vilpas, 1990, s. 20). Käsinhitsauksen mekanoinnilla tarkoitetaan lähinnä toimivaa hitsausprosessia, kappaleenkäsittelyä ja -siirtoa hitsaussolussa.

Asiakasohjautuvassa myynnissä asiakas on jo perillä kappaleenkäsittelystä, sekä sen hyödyistä tuottavuuteen ja laatuun. Asiakkaalla voi olla aiempia kokemuksia laitteista ja tällöin asiakas myös tietää, mihin hän tarvitsee niitä tuotannossaan, jolloin myös ostopäätös tapahtuu melko nopeasti. Asiakkaalla ei yleensä ole päällimmäisenä mielessä työergonomian, työn mielekkyyden sekä työturvallisuuden parantuminen, vaan ne tulevat yleensä vasta huomioon hitsaajien kautta käyttöönoton jälkeen. Valitun tuotteen geometrian ja painon mukaan lasketaan kappaleenkäsittelijältä tarvittavat momentit. Mikäli myyntiedustajalta lähtee aloite käsittelylaitteen hankinnasta asiakkaan sopivalle tuotteelle, menee hankintapäätöksessä pidempään. Markkinoinnin, myyntiedustajan ammattitaidon ja positiivisen ensivaikutelman keinoin pyritään asiakas ymmärtämään laitteen hyödyt hänen omalle tuotannolleen. Käsittelylaitteen hankintaprosessi ja siihen vaikuttavat tekijät ovat esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. Käsittelylaitteen hankintaprosessi ja siihen vaikuttavat tekijät.

## 7.5 Hitsauksen suoritus

Hitsattava rakenne eritellään yleensä eri osarakenteisiin valmistuksen helpottamiseksi, joista koostuu lopullinen rakenne. Valmistusjärjestyksen ollessa selvillä jokaisesta osarakenteesta tunnistetaan eri työvaiheet ja määritellään hitsausjärjestykset. Tarvittaessa eri prosesseille määritellään prosessien suorittamisjärjestys ja ajoitus. Hitsausjärjestyksellä voidaan vaikuttaa hitsauksen aiheuttamiin muodonmuutoksiin ja hitsausjännityksiin. Vaadittaessa tuotteelta mittatarkkuutta hitsausjärjestys on valittava siten, että muodonmuutokset jäävät vähäisiksi.

Hitseille laaditaan hitsausohjeet ja varmistetaan, että niitä käytetään oikein tuotannossa. Hitsauksen työkustannusten alentamiseksi ja tuottavuuden parantamiseksi lämmöntuonti tulisi pitää niin suurena kuin mahdollista, mutta tätä rajoittaa hitsausliitoksen iskusitkeysominaisuudet. Rajoittamistarve on sitä suurempi mitä vaativamman iskusitkeysluokan, korkeamman lujuusluokan ja pienemmän aineenpaksuuden teräksestä on kysymys. Hitsausympäristön olosuhteet huomioidaan ja varaudutaan esim. tuulta ja sadetta vastaan. Riittävän pätevät henkilöt sijoitetaan asianomaisiin työtehtäviin, sekä ohjeistetaan riittävän yksityiskohtaisesti. Osat, komponentit ja eri toimituserät on oltava tunnistettavissa, jotta hitsaaja tai varastomies osaa hoitaa nopeasti ja vaivattomasti oikeat osat oikeaan paikkaan. (SFS-EN ISO 3834-2, s. 14.)

### 7.5.1 Esivalmistelut

Valitulle hitsausprosessille, kappale 7.3, säädetään hitsausohjeesta hitsausparametrit kohdalleen. Myötölujuudeltaan alle 400 MPa ja sitkeille teräksille lisäaineen on oltava perusainetta hieman seostetumpi, jotta myös hitsiaineeseen saadaan perusaineen tasoiset lujuus- ja iskusitkeysominaisuudet. Lujempien (myötölujuudeltaan yli 400 MPa) terästen hitsauksessa on monissa tapauksissa edullista käyttää ns. alilujia, perusainetta pehmeämpiä lisäaineita ja suunnittelulla välttää hitsausliitosten sijoittamista rakenteen rasiuimpiin kohtiin. Säänkestävillä teräksillä käytetään yleensä perusainetta vastaavaa seostusta, jolloin myös hitsi on säänkestävä. Lisäaineiden varastointi ja käsittely etenkin lujilla teräksillä on tärkeää, jotta hitsiaineen vetypitoisuus pystytään pitämään alhaisena ja estetään kylmähalkeilu liitoksessa. Hitsausaineet tulee säilyttää kuivassa ja lämmitetyssä tilassa. (Vähäkainu, 2003, s. 29–31.)

Puikkohitsauksella voidaan hitsata jopa 1 mm:n aineenpaksuuksia, mutta yleisesti sitä ei juuri käytetä alle 2 mm:n aineenpaksuuksille. Hitsattaessa yhdeltä puolelta puikolla I-railoa käytetään 2-4 mm:n aineenpaksuusalueella ilmarakoa, mikä on sama kuin aineenpaksuus. V-railoa käytetään aineenpaksuuden ylittäessä 4 mm. Railokulmana käytetään yleensä 60°, jolloin ilmarako vaihtelee 1-3 mm puikkotyypin ja hitsausparametrien mukaan. Suurissa aineenpaksuuksissa hitsataan usein yhdistelmä- tai U- railoa käyttäen. (Grönlund, 1990, s. 7.)

MAG –hitsauksessa ohuet 0,5-0,7 mm paksuiset aineet hitsataan yleensä päällekkäisliitosta ja porrastettua päittäisliitosta käyttäen. I – railon käyttöalue on noin 0,7 -4 mm yhdeltä puolelta hitsattaessa. I – railoa voidaan käyttää noin 8 mm:n aineenpaksuuksiin asti käytettäessä juuritukea. V – railoa käytetään yli 5 mm paksuille aineille. Railokulma ei saisi liitosvirheen vaaran takia alittaa 45°:tta. Ilmarako vaihtelee 1-3 mm, ja juuripinta 2 -4 mm. (Grönlund, 1990, s. 7.)

TIG – hitsauksessa I – railoa käytetään korkeintaan 5 mm:n aineenpaksuuteen saakka. Ilmarako on aineenpaksuuden suuruinen. V -railo on käyttökelpoinen 5-15 mm:n aineenpaksuuksille, jolloin railokulma on 60° ja juuripinnan korkeus on noin 2 mm. V – railo korvataan usein U – railolla, jolloin läpihitsautumista on helpompi valvoa. (Grönlund, 1990, s. 7.)

Perinteisillä teräksillä lujuuden nosto aikaansaadaan lähinnä seostusta lisäämällä. Hitsausliitoksessa tämä saattaa aiheuttaa mikrorakenteen liiallisen karkenemisen lisäten kylmähalkeilualttiutta. Työlämpötilan korottaminen hitsauksessa hidastaa liitoksen jäähtymistä ja vähentää karkenemistä. Tämä alentaa liitoksen kovuustasoa ja ehkäisee kylmähalkeilun. Työlämpötilan korottamistarvetta lisäävät suuret aineenpaksuudet ja hitsausenergian pieneminen. Lisäksi liitosmuoto vaikuttaa jäähtymisnopeuteen siten, että pienaliitos jäähtyy nopeammin kuin päittäisliitos. (Vähäkainu, 2003, s. 35.)

#### 7.5.2 Henkilöstö

Lähtökohtana hitsattavan rakenteen valmistajalla on riittävän päteväitynyt henkilöstö hitsaukseen liittyvässä tuotannossa. Tarvittaessa hitsausoperaattori tai hitsaaja saa pätevyyden tietyille hitsausasematyypille, jos hän on suorittanut esituotannolliseen kokeeseen, työkokeeseen, näytteenottokokeeseen tai toimivuuskokeeseen perustuvan pätevyyskokeen.

Automaattisessa ja robottihitsauksessa uusi pätevyyskoe on suoritettava, jos vaihdetaan yksipalkohitsauksesta monipalkohitsaukseen, hitsataan railonseurantalaitteella tai ilman, sekä jos robottityyppi, numeerinen ohjausjärjestelmä tai hitsausprosessille muut ominaiset oleelliset muuttujat vaihtuvat. Tarkemmat ohjeistukset ja kokeiden suoritukset hitsaajille ja hitsausoperaattoreille ovat standardeissa SFS-EN ISO 9606 ja 14732. NDT – tarkastajat tulee olla pätevoidettyjä standardin EN ISO 9712 mukaan. Hitsauksen vastuuhenkilönä toimii pätevoidetty hitsauskoordinoija (SFS-EN ISO 14731), jonka tehtävinä on mm. toimia hitsauksen asiantuntijana yrityksen eri osastoilla, laatia, hyväksyä, tallentaa ja päivittää hitsausohjeet, kouluttaa, opastaa ja neuvoa hitsaushenkilökuntaa, valvoa menetelmäkokeet ja toimia yhteyshenkilönä alihankkijoiden suuntaan. Hitsauskoordinoijia voi olla yrityksessä useita, jolloin yksi toimii pääkoordinoijana. (Martikainen, 2007a, s. 49–62.)

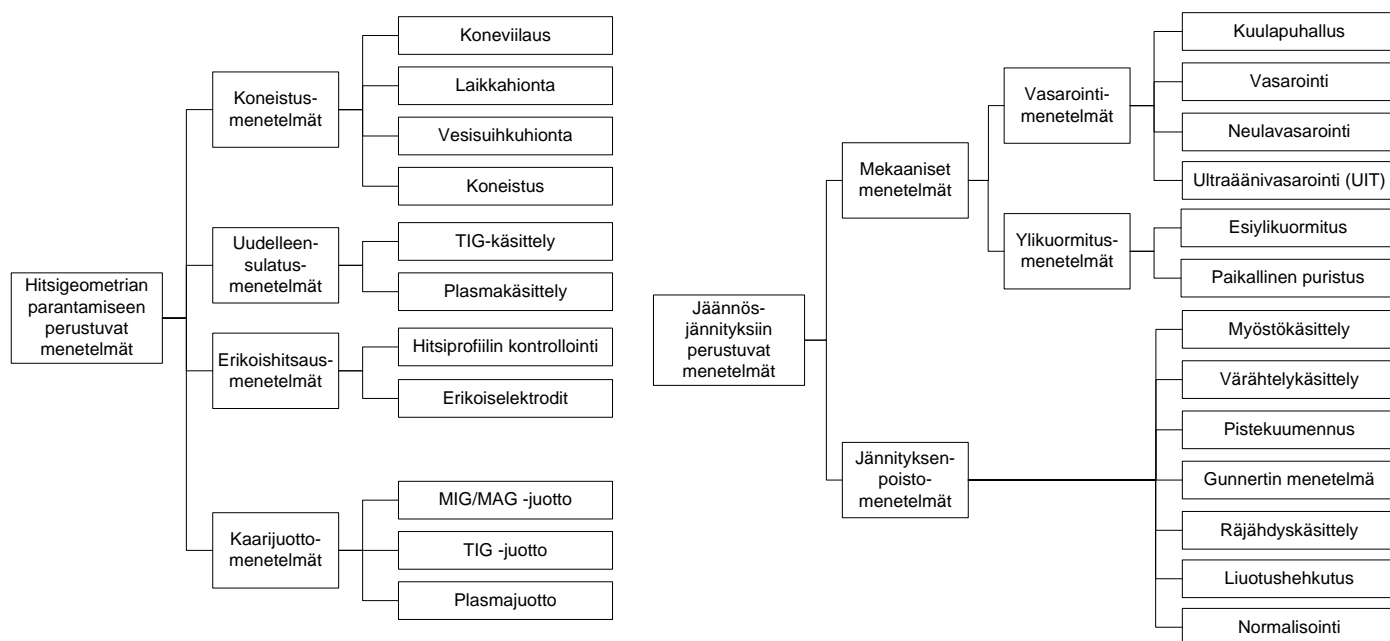
### 7.5.3 Ohjeistus

Hitsattavaan kappaleeseen laaditaan tarvittaessa hitsausohjeet eli WPS:t. Rakenteessa on tällöin vaativia hitsejä, jolloin vaurioitumisen, henkilövahinkojen tai turvallisuusriskien mahdollisuus on olemassa, rakenteeseen kohdistuu vaihtelevaa kuormitusta tai hitseiltä ja koko liitokselta vaaditaan erityistä sitkeyttä, lujuutta, tai esim. yleisesti ehdotonta kestävyyttä. Hitsausohjeet tulee laadita myös silloin, jos hitseissä esiintyy jatkuvasti laadullisia ongelmia tai toistuvasti korjattavaa tai muita puutteita esim. hankalan hitsausasennon, kaasusuojauksen järjestettävyyden tai metallurgisten erityispiirteiden takia. Hitsausohjeiden lisäksi hitsaajille on annettava ohjeistus käytettävistä laitteista sekä hitsausaineiden varastoinnista, käsittelystä ja käytöstä. (Martikainen, 2007a, s. 41–44.)

### 7.5.4 Jälkikäsittelyt

Hitsatussa rakenteessa olevat epäjatkuvuuskohdat, pinnan epätasaisuus sekä hitsausliitoksen muoto ja hitsausvirheet kohottavat paikallisesti jännitystilan huomattavastikin laskettua jännitystä suuremmaksi, jolloin hitseille tehdään erilaisia jälkikäsittelyjä väsymislujuuden parantamiseksi. Jälkikäsittelymenetelmät voidaan jaotella hitsigeometrian parantamiseen ja jäännösjännityksen poistamiseen tähtääviin menetelmiin, kuva 27. Jälkikäsittelyjä tehdään myös pintakäsittelyn kuten maalauksen mahdollistamiseksi, tilantarpeen kasvattamiseksi sekä käsiteltävyyden ja ulkonäön parantamiseksi, joista jälkimmäinen on usein perusteeton.

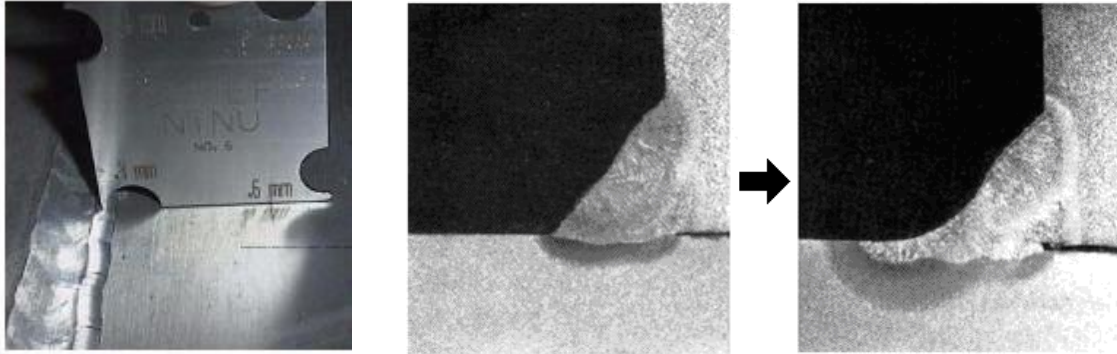
Väsymislujuuden parantamiseksi on vähennettävä jäännösjännitystilaa, sekä pienennettävä särömäistä alkuvikaa ja lovivaikutusta. Suurissa jännityskeskittymissä jälkikäsitteilyiden vaikutus heikkenee, eikä epäonnistuneita rakenteita voi parantaa jälkikäsitteilyllä. Rakenneyksityiskohdan muodon ja epäkeskeisyyden aiheuttaessa rakenteellisen jännityskeskittymän jälkikäsitteily ei auta. Jälkikäsitteilymenetelmiin soveltuvat kaikki hitsattavat materiaalit, jolloin menetelmä ja työkalut valitaan materiaalin mukaan. Yleisimmät jälkikäsitteilymenetelmät ovat erilaiset lämpökäsittelyt, hionta, TIG/plasma -sulatus sekä UIT. (Niemi & Kemppi, 1993, s. 88–99.)



Kuva 27. Hitsigeometrian parantamiseen ja jäännösjännityksiin perustuvat menetelmät (Niemi & Kemppi, 1993, s. 88–99).

Lämpökäsittelyillä tarkoitetaan erilaisia kuumennus- ja jäähdytysvaiheita, joiden tarkoituksena on lisätä rakenteen väsymiskestävyyttä vähentämällä jäännösjännityksiä, poistaa suuret jäännösjännitykset käytössä tapahtuvan repeilyn estämiseksi tai haurasmurtuma-alttiuden pienentämiseksi sekä lisätä rakenteen jännityskorroosionkestävyyttä. Tavallisimpia lämpökäsittelymenetelmiä ovat jännityksenpoistohehkutus eli myöstö, normalisointi sekä liuotushehkutus. Lämpökäsittely voidaan tehdä joko kokonaiselle rakenteelle tai vain hitsausliitokselle. Normalisointi voi alentaa hitsattujen rakenteiden myötölujuutta ja hitsiaineen lujuutta. (Vähäkainu, 2003, s. 48.)

Hionnalla saadaan hitsin reunanmuoto edullisemmaksi väsymiskestävyyden suhteen, kuva 28 vasemmalla, jolloin paikallinen lovijännitys pienenee, särömäiset alkuviat poistuvat sekä pinnan laatu paranee. Hionnalla voidaan parantaa väsymiskestävyyttä noin 30 %, joka tarkoittaa hitsin kestoiän 2,2 kertaistumista. Materiaalin poistoa ei suositella ohutlevyille. (Vähäkainu, 2003, s. 48.)



Kuva 28. Kuvan vasemmassa reunassa hitsin reunanmuodon hionta (Vähäkainu, 2003, s. 48), kuvan keskellä ja oikealla hitsin käsittely TIG:llä tai plasmalla (Niemi & Kemppi, 1993, s. 100–118).

TIG -tai plasmakäsittelyllä voidaan myös parantaa hitsin väsymiskestävyyttä 30 % tasoittamalla hitsin reuna jälkikäteen, kuva 28 keskellä ja oikealla. Käsittely voidaan toteuttaa joko manuaalisesti tai robotisoituna. Elektrodirin kallistuskulma on 0-30° astetta hitsistä poispäin, ja kuljetuskulma noin 10° työntävänä. Rakenteen lievällä ylikuormituksella, sekä paineilma- ja ultraäänivasaroinnilla pyritään pienentämään todellisia kokonaisjännityksiä riittävästi, jotta minimijännitys laskisi särön avautumisjännitystä pienemmäksi. Vasaroinnin avulla saadaan puristusjännityksiä kriittisiin kohtiin. Muita menetelmiä ovat kaarijuotto, jossa saadaan aikaan hitsin nurkkaan juoheva muoto ilman perusaineen sulamista, sekä pistekuuminen. (Niemi & Kemppi, 1993, s. 100–118.)

## 7.6 Laatu ja laadunvarmistus

Käsinhitsauksessa laatuaste vaihtelee useiden inhimillisten tekijöiden kuten hitsaajan ympäristön ja ajan mukaan, jolloin laatuaste saattaa olla isoakin vaihteluita. Keskittymällä ennen hitsausta ja hitsauksen aikana vaikuttaviin laaduntuottotekijöihin voidaan sen laatu pitää vaaditun laadun yläpuolella. Käsinhitsauksen laaduntuoton kulmakivinä voidaan pitää

hitsaajan ammattitaitoa, esivalmisteluja, hitsausparametrejä sekä laitteita ja työskentelyolosuhteita. Laadunvarmistus tapahtuu jo työn suunnittelussa ja siinä huomioidaan hitsattavan rakenteen vaatima laatutaso. Laadunvalvonta tapahtuu hitsauksen aikana ja sen tavoitteena on estää ja korjata hitsausvirheet mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Hitsaaja tarkastaa hitsauksen jälkeen oman työnsä ja hyväksyy sen tai korjaa, ja vasta sen jälkeen voidaan suorittaa mahdolliset lopputarkastukset, esim. NDT -menetelmillä. (Lepola & Makkonen, 2005, s. 55–56.)

### 7.7 Seuranta ja kehittäminen

Käsinhitsauksen mekanisointiprojektissa seurataan samoja asioita kuin muissakin projekteissa. Määriteltyjä aikatauluja hitsaussolun uudelleen järjestämiselle sekä uusien laitteiden asennukselle seurataan jatkuvasti. Tuotannon käynnistyessä seurataan saavutetaanko koneilta ja laitteilta sovittua tuotantomäärää, kehittyvätkö tuotteiden työajat suunnitelman mukaisesti, sekä saavutetaanko suunniteltu laatu. Mahdolliset poikkeamat korjataan, sekä seurantaa jatketaan entistä tiiviimmin. Investointilaskelmien paikkansapitävyys voidaan tarkistaa vertaamalla vanhaa tuotantoa nykyiseen tuotantoon, jossa tulee tietää hitsaussolun investointi- ja käyttökustannukset, materiaalikustannukset, sekä toteutunut myynti. (Kara & Rajamäki, 1983, s. 40.)

## 8 CASE FIROTEC ASIAKKAIDEN HITSAUSSOLUT

### 8.1 Lähtökohdat ja tavoitteet

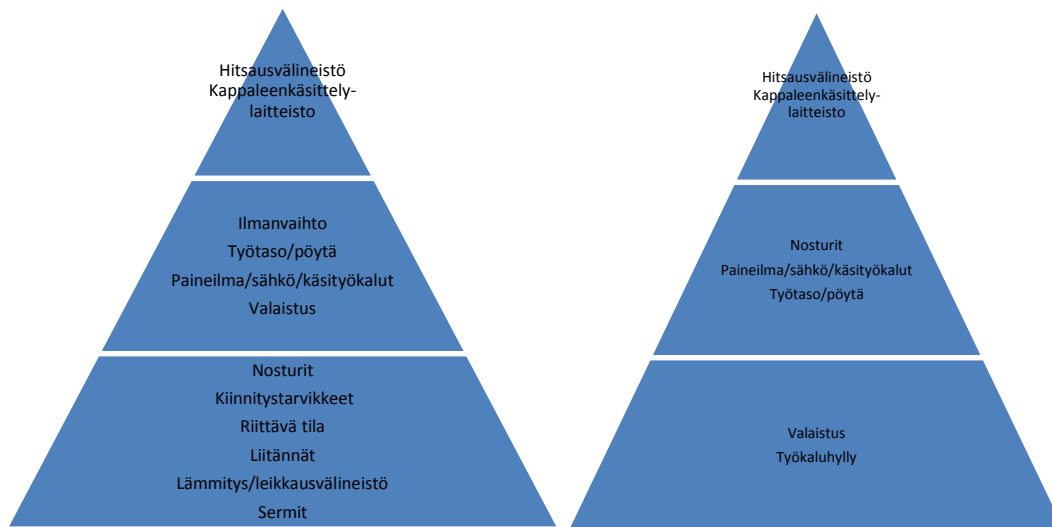
Osana diplomityötä kartoitettiin Firotec Oy:n eräiden asiakkaiden tuotantoa, kappaleenkäsittelijällä tapahtuvaa hitsausta, materiaalivirran kulkua hitsaussolussa, hitsattavien kappaleiden kiinnitystä sekä hitsaussolun sisältöä. Kartoitus suoritettiin kyselyn muodossa, johon vastasivat sekä hitsaajat että hitsaustuotannon esimiehet. Hitsaajien osalta keskityttiin enemmän heidän omaan hitsaukseen, sekä heillä tuli olla kokemusta ennen ja jälkeen kappaleenkäsittelijän käyttöä. Esimiehiltä kysyttiin yleensä yrityksessä tapahtuvasta hitsauksesta, sekä tarkemmin käsin suoritettavan hitsauksen kustannuksista ja laadusta. Kyselyyn valittiin kuusi yritystä, taulukko 3, joiden tuotteet vaihtelivat pienistä hitsattavista osista suuriin kone- ja prosessilaittekokonaisuuksiin. Tavoitteena oli saada tuloksia kuinka kappaleenkäsittelylaitteet ovat parantaneet yritysten hitsauksen tuottavuutta, laatua, taloudellisuutta, työergonomiaa ja turvallisuutta. Lisäksi tarkoituksena oli saada ideoita kuinka kappaleenkäsittelylaitteita ja asiakkaan hitsaavaa tuotantoa olisi mahdollista kehittää.

*Taulukko 3. Kartoitukseen osallistuneet yritykset.*

Yritys	Tuotteet	Paikkakunta	Käsittelylaitteet (Firotec Oy:n tuotemerkit)
A	Hitsaus/ kaivoskulkuneuvojen rungot	Iisalmi	8000HHT x2, 8000HTT
B	Hitsaus/ mm.puomistot	Outokumpu	4000HHT-LOW x1, 2500HHT-LOW , 800-HHT x2
C	Hitsaus/kokoonpano/ hytit	Kurikka	2500HHT-LOW x3, 2500HHT x3, 1000LTT, 800LTT x3, 800HHT x4
D	Hitsaus/ savupiippurakenteet	Vöyri	RN6, RN10 useita
E	Hitsaus/ Kokoonpano/ Harvesterinpää	Outokumpu	800HHT, 2500HHT, 1000LTT, 1500LTT useita
F	Hitsaus/ kaivos- ja rakennuskoneet sekä laitteet	Outokumpu	RN6, RN10, 8000HHT, 800HHT

## 8.2 Asiakkaiden hitsaussolut

Asiakkaiden hitsaussolut oli järjestetty materiaalin ja tuotantovirran mukaisesti. Samaa hitsaussolua käytti saman vuoron aikana 1-2 henkilöä, kappaleenkäsittelypöydällä varustetussa solussa työskenteli yleensä yksi henkilö vuorossaan ja rullastolla varustetussa solussa työskenteli kaksi henkilöä vuorossaan. Esimiehet pitivät tärkeimpänä avainasioina hitsaussolussa hitsausvirtalähdettä, kappaleenkäsittelylaitetta, materiaalin siirtovälineistöä, sekä tarvittavia aputyökaluja, kuten hiomakoneita ja lämmitys/leikkauspillejä. Hitsaajat pitivät samoja asioita tärkeinä, mutta tarkensivat lisäksi hitsaussoluun kuuluvaksi riittävän tilan hitsaamiseen, puhtaan ympäristön, hyvän ilmanvaihdon, valaistuksen sekä toimivan paineilma-verkoston, kuva 29.



Kuva 29. Hitsaussolun tärkeimmät asiat tärkeysjärjestyksessä, hitsaajien vastaukset vasemmalla ja hitsaustuotannon esimiesten oikealla.

Esimiehiltä kysyttiin myös eri osa-alueiden merkityksen muuttumista tulevaisuudessa hitsaussoluissa. Taulukossa 4 on kahden eri yrityksen (A ja E) esimiesten vastaukset. Yleisesti pidettiin tärkeimpänä nykyisin hitsaajien ammattitaitoa, tuottavuutta, työn mielekkyyttä, laatua sekä työturvallisuutta. Tulevaisuuden merkitys oli hyvin vaihteleva eri yrityksissä, mutta yleisesti pidettiin tulevaisuudessa tärkeinä laatua ja tuottavuutta. Työturvallisuuden merkityksen parantuminen ei vielä näkynyt kuin yhdessä yrityksessä. Useimmat yritykset uskoivat hitsauksen siirtyvän enemmän robottihitsaukseen.

*Taulukko 4. Eri osa-alueiden merkityksen muuttuminen hitsaussoluissa, tärkeyden arvostelevina 1-12, 1 tärkein jne. Vasemmalla yritys A:n ja oikealla yritys E:n vastaukset.*

Osa-alue	Merkitys nyt	Merkitys tulevaisuudessa	Osa-alue	Merkitys nyt	Merkitys tulevaisuudessa
Hitsaajien ammattitaito	1	8	Hitsaajien ammattitaito	1	1
Materiaalinsiirto	7	10	Materiaalinsiirto	7	7
Läpimenoaika/ tuottavuus	3	4	Läpimenoaika/ tuottavuus	2	3
Työn mielekkyys	2	2	Työn mielekkyys	4	5
Työturvallisuus	5	1	Työturvallisuus	5	6
Tuotteen laatu	8	3	Tuotteen laatu	3	2
Kappaleenkäsittelijälaite	9	7	Kappaleenkäsittelijälaite	9	9
Virtalähteen ominaisuudet	10	6	Virtalähteen ominaisuudet	10	10
Kustannustehokkuus	11	9	Kustannustehokkuus	6	4
Kyky muuntautua erilaiseen tuotteeseen	12	11	Kyky muuntautua erilaiseen tuotteeseen	8	8
Tukitehtävät	4	12	Tukitehtävät	12	12
Kappaleen kiinnitys	6	5	Kappaleen kiinnitys	11	11

### 8.3 Materiaalivirta asiakkaiden hitsaavassa tuotannossa

Asiakkaiden tuotannot olivat hyvin erilaisia ja myös materiaalivirta tapahtui eri tavalla. Hitsattavat osat siirtyivät esim. varastosta, koneistuksesta tai silloituksesta hitsaussoluihin joko käsin, haarukkavaunuilla, trukeilla tai siltanostureilla. Tavaroiden tuonnista soluihin ja viennistä eteenpäin vastasi joko itse hitsaaja, varastomies tai kerääjä. Riippuen osien koosta osat olivat joko irrallaan, lavoilla tai valmiiksi hitsauskiinnittimissä. Tavaroiden siirto kappaleenkäsittelijään ja siitä pois tapahtui käsin, puominosturilla tai siltanosturilla. Hitsaajat ja heidän esimiehensä näkivät seuraavia kehityskohteina materiaalin siirrossa:

- Puominostureiden ja nostureiden parempi sijoittelu
- Varaston ja työpisteiden välillä logistiikkaa ja keräilyä hoitaisi erikseen henkilö (keräilijä)
- Yleensä hitsattavat osat olisivat valmiiksi kerätty yhteen paikkaan
- Nosturikapasiteetin lisäystä
- Parempi tuotantolayout
- Tarkat odotus- ja varastoalueet

Yrityksissä ei ollut käytössä tavaroiden siirtoon varastojen ja työpisteiden välillä paletti- ja rullaratoja eikä yksikisko- tai kevytnostojärjestelmiä, eikä niitä tullut esiin kehityskohteinakaan. Ne selventäisivät odotusalueita ja yleensä logistiikkaa, mutta vaatisivat layoutin läpikäyntiä sekä rahallista investointia. Esimiehet pitivät niitä hyvinä ideoina mietittäessä layoutia uudelleen.

#### 8.4 Kappaleiden kiinnitys yrityksissä ja sen kehittäminen

Kohdeyrityksissä kappaleet kiinnitetään suoraan kappaleenkäsittelijöihin yleensä käyttäen ruuvikiinnityksiä, kierretankoja, kiinnityspaloja ja lestirautoja. Osassa yrityksiä käytetään myös kiinnityslevyä, joka kiinnitetään ruuveilla pöytään kiinni ja itse kappale silloitetaan kiinnityslevyyn. Kokoonpanokiinnitintä käytetään hyödyksi vaikeissa kappaleissa, jolloin hitsauskiinnitin kiinnitetään ruuveilla pöytään ja hitsattava kappale on kiinni hitsauskiinnittimessä erilaisin mekaanisin puristimin ja ruuvein. Koneistuskiinnitintä on kokeiltu myös hitsauskiinnittimenä ennen sen asennusta koneistuskeskukseen, mutta tämä vaihtoehto on kuitenkin todettu liian raskaaksi ja vaikeaksi vaihtoehdoksi.

Kiinnitysvaihtoehdot:

- Ruuvikiinnitys, kierretanko, lestirauta
- Pneumaattiset/ hydrauliset sylinterit
- Kokoonpanokiinnitin
- Koneistuskiinnitin
- Palettikiinnitys
- Silloitus kiinnityslevyyn
- Kiinnityspalat
- Mekaaniset pikakiinnittimet

Hitsaustuotannon esimiehet toivoivat kappaleenkäsittelijöitä valmistavalta yritykseltä vaihtoehtoja kiinnitykseen. Kiinnityksen suunnittelu tulisi huomioida jo kappaleenkäsittelyä hankittaessa. Pöytälevyä voidaan muuttaa kappaleelle sopivaksi esimerkiksi muuttamalla kokoa ja muotoa sekä varustamalla kierrereikiä ja lisäuria lisää.

## 8.5 Asiakkaan hitsaavan tuotannon kehittäminen

Yritysten hitsaussoluja olisi hyvä tarkastella laajemmin, että kaikki perusasiat olisivat kunnossa ja kaikkien hitsaajien saatavilla. Hitsaussolujen eteen kerääntyi joissain yrityksissä joko hitsattavia tai hitsattuja kappaleita, jolloin esimiesten mukaan, erillinen kerääjä tai varastomies olisi parempi vaihtoehto sisäisen logistiikan hoitoon kuin hitsaaja itse, mikäli tuotannon layout on kunnossa eikä erillisiin siirtojärjestelmiin haluta investoida. Kappaleiden kiinnitykseen yritysten tulisi kiinnittää huomiota seuraavissa asioissa jo kappaleenkäsittelylaitetta hankittaessa:

- Minkälaisia muotoisia kappaleita hitsataan?
- Missä sijaitsevat kappaleen hitsit?
- Mikä on hitsausjärjestys?
- Mitkä ovat mahdollisia kiinnityspisteitä?
- Mikä on seuraava tuotantovaihe?
- Mikä kiinnitysmenetelmä olisi turvallisin?
- Mikä kiinnitysmenetelmä on tuotantoystävällisin? Kuten sopivuus muille hitsattaville kappaleille, kiinnityksen nopeus ja helppous tai kiinnitys ei ole hitsauksen suorituksen edessä.

Kappaleenkäsittelylaitteella hitsattavat kappaleet tulevat varmasti muuttumaan erilaisiksi, mutta kerran mietittäessä hyvä kiinnitysmenetelmä erilaisille kappaleille helpottaa seuraavan kappaleen kiinnitysvaihtoehdon valintaa.

Kappaleenkäsittelylaitteissa kohdeyrityksillä oli vahva näkemys minkälaisia parannuksia tulisi tehdä. Nämä on esitetty kohdassa 8.7 Kehityskohteet kappaleenkäsittelijöissä. Kaikissa yrityksissä tehdään alihankintaa jossain muodoissa. Yleisin oli erilaisten levyleikkeiden ja palkkien leikkaus, sahaus ja särmäys. Osassa tehtiin yksinkertaisia eikä laatuvaatimuksiltaan kovin vaativia kappaleita alihankintana. Näissä yrityksissä vaativia kappaleita ei haluta antaa alihankintaan, jotta joustavuus ja niin sanottu hiljainen tieto pysyy yrityksessä. Alussa vaativien kappaleiden valmistus alihankintana tarkoittaa usein myös hitsaajan tai hitsauskoordinoijan lähettämistä opettamaan kyseisen alihankkijan hitsaajat tekemään kappaleen oikein.

Osa yrityksistä perustui projektitoimituksiin, jolloin alihankintaa on pakko käyttää oman valmistuskapasiteetin täytyessä. Näissä alihankintaan annettiin joko suuriakin osakokonaisuuksia, jotka saapuivat yritykseen takaisin tuotannon kokoonpanolinjalle tai sitten erilaisia säiliörakenteita, hoitotasoja sekä kannatusrakenteita pintakäsiteltynä tai muuten pinnoitettuna sekä pakattuina valmiiksi eteenpäin. Näiden yritysten tuotteet ovat projektikohtaisia ja lähes aina suunnitelmiltaan erilaisia kuin edelliset, jonka vuoksi varastoonteko erilaisia osakokonaisuuksia ei voida hyödyntää. Varastoarvotkin nousisivat kohtuuttomiksi tuotteiden kokojen takia. Alihankinnan kautta tieto/taito hitsauksessa siirtyy myös alihankkijalle, mutta tosin tiukan kilpailutuksen ja Suomen korkean hintatason takia tieto/taito usein siirtyy rajan toiselle puolelle.

Projektipajoissa hitsattavat kappaleet vaihtuvat usein eri projekteihin, jonka vuoksi myös tuotantotilat ovat jatkuvan muutoksen alla, sermejä siirrellään ja soluja muutellaan riippuen minkälaisia kappaleita on tulossa hitsaukseen missäkin vaiheessa. Tällöin henkilökohtaisia hitsaussoluja ei ole, vaan hitsaajat työskentelevät eri soluissa. Tällöin tärkeää on valita laitteet hitsaussoluihin niin, että ne ovat helposti siirrettävissä, sekä käsittelypöydät niin, että kiinnitystä lattiaan ei tarvitsisi, kuten normaaleissa 3 – akselisissa käsittelypöydissä.

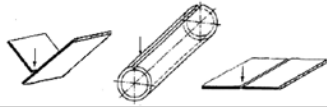
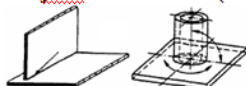




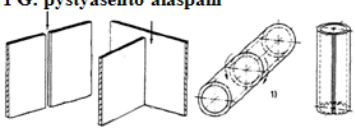
Kontti- tai perävaunuhitsaamo olisi yksi vaihtoehto väliaikaiseen hitsaustuotannon kasvattamiseen, mikäli tuotteet ovat siihen sopivia sekä pullonkauloja muualla konepajan tuotannossa ei tulisi, kuten koneistukseen. Sopiva hitsattava kappale olisi moniulotteinen pienehkö alle 40 kg painava paljon käsityötä vaativa.

## 8.6 Kyselyn tulokset ja niiden analysointi

Siirryttäessä kappaleen käsittelylaitteeseen hitsauksessa kävi ilmi kyselyissä tuottavuuden parantuminen hitsausasentojen muuttumisesta tuottavampiin sekä kaariaikasuhteen parantuminen. Optimiasento mahdollisti myös parempaa laatua. Hitsaajien työskentelyasento muuttui parempaan suuntaan ja hitsaajat itse katsoivat työturvallisuuden kohentuneen käsittelylaitteiden myötä. Nämä yhdessä tarkoittivat myös taloudellisuuden parantumista konepajoissa.

### 8.6.1 Tuottavuuden parantuminen

Tuottavuuden parantuminen käy selville hitsausasentojen muuttumisella vaakaa-, laki- ja pystyasennoista jalko- ja alapiena -asentoihin. Jalko- ja alapienahitsauksessa voidaan käyttää suurempaa hitsausvirtaa, jolloin suuremman langansyöttönopeuden ansiosta hitsiaineentuotto kasvaa ja rakenteiden hitsausaika lyhenee. Kaariaikasuhde paranee, kun työkappaleeseen liittyvät sivuajat lyhenevät kappaleenkäsittelijän myötä, jolloin myös hitsausaika lyhenee. Kaariaikasuhteen parantuminen jo muutamalla prosentilla tuo yritykselle selviä säästöjä työkustannuksissa. Yrityksissä on päästy jalkoasennossa jopa 95 % osuuteen, mutta yleensä kuitenkin hitsausasennot ovat yhteensä yli 90 % jalko- ja alapiena -asunnoissa riippuen tuotteesta. Tämä tarkoittaa käsinhitsauksessa erittäin suurta säästöä hitsausajan lyhentymisen kautta tapahtuvassa työkustannusten pienenemisessä. Yhdellä yrityksellä oli vielä hyvässä muistissa ilman kappaleenkäsittelijää tapahtuneet hitsaukset, kuva 30. Yrityksessä on päästy eroon pysty- ja vaakaa-asennoista tuottavampiin jalkoasentoihin.

Hitsausasento	Ilman kappaleenkäsittelijää (%)	Kappaleenkäsittelijän avulla (%)
PA: jalkoasento 	5 20 80	20 55 90
PB: jalko -vaaka-asento (alapiena-asento) 	80 60 15	80 35 10
PC: vaaka -asento 	5 10 0	0 5 0
PD: vaaka -lakiasento (yläpiena-asento) 	0 0 0	0 0 0
PE: lakiasento 	0 0 0	0 0 0
PF: pystyasento ylöspäin 	5 10 5	0 5 0
PG: pystyasento alaspäin 	5 0 0	0 0 0
	yht. 100%	yht. 100%

Kuva 30. Yhden yrityksen 3 hitsaajan arviot miten hitsausasennot ovat muuttuneet hitsattaessa kappaleenkäsittelijällä. Eri hitsaajien arviot eri väreillä. Jokainen hitsaaja hitsaa eri metsäkoneen osia.

### 8.6.2 Laadun parantuminen

Epäjatkuvuudet hitsissä tai poikkeamat hitsin muodossa heikentävät liitoksen kestävyyttä tai muita ominaisuuksia, mistä syystä pyritään yleensä mahdollisimman virheettömään hitsaukseen. Kappaleenkäsittelylaitteet mahdollistavat hitsaamisen optimiasennossa, jolloin on helpompaa käyttää esim. oikeaa kuljetustekniikkaa, suunnata lisäaine oikein, määrittää oikea kuljetusnopeus tai hitsata levityslieki oikein. Kyselyiden perusteella kappaleenkäsittelijän avulla tapahtuva hitsaus vähentää virheitä ja yritysten hitsaajat ja hitsaustuotannon esimiehet painottivat etenkin hitsien tasalaatuisuutta, hyvää ulkonäköä, sekä reunahaavojen,

liitosvirheiden että kateetipoikkeamien vähentymistä. Esiin tuli myös hitsien tasaisuus ja lujuuden parantuminen. Laadun parantuminen vaikutti yrityksissä myös korjaushitsausten ja hylkäysten vähentymiseen. Luotettavien lukuarvojen määrittäminen on erittäin vaikeaa, sillä määriä ei ole kirjattu ylös. Arviot liikkuvat 10–20% välillä.

Seuraavia virheitä huomattiin vähentyneen hitseissä:

- Reunahaava
- Aloitus- ja lopetuskohdat
- Valumat
- Liittymä perusaineeseen, parempi lujuus
- Kateetipoikkeamat
- Liitosvirheet
- Tasalaatuiset hitsit, ulkonäkö

### 8.6.3 Taloudellisuuden parantuminen

Tuottavuuden ja laadun parantuminen merkitsee myös hitsauskustannusten alentumista eli taloudellisuuden parantumista. Työkustannusten pienentymisellä parantuneiden hitsausasentojen ja kaariaikasuhteen myötä on suurin vaikutus taloudellisuuteen. Työajan pienentymisen ansiosta tuotteen läpimenoaika lyhenee, tuotteesta riippuen noin 20 -30 %. Tuotosten määrä kasvaa ja tuotteen hintasuhde paranee, jonka vuoksi liiketoiminta on entistä kannattavampaa. Korjausten ja hylkäysten vähentyminen vaikuttaa laatuksitteluun ja sitä kautta myös liiketoiminnan kannattavuuteen. Hankittaessa kappaleenkäsittelylaitetta yrityksessä mietitään etenkin kustannuksien pienentymistä.

### 8.6.4 Ergonomian ja työturvallisuuden parantuminen

Hitsaajien työasennot ovat helpottuneet, sillä korkeuden säätö kappaleenkäsittelypöydissä mahdollistaa esim. hitsauksen istualtaan, jolloin jalat lepäävät, sekä selkää rasittamattoman työasennon seisaaltaan. Kurkottaminen ja matalalla työskentely on vähentynyt. Savunpoisto helpottuu ja kuumuus vähenee. Vaaralliset nostot ja käännöt ovat vähentyneet sekä

nostureiden varassa hitsaus on vähentynyt. Ergonomian parantumista ei mietitä juurikaan kappaleenkäsittelijää hankittaessa. Vasta hitsaavan tuotannon käynnistyessä kappaleenkäsittelijässä hitsaajat kommentoivat omia kokemuksiaan ergonomian parantumisesta. Työturvallisuus parantuu, kun kappaleiden käsittely tapahtuu turvallisesti hitsaussolussa.

### 8.7 Kehityskohteet kappaleenkäsittelijöissä

Yrityksiltä tuli paljon erilaisia kehitysehdotuksia kappaleenkäsittelijöihin. Suomalaiset tuotteet nähtiin yleisesti luotettavina ja kestävinä ratkaisuin, mistä kertoo myös vähäinen varaosien menekki. Yleisesti kiinnitykseen haluttiin valmiita ratkaisuja sekä pöytälevyyn erilaisia vaihtoehtoja. Seuraavia kehityskohteita tuli esiin eri yrityksiltä:

- Suurempi pyöritys-, nosto- ja kallistusnopeus
- Pöydät matalammiksi
- Ohjelmointi sarjatuotantoon
- Pyörityspöytä kaatunut nokalleen ylikuorman takia → momenttivaaka
- Pyöritettävä kappale osuu hitsaajaan
- Johdollisen kaukosäätimen johdot menevät poikki → johdoton kaukosäädin
- Kääntökulmien suurentaminen
- Muotoilu
- Tuotekehitys
- Lähelle pääsy
- Kierreikiä pöytälevyyn
- Erikokoisia pöytälevyjä
- Vetohammaspyörä kulunut (korjattu nykyisin hampaiden pintakarkaisulla)
- Enemmän kappaleen kiinnitysvaihtoehtoja

## 8.8 Kontti- ja perävaunuratkaisu

Konepajojen väliaikaiseen hitsauskapasiteetin kasvuun tai työmaan väliaikaiseksi hitsauspaikoiksi on tarjolla rekan perävaunuun tai merikonttiin tehty hitsaamo. Perävaunu sisältää normaalisti 8 hitsaussolua varusteineen ja laitteineen, hitsien testialueen ja toimistohuoneen. Jokaisessa hitsaussolussa on omat kohdeilmapoistot. Hitsaussolut varustellaan vain tarpeen mukaisesti. Perävaunun leveys on noin 2,59 m sekä pituus 16 m. Merikontin leveys on myös 2,59 m sekä pituus riippuen kontista, yleensä 6 tai 12 m. Hitsaussolujen määrä riippuu hitsattavien kappaleiden koosta, mutta usein asennusyrityksien merikontit sisältävät vain yhden hitsauspaikan. Edullisen hinnan takia merikontteja käytetään paljon asennustyömailla varastoina, tulityöpaikkoina ja taukopaikkoina. Rekan perävaunuun tehty väliaikainen hitsaamo on nykypäivää Yhdysvalloissa, kuva 31, mutta Suomeen se ei ole vielä kantautunut.



Kuva 31. Kansainvälisen hitsaustarvikkeiden ja palveluiden vuokrausyrityksen Red-D-Arcin hitsaamoksi varustelema rekan perävaunu (Red-D-Arc, 2014).

## 9 CASE FIROTEC HITSAUSKOE

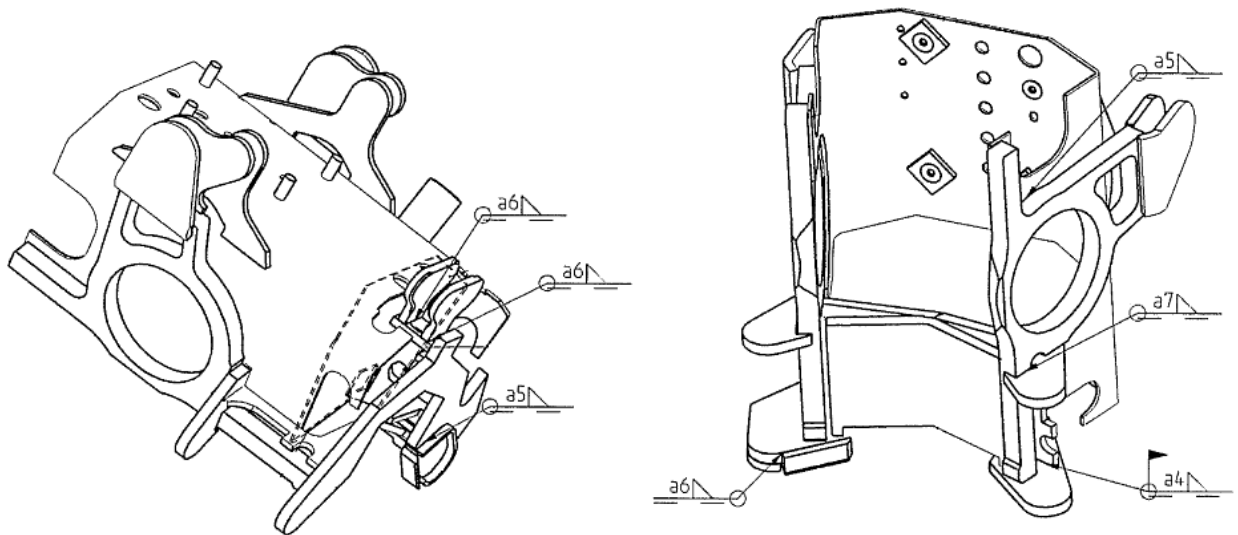
Hitsauskokeen tarkoituksena oli saada luotettavat tulokset siitä kuinka hitsauksen tuottavuus, työergonomia ja laatu muuttuvat hitsauksessa siirryttäessä työpöydältä kappaleenkäsittelypöytään. Hitsauskokeeseen valitun kappaleen piti soveltua myös työpöydällä tapahtuvaan kappaleenkäsittelyyn sekä käsin että nosturilla. Kokeen suorituspaikaksi valittiin harvesteripäitä valmistava yritys, jonka tuotevalikoimasta löytyi kokeeseen soveltuva kappale: harvesteripään keskirunko H754. Monimuotoista keskirunkoa oli aikaisemmin hitsattu myös työpöydällä ja se sisälsi paljon hitsejä ympäri kappaletta. Tuottavuutta mitattiin kaariajalla, työajalla ja kaariaikasuhteella. Työergonomian ja työturvallisuuden muuttumista tarkasteltiin videolta sekä haastatteleamalla hitsaajaa. Hitsauksen jälkeen kaikille kappaleille suoritettiin silmämääräinen tarkastus, jossa laadun muuttuminen kävi ilmi.

### 9.1 Hitsauskokeen perustiedot

Hitsauskokeen hitsaaja on toiminut keskirunkojen hitsaajana yrityksessä jo useiden vuosien ajan. Hitsaajan pätevyysalue kattaa hitsauskokeen vaatimukset, kuten liitosmuodot, hitsausasennot, lisäaineet, hitsausprosessin jne. Hitsaussoluksi valittiin hitsaajan oma solu, jotta työympäristö olisi mahdollisimman tuttu hitsaajalle. Kokeen valvojina toimivat kokeen järjestäjä sekä yrityksen hitsauskoordinoija. Kappaleenkäsittelijälaitteeksi valittiin hitsaussolussa valmiina ollut New Firon käsittelypöytä 2500 HHT-Low. Käsittelypöytä on 3 - akselinen, jolloin se sisältää kappaleen kallistuksen ja pyöriksen lisäksi myös korkeuden säädön. Keskirunkoa hitsattiin kolmen kappaleen sarja ensin käsittelypöydässä ja sen jälkeen toinen kolmen kappaleen sarja työpöydällä. Käsittelypöydässä hitsattavat kappaleet kirjattiin numeroilla 1202–1204, ja työpöydällä hitsatut numeroilla 1205–1207. Hitsausarvojen luotettavaan taltiointiin sekä analysointiin käytettiin Kempin Arc System -laitteistoa sekä Arc Timer kaariaikakelloa.

### 9.1.1 Keskirunko H754

Keskirungot H754 olivat valmiiksi silloitettu, jolloin kokeessa huomioitiin ainoastaan varsinainen hitsaus. Keskirungon paino on noin 63,5 kg, ja sen käsiteltävään painoon on laskettava myös kappaleen tukirauta, jonka paino on noin 10 kg. Keskirungon materiaali on erikoislujua rakenneteräslevyä S690QL. Keskirunko H754 on hyvin monimuotoinen, sillä se sisältää paljon erilaisia ulokkeita sekä hitsejä ympäri kappaletta, kuva 32. Hitsien liitosmuotona on pienaliitos, ja kappaleenkäsittelyn mukaan määräytyy hitsausasento. Hitsauskoonpanopiirustuksessa ei kaikkia hitsejä ollut merkitty, kuten kappaleen kotelorakenteeseen käytettäviä hitsejä. Yleismerkinnän mukaisesti hitsattiin merkitsemättömät hitsit.



Kuva 32. Harvesteripään keskirungon H754 hitsien a-mitat.

### 9.1.2 Hitsausvälineet ja hitsausarvot

Hitsausprosessina hitsauskokeessa oli MAG – täytelankahitsaus suojakaasun kanssa. Hitsauslaitteistona hitsauskokeessa oli Kempin FastMig Synergic – sarjan laitteisto; virtalähteenä KMS 400 ja langansyöttölaitteena MSF 55. Laitteistot soveltuvat etenkin raskaaseen ja keskiraskaaseen metalliteollisuuteen. Suojakaasuna käytettiin itse sekoitettua MISON 12:sta ( $\text{Ar} + 12\% \text{CO}_2 + 0,03\% \text{NO}$ ), joka kuuluu ryhmään M21. Suojakaasunkulutus oli noin 20 l/min kaikissa kappaleissa. Lisäainelankana kokeessa oli 1,2

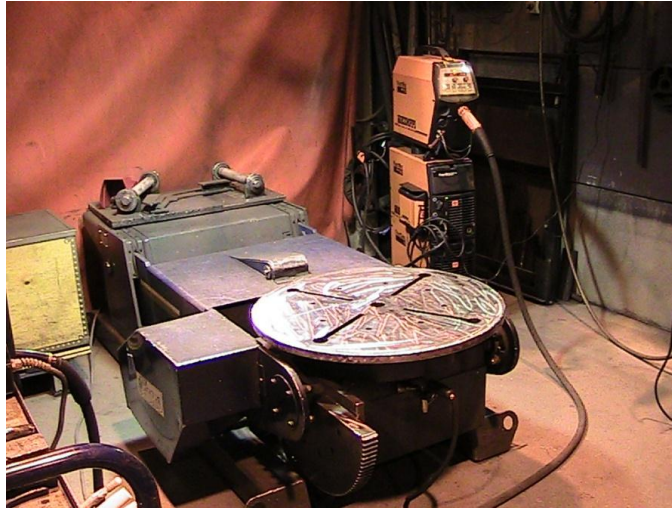
mm halkaisijaltaan oleva metallitäytelanka Elgacore MXA 100XP. Hitsaus tapahtui pääasiassa kuumankaaren alueella ennalta ohjelmoidun synergiakäyrän avulla. Käyrän hitsausjännitteenä oli 28,5 V, langansyöttönopeutena 8,8 m/min ja hitsausvirtana noin 250 A.

### 9.1.3 Mittausvälineet

Tarkan kaariajan sekä hitsausarvojen tallentamiseksi hitsaustapahtumien tiedot kerättiin luotettavasti talteen. Koe aloitettiin asentamalla Kempin Arc System yhteen FastMig – virtalähteeseen mittauslaitteen toiminnan varmistamiseksi. Laitteisto kerää hitsausvirtalähteestä hitsausarvot talteen ja lähettää ne langattomasti tukiasemalle, josta tiedot välittyy Ethernet – verkkoyhteyden kautta Kemppi Arc System -palvelimelle, josta tietoja voidaan tarkastella ja analysoida. Myöhemmin laitteiston mittauspää asennettiin koehitsauksessa käytettävään virtalähteeseen. Samalla virtalähteen maakaapeliin liitettiin kaariajan varmistamiseksi myös Kempin Arc Timer -kaariaikakello, joka mittaa kaariaikaa kaapelissa kulkevan hitsausvirran avulla tunteina ja tunnin sadasosina. Tärkeimpinä kerättävinä tietoina hitsauskokeessa olivat kaariaika, hitsausaika, hitsausvirta, kaarijännite ja langansyöttönopeus.

## 9.2 Hitsaus kappaleenkäsittelylaitteessa

Keskirunkojen hitsaus aloitettiin käsittelypöydässä keskirungolla 1202, ja käsittelypöydällä hitsattiin myös kappaleet 1203 ja 1204. Työ kirjattiin aloitetuksi, kun keskirungon nosto aloitettiin lavalta käsittelypöydälle ja lopetetuksi, kun valmis kappale nostettiin takaisin lavalle. Tarkan työajan määrittämiseksi hitsaaja täytti laadittuun lomakkeeseen työn keskeytykset, niiden syyt sekä ajat. Kappaleet 1202–1204 on esitetty liitteessä 1. Käsittelypöydässä kappale liikuteltiin aina parhaimpaan mahdolliseen hitsausasentoon, joko jalko- tai alapiena – asentoon. Käsittelypöydällä hitsatuissa kappaleissa ainoastaan 1203:ssa oli hieman rakoja korvakkeissa, sekä molempien sivulevyjen ja sivutukien välissä. Tämä tarkoitti lähinnä pidempää kaariaikaa rakojen täyttöjen takia, mutta muuten kaikki kolme kappaletta oli virheettömiä silloituksen jälkeen. Kuvassa 33. on esitetty hitsauskokeessa käytetty 3-akselinen käsittelypöytä 2500-HHT-Low sekä FastMig Synergic – sarjan hitsauslaitteisto.



Kuva 33. Hitsaussolun käsittelypöytä sekä hitsausvälineistö.

### 9.3 Hitsaus työpöydällä

Keskirunkojen hitsaus työpöydällä aloitettiin kappaleella 1205, jota seurasivat kappaleet 1206 ja 1207. Kuten pyörituspöydällä niin myös työpöydällä tapahtuneet keskeytykset kirjattiin lomakkeeseen, kappaleet 1205–1207 liitteessä 2. Hitsaaja käytti kääntelyissä apuna puominosturia, sekä jalko- ja alapiena –asentojen saavuttamiseksi erilaisia tukirautoja keskirungon alla. Kappaleissa 1206 ja 1207 oli samalla tavalla rakoa korvakkeissa, sekä molempien sivulevyjen ja sivutukien välissä kuin käsittelypöydällä hitsatussa 1203:ssa. Kuvassa 34. on esitetty hitsauskokeessa käytetty työpöytä.



Kuva 34. Hitsaussolun työpöytä.

#### 9.4 Tulokset

Keskirunkojen kaariaika, hitsausvirta, hitsausjännite ja langansyöttönopeus on saatu suoraan Arc System Excel – raportoinnista, Excel- tiedosto on liitteenä 3. Molemmista tiedonkeruulaitteista saadut kaariajat olivat melkein samat, mutta Arc System laitteiston arvot olivat hieman tarkemmat. Taulukossa 5 on esitetty kappaleenkäsittelypöydässä hitsattujen keskirunkojen arvot. Kaariaikasuhde on laskettu hitsaajan kirjaaman työajan ja mitatun kaariajan perusteella. Hitsausvirran, hitsausjännitteen ja langansyöttönopeuksien keskiarvojen erot synergiakäyrän (28,5V, 250A, 8,8 m/min) perusarvoihin selittyvät jokaisessa hitsissä käytettävillä lopetuksilla, jolloin kyseiset arvot pienentyvät huomattavasti. Kappaleenkäsittelypöydässä tapahtuvassa hitsauksessa kaariaikasuhde päästiin selvästi yli odotusten, noin 30 %:in, joka on erittäin hyvä arvo käsinhitsaajalle, etenkin hitsatessa näin monimuotoista ja pieniä hitsejä täynnä sisältävää kappaletta. Keskirunkon 1203 pidentynyt kaariaika selittyy korvakkeiden ja sivulevyjen raoilla. Työaika oli pidentyneestä kaariajasta huolimatta pienin. Järjestyksessä 1203 oli sarjan viimeinen pyörityspöydällä, joka selittää hieman pienempää työaika.

*Taulukko 5. Kappaleenkäsittelypöydässä hitsattujen keskirunkojen arvot.*

Keskirunko	Kaariaika (min)	Työaika (min)	Kaariaikasuhde (-)	Hitsausvirta ka (A)	Hitsausjännite ka (V)	Langansyöttönopeus ka (m/min)
1202	43,9	150	0,293	195	24,0	7,3
1203	47,5	145	0,327	201	24,4	7,4
1204	43,9	160	0,274	195	24,1	7,4
1202–1204 ka	45,1	151,7	0,298	197	24,1	7,4

Työpöydällä tapahtuvassa hitsauksessa kaariaikasuhde laski selvästi pidentyneen työajan takia, mutta silti kaariaikasuhde pysyi yllättävän korkealla, 23,2 %:ssa. Taulukossa 6 on esitetty työpöydällä hitsattujen keskirunkojen arvot. Keskirunkojen 1206 ja 1207 korvakkeissa ja sivulevyissä esiintyi rakoja ja näiden täytön vuoksi kaariaika nousi hieman.

*Taulukko 6. Työpöydällä hitsattujen keskirunkojen arvot.*

Keskirunko	Kaariaika (min)	Työaika (min)	Kaariaikasuhde (-)	Hitsausvirta ka (A)	Hitsausjännite ka (V)	Langansyöttönopeus ka (m/min)
1205	44,3	205	0,216	198	24,5	7,7
1206	51,3	215	0,239	185	23,9	7,3
1207	54,2	225	0,241	185	23,4	7,1
1205–1207 ka	49,9	215	0,232	189	23,9	7,4

#### 9.4.1 Työergonomia ja työturvallisuus

Työn mielekkyyden kannalta hitsaaja katsoi työpöydällä tapahtuvan hitsauksen selvästi rasittavammaksi. Syynä tähän olivat työskentely erilaisilla tasoilla, työskentely koko ajan seisaaltaan, kurkottaminen ja kappaleen käsillä pyörittäminen. Käsittelypöydän kallistuksella, pyörittämisellä ja korkeudensäädöllä saadaan kappale käännettyä parhaaseen asentoon, jolloin hitsaus on paljon mielekkäämpää. Työturvallisuuden kannalta työpöydällä tapahtuneet kääntelyt ja nostot vaativat hitsaajan mielestä erityistä huomiota, jottei käsi tai muu raaja jäisi puristuksiin kappaleen alle. Kaikkein vaarallisimpana hitsaaja piti hitsauksen lämmöntuonnista aiheutunutta metallien kuumenemistä, jolloin hitsien ympäristöä oli varottava käsiteltäessä kappaletta toisiin asentoihin. Palovamman estivät työpöydällä hitsatessa muutaman kerran hitsauskäsineet. Kappaleen ollessa kiinni käsittelypöydässä ei hitsaajan tarvitse käsitellä kappaletta käsin, jolloin kappaleen käsittelystä, kaatumisesta tai putoamisesta johtuvaa vaaraa ei ollut. Hitsaajan mielestä hitsauskaasuista ei aiheutunut samanlaista haittaa käsittelypöydällä kuin työpöydällä hitsattaessa: hyvän työasennon myötä voidaan hitsata ilman, että kaasut tulisivat suoraan hitsauskypärän eteen.

#### 9.4.2 Laatu

Kaikille keskirungoille suoritettiin silmämääräinen tarkastus, joista laadittiin tarkastuspöytäkirjat. Lisäksi hitsaaja arvioi mahdollisia virheitä sekä niiden syitä. Hitsaajan mielestä laadullisia ongelmia ei syntynyt liitosten hitsausasentojen takia, sillä työpöydälläkin päästiin jalko- ja alapiena –asentoihin nosturin ja tukirautojen avulla. Laadullisia ongelmia hitsaaja katsoi tulevan huonoista työasunnoista, kuten kurkottamisen takia. Mahdollisiksi virheiksi hitsaaja katsoi kateettipoikkeamat ja jyrkät liittymiset. Silmämääräinen tarkastus

suoritettiin yleis- ja kohdevalaistuksessa erilaisten apuvälineiden avulla. Tarkastuksen suorittivat kokeen järjestäjä ja yrityksen hitsauskoordinoija. Kappaleenkäsittelypöydässä hitsatuissa keskirungoissa esiintyi ainoastaan liian pientä a-mittaa. Löydetyt vajaat a-mitat pysyivät alle vaaditun hitsiluokan maksimivirhekoossa, eli kaikki käsittelypöydällä hitsatut keskirungot 1202–1204 täyttivät vaatimukset eikä korjaavia toimenpiteitä täytynyt suorittaa. Työpöydällä hitsatuissa keskirungoissa esiintyi selvästi enemmän virheitä; liian pientä a-mittaa, jyrkkää liittymistä, kateettipoikkeamaa, avointa imuonteloa ja roiskeita. Osa virheistä tiputti keskirunkojen 1205 ja 1206 hitsiluokan C:stä D:hen, sekä yksi kateettipoikkeama oli niin suuri 1206:ssa, että se ei täyttänyt enää minkään hitsiluokan vaatimuksia. Keskirungoille 1205 ja 1206 jouduttiin suorittamaan korjaavia toimenpiteitä, jotta C-luokan vaatimukset täyttyisivät.

#### 9.4.3 Hitsauskustannukset

Kaariajan pysyessä samana on selvää, että lisäaineen, energian ja suojakaasun kustannukset eivät muutu. Muutokset syntyvät työssä sekä koneen käytöstä. Suomalaisen konepajan hitsaaja maksaa yritykselle kaikkine kuluineen noin 25 – 35 EUR/h, laskennassa voidaan käyttää 25 EUR/h. Hitsauskoneen tuntihinnaksi voidaan laskea 2,4 EUR/h, taulukon 2 kaavasta

$$H_{KT} = (13000 \times (\frac{1}{5} + \frac{3}{2 \times 100}) + 1500) \times \frac{1}{1760} = 2,44 \text{ EUR/h. Yhteensä tuntihinnaksi saadaan}$$

27,4 EUR/h. Kappaleenkäsittelijällä työaika oli 29,3% nopeampaa ( $\frac{215 - 152}{215} \times 100 = 29,3\%$ ),

joten vuotuisesti säästö saadaan 14 129 EUR ( $220 \text{vrk} \times 8 \text{h} \times 27,4 \text{EUR/h} \times 0,293 = 14129 \text{EUR}$ ). Kolmeakselisten käsittelypöytien hinnat alkavat noin 8000 EUR ALV 0%, joiden maksimikäsittelypainot ovat tällöin 750 – 1000 kg. Seuraava kokoluokka on noin 2000 – 3000 kg riippuen valmistajasta, ja niiden hintaluokat ovat 13000 – 20000 euron välillä. Kokeessa ollutta kappaletta voidaan helposti käsitellä 750 – 1000 kg käsittelylaitteessa, jolloin käsittelylaite maksaa yritykselle takaisin reiluun puoleen vuoteen.

## 9.5 Johtopäätökset hitsauskokeesta

Kappaleenkäsittelypöydän hyödyt ovat hitsauskokeen perusteella kiistattomat hitsattavissa kappaleissa, joita pystytään käsittelemään hyvin työpöydissäkin. Keskirungon hitsauksen tuottavuuden kannalta suurin hyöty syntyi työajan pienentymisessä, sillä keskiarvoltaan 29,4 % pienempi työaika on selvää säästöä yrityksen työkustannuksissa. Yksinkertaistettuna se mitä yrityksessä ennen hitsattiin kolmella työntekijällä, voidaan käsittelypöytien avulla hitsata nykyisin kahdella. Työpöydässä hitsatessaan hitsaaja tekee koko ajan työtä, mutta kappaleiden käsittely vie paljon enemmän aikaa kuin käsittelypöydässä. 28,4 % parantunut kaariaikasuhde on suoraan seurausta työajan lyhenemisestä. Kaariajan kasvaminen työpöydissä selittyy osaltaan eri rakojen täytöistä, mutta myös hitsauskokeen aikana suoritetuista korjaushitsauksista, sillä hitsausasennot eivät juuri kokeen aikana muuttuneet, jolloin myös kaariajan tulisi olla lähellä toisiaan. Kaariajan pysyessä lähes samana johtuu työajan lyhentyminen hitsaustuotannon, työkappaleen ja hitsausmenetelmään liittyvien sivuaikojen lyhentyneisyydestä, kuten kappaleenkäsittelystä ja roiskeiden poistamisesta. Suurissa kappaleissa käsittelyn vaikeutuessa kaariajan kasvu on huomattava, kun hitsausta ei voida suorittaa enää tuottavissa asennoissa. Hitsausvirran ja –jännitteen pienentymistä työpöydällä voidaan selittää kasvaneella hitsien määrillä, jolloin lopetuksia on tullut enemmän. Taulukossa 7 on esitetty työpöydän ja kappaleenkäsittelypöydän erot mitatuissa hitsausarvoissa.

*Taulukko 7. Työpöydän ja kappaleenkäsittelypöydän erot mitatuissa hitsausarvoissa.*

	Kaariaika (min)	Työaika (min)	Kaariaika- suhde (-)	Hitsausvirta ka (A)	Hitsausjännite ka (V)	Langansyöttö- nopeus ka (m/min)
TYÖPÖYDÄLLÄ ka (1205–1207)	49,9	215	0,232	189	23,9	7,4
KAPPALEEN- KÄSITTELIJÄLLÄ ka (1202–1204)	45,1	151,7	0,298	197	24,1	7,4
EROTUS	4,8 (9,6 %)	63,3 (29,4 %)	0,066 (28,4 %)	8 (4,2 %)	0,2 (0,8 %)	0 (0 %)

Tuottavuuden parantumisen lisäksi merkittävät hyödyt saavutetaan myös laadun parantumisesta sekä työergonomian ja –turvallisuuden kohentumisesta. Virheiden lisääntyminen työpöydillä hitsatuissa kappaleissa johtuivat huonoista työasennoista, kun hitsaamiselle sopivaa korkeutta ei voitu aina saavuttaa. Silmämääräisessä tarkastuksessa esiintyneiden virheiden korjaamiseen kulunutta aikaa ei enää lisätty kokeeseen. Kokeen perusteella laatu ja työergonomia kulkevat rinnakkain; paremman ulottuvuuden kautta saavutetaan myös selkeästi parempaa laatua. Työn rasittavuus käy vielä selkeämmin ilmi, kun sarjojen koko kasvaa ja samat vaikeat työasennot toistuvat useammin työpöydällä hitsatessa.

#### 9.6 Jatkotoimenpiteet ja -tutkimusaiheet

Koe antoi luotettavia arvoja kappaleesta, jota pystytään hitsaamaan sekä työpöydissä ja kappaleenkäsittelylaitteissa sujuvasti. Kokeen arvoja voidaan käyttää markkinointitarkoituksissa laskettaessa esim. kappaleenkäsittelylaitteen takaisinmaksuaikaa samankaltaisissa hitsattavissa kappaleissa. Haluttaessa suuremmat erot tuottavuuteen verrattaessa työpöytiä ja kappaleenkäsittelylaitteita olisi hitsauskokeessa käytettävä moniulotteista, suurta kappaletta, jota ei enää voida liikuttaa käsin. Tällöin tuottavuus kasvaa vieläkin enemmän kasvaneen työajan ja kaariajan takia. Hitsauskokeen järjestäminen olisi järkevää yrityksessä, jossa tällä hetkellä hitsataan kappaleita normaalilla työpöydällä sekä erilaisten nostureiden avulla suoritetaan kappaleen käsittely. Tämä palvelisi paremmin myös markkinointitarkoituksia.

## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Työn alussa oli selvää, että kappaleenkäsittelylaitteista on hyötyä tuottavuuteen, ergonomiaan, työturvallisuuteen ja laatuun. Yrityksessä ei ollut selvillä, kuinka suuria hyödyt ovat, jonka vuoksi haluttiin tehdä koe kappaleesta, jota voidaan hyvin pyöritellä käsin työpöydällä käsittelylaitteen lisäksi. Kokeen perusteella 29,4 % lyhyempi työaika tuo merkittävää kilpailuetua yritykselle. Kustannusmielessä mitä yrityksessä ennen hitsattiin kolmella työntekijällä, voidaan käsittelypöytien avulla hitsata nykyisin kahdella. Kooltaan 750 – 1000 kg käsittelylaite maksaa sen hankkivalle yritykselle takaisin reiluun puoleen vuoteen. Tutkimukseen osallistuneiden yritysten viesti oli myös selvä, että tuottavuuden parantuminen oli huomattu hitsausasentojen muuttumisen, parantuneen kaariaikasuhteen ja vähentyneiden korjaustöiden kautta, mutta siitä ei ollut tutkittua tietoa.

Laadullisesti koe antoi myös positiivisia tuloksia, sillä käsittelypöydässä hitsattuja rakenteita ei tarvinnut korjata, mutta normaalissa työpöydässä piti, jotta C –luokan vaatimukset täyttyivät. Hitsaajan mukaan tämä johtui osittain huonoista työasunnoista. Eri yrityksienkin mukaan optimiasento mahdollistaa paremman tuloksen laadussa. Työasentojen ja työturvallisuuden parantuminen kävi parhaiten selville haastatteleamalla hitsaajaa. Suurimmat hyödyt olivat hyvä työasento, huurujen ja kurkottelun vähentyminen, mahdollisten palovammojen vähentyminen sekä osien putoaminen raajojen päälle.

Kappaleenkäsittelylaite ei ole kuitenkaan vielä valmis laite, vaan se vaatii jatkuvaa kehittelyä. Tutkimuksen osallistuneilta yrityksiltä tuli paljon kehitysehdotuksia kappaleenkäsittelijöihin. Yleisesti kiinnitykseen haluttiin valmiita ratkaisuja sekä pöytälevyyn erilaisia vaihtoehtoja. Osa kehitysideoista liittyi hitsaajan varomattomuuteen tai koulutuksen puutteeseen käsittelylaitteesta, kuten kappaleen osuminen hitsaajaan tai laitteen kaatuminen ylikuorman takia. Muita kehitysideoita oli mm. kaukosäädin, ohjelmointi ja laitteen madaltaminen.

Tutkimukseen osallistuneet yritykset olivat suhteellisen isoja, pitkään toimineita suomalaisia konepajoja. Osalla yrityksistä oli tuotannonkehittäjät, jonka vuoksi kehitettäviä asioita ei konepajojen puolelta hirveästi tullut. Osalla tuotannon layout oli jatkuvasti muutoksen alla projektien mukaan, toisilla tuotanto oli hiottu tiettyä tuotetta varten varastosta lopputuotteeseen. Vaikka päällisin puolin asiat olivat kunnossa, olisi seuraaviin asioihin hyvä

tehdä tarkastelu; hitsaussolujen sisältö, sisäinen logistiikka ja kappaleiden kiinnitys. Alihankinnan yritykset pitivät vahvuutena sitä, että ydinosaaminen pysyy talon sisällä. Kontti- tai perävaunuhitsaamo on tulevaisuudessa potentiaalinen hitsauskapasiteetin kasvattaja, mutta sen arviointia yrityksissä ei tehty. Jatkotutkimus-aiheena kontti- tai perävaunuhitsaamon tarpeellisuus eri yrityksissä on aiheellinen.

Tutkimuksen yritykset pitivät nykyisin hitsauksessa tärkeimpänä hitsaajien ammattitaitoa, tuottavuutta, työn mielekkyyttä, laatua sekä työturvallisuutta. Tulevaisuuden merkitys oli hyvin vaihteleva eri yrityksissä, mutta yleisesti pidettiin tulevaisuudessa tärkeinä laatua ja tuottavuutta. Työturvallisuuden merkityksen parantuminen ei vielä näkynyt kuin yhdessä yrityksessä. Useimmat yritykset uskoivat hitsauksen siirtyvän enemmän robottihitsaukseen.

## LÄHTEET

Aaltonen, K. & Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio. Werner Söderström Osakeyhtiö, Porvoo. ISBN 951-0-21439-6. 309 s.

Boekholt, R. 1996. Welding mechanization in shipbuilding worldwide. Woodhead Publishing Ltd, 1996. ISBN 1-85573-219-x. 243 p.

Brace, M. & Brook, J. 2002. Tips for successfully welding sheet metal. Welding Journal. No 3. Saatavissa myös verkkodokumenttina: <http://www.aws.org/wj/2002/03/feature/>

Cary, H & Helzer, S. 2005. Modern welding technology. Pearson Prentice Hall. ISBN 0-13-113029-3. 715 s.

Esab. 2014. Täytelankahitsaus. [Esab Oy:n www-sivuilta]. [viitattu 2.2.2014]. Saatavissa: <http://www.esab.fi/fi/fi/education/processes-fcaw.cfm>

Firotec. 2013. New Firo –kappaleenkäsittelylaitteet. [Firotec Oy:n www-sivuilta]. [viitattu 2.2.2013]. Saatavissa: <http://www.firotec.com/fi/?ID=1372>

Grönlund, E. 1990. Hitsausrailot. Tekninen tiedotus 6/90. Metalliteollisuuden Kustannus Oy. ISBN 951-817-465-2. 52 s.

Haapakoski, T. 2008. Piensarjatuotannon haasteet robottihitsauksessa. Hitsaustekniikka. Nro 4/2008. ISSN 0437-6056. s. 26-29.

Haula, J. 2008. Hitsauksen kevytmekanisoinnilla tehoa tuotantoon. Hitsaustekniikka. Nro 4/2008. ISSN 0437-6056. s. 2-8.

Heikonen, P. 1990. Mekanisoinnilla ja automatisoinnilla parempaan työympäristöön. Hitsaustekniikka. Nro 2/1990. ISSN 0437-6056. s. 60-61.

Hiltunen, E. & Purhonen, T. 2008. Robottihitsauksen laatu – monen tekijän summa. Hitsaustekniikka. Nro 4/2008. ISSN 0437-6056. s. 33–36.

- Hyötyläinen, R. & Karvonen, I. 2000. Häiriö seurannan organisointi- ja analysointimenetelmät. Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) tiedote 2035. ISBN 951-38-5678. 99 s.  
Saatavissa myös verkkodokumenttina: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2035.pdf>
- Kainulainen, K. 1998. Työturvallisuus ja suunnittelija. Hitsaustekniikka. Nro 4/1998. ISSN 0437-6056. s. 42-44.
- Kara, J. & Rajamäki, P. 1983. Hitsauksen mekanisointi ja automatisointi. Tekninen tiedotus 4/83. Metalliteollisuuden Kustannus Oy. 66 s.
- Karhula, J. 2004. Koneenosien suunnittelun perusteita, luentomoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 224 s.
- Karhula, J. 2008. Metalliopin perusteita, luentomoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- Kemppi. 2014. Kaksoispulssihitsaus. [Kemppi Oy:n www-sivuilta]. [viitattu 3.2.2014].  
Saatavissa:  
<http://www.kemppi.com/inet/kemppi/fi/akp.nsf/Top?ReadForm&Topcat=WeldingABC>
- Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Tumma vuoren kirjapaino Oy, Vantaa. ISBN 951-9438-59-9. 188 s.
- Laine, B. 1999. Pemamek – Hitsauksen mekanisointia ja automatisointia hitsaavan teollisuuden tarpeisiin. Hitsaustekniikka. Nro 6/1999. ISSN 0437-6056. s. 31–36.
- Leino, K. 1987. Hitsauskiinnittimen suunnittelu. Hitsaustekniikka. Nro 6/1987. ISSN 0437-6056. s. 9-12.
- Leino, K. 1991. Hitsauksen mekanisointi – jo ohitettu askelko kohti hitsausautomaatiota. Hitsaustekniikka. Nro 1/1991. ISSN 0437-6056. s. 4-10.
- Leino, K. 1998. Hitsausmenetelmän vaikutus hitsauskustannuksiin. Hitsaustekniikka. Nro 4/1998. ISSN 0437-6056. s. 20-26.

Leino, K. 2008. Hitsausmenetelmävalintojen vaikutus tuottavuuteen. Hitsausseminaari Lahdessa 9.4.2008. 19 s. Saatavissa myös verkkodokumenttina:

[http://www.lahtimecatronics.fi/filebank/1157-VTT -  
\\_Hitsausmenetelmävalintojen\\_vaiutus\\_tuottavuuteen.pdf](http://www.lahtimecatronics.fi/filebank/1157-VTT_-_Hitsausmenetelmävalintojen_vaiutus_tuottavuuteen.pdf)

Leino, K. & Karppi, R. & Hentula, M. 2008. Suomalaisen hitsaustuotannon kilpailukyky. Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) tutkimusraportti VTT-R-06707-08. 42 s. Saatavissa myös verkkodokumenttina:

[http://www.vtt.fi/liitetiedostot/muut/VTT\\_R\\_06707\\_08\\_Sisuhitsi.pdf](http://www.vtt.fi/liitetiedostot/muut/VTT_R_06707_08_Sisuhitsi.pdf)

Leino, K. & Meuronen, I. 1987. Hitsauskiinnittimen suunnittelu. Tekninen tiedotus 15/87. Metalliteollisuuden Kustannus Oy. ISBN 951-817-348-6. 84 s.

Lepola, P & Makkonen, M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Werner Söderström Osakeyhtiö. ISBN 951-0-27158-6. 425 s.

Lukkari, J. 1997. Hitsaustekniikka. Perusteet ja kaarihitsaus. 2. painos. Oy Edita Ab, Helsinki. ISBN 951-719-469-2. 292 s.

Lukkari, J. 2000. Hitsauksen ja hitsausmenetelmien (hitsausprosessien) tuottavuudesta ja kustannuksista. Hitsaustekniikka. Nro 3/2000. ISSN 0437-6056. s. 4-23.

Lukkari, J. 2006. Hitsauskustannukset – työtä, työtä, työtä! Hitsausuutiset. Nro 1/2006. Painoprisma Oy. s. 8-11.

Malin, V. 1985. Designer`s Guide to Effective Welding Automation –Part 1: Analysis of Welding Operations as Objects for Automation. Welding Journal. Volume 64. No 11. ISSN 0043-2296. p. 17-27.

Martikainen, J. 1995. Sädehitsauksen laadunvarmistus. Hitsaustekniikka. Nro 5/1995. ISSN 0437-6056. s. 47–53.

Martikainen, J. 1999. Hitsauksen laadunhallinta. Hitsaustekniikka. Nro 2/1999. ISSN 0437-6056. s. 30–35.

- Martikainen, J. 2006. Hitsaus ja palveluliiketoiminta. Hitsaustekniikka. Nro 4/2006. ISSN 0437-6056. s. 20–21.
- Martikainen, J. 2007a. Hitsauksen laadunvarmistus, luentomoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 274 s.
- Martikainen, J. 2007b. Hitsaustekniikan jatkokurssi, luentomoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 241 s.
- Martikainen, J. 2009. Hitsausmetallurgia, luentomoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 650 s.
- Niemi, E & Kemppe, J. 1993. Hitsatun rakenteen suunnittelun perusteet. Painatuskeskus Oy, Helsinki. ISBN 951-37-1115-3. 337 s.
- Peltonen, A. 2013. Tuottava tehdas.[Opetushallituksen www-sivuilta].[viitattu 2.3.2013 ]. Saatavissa: <http://www.edu.fi/oppimateriaalit/tuottavatehdas/tehdas6.html>
- Pemamek. 2013. Pema –käsittelypöydät. [Pemamek Oy:n www-sivuilta]. [viitattu 2.2.2013]. Saatavissa: <http://www.pemamek.fi/fin/tuotteet/?PAGE=1>
- Red-D-Arc. 2014. Welder Certification Trailer. [Red-D-Arc www-sivuilta]. [viitattu 3.2.2014]. Saatavissa: [http://www.red-d-arc.com/product\\_details.aspx?sub\\_cat=197&prod\\_id=626](http://www.red-d-arc.com/product_details.aspx?sub_cat=197&prod_id=626)
- Reiman, P. & Leino, K. 1987. Hitsauksen mekanisointi ja automatisointi – Laitehakemisto 1987. Tekninen tiedote 21/87. Metalliteollisuuden Kustannus Oy. ISBN 951-817-359-1. 29 s.
- Salminen, V. 2009. Hitsaussoluratkaisujen kehittämisen Work shop, Outokumpu 16.4.2009
- Sipper, D. & Buflin, R. & Buflin L. Jr. 1997. Production: Planning, control, and integration. Ensimmäinen painos. New York. McGraw-Hill Companies. 630 s.
- SFS-EN ISO 9712. 2012. Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevynti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet. Suomen standardisoimisliitto SFS. 1. painos. 65 s.

SFS-EN ISO 3834-2. 2006. Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osa 2: Kattavat laatuvaatimukset. Suomen standardisoimisliitto SFS. 1. painos. 24 s.

SFS-EN ISO 14731. 2006. Hitsauksen koordinointi. Tehtävät ja vastuut. Suomen standardisoimisliitto SFS. 1. painos. 28 s.

SFS-EN ISO 14732. 2013. Hitsaushenkilöstö. Hitsausoperaattoreiden ja hitsausasettajien pätevyyskokeet. Metallisten materiaalien mekanisoitu ja automatisoitu hitsaus. Suomen standardisoimisliitto SFS. 1. painos. 36 s.

SFS-EN ISO 9606-1. 2014. Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset. Suomen standardisoimisliitto SFS. 77 s.

Slack, N. & Chambers, S. & Johnston, R. 2004. Operations management. Fourth edition. Mateu Cromo Artes Graficas, Spain, Madrid. ISBN 0-273-67906-6. 794 p.

Uusitalo, J. 2006. FastROOT –uusi hitsausprosessi pohjapalon ja ohutlevyjen hitsaukseen. Kemppi Pro News. Nro 2. s. 4-7.

Uusitalo, J. 2007. Synergiset käyrät ja mukautetut hitsausprosessit helpottavat hitsaajan työtä. Hitsaustekniikka. Nro 5/2007. ISSN 0437-6056. s. 56-57.

Vesansalo, T. 2000. Antenni – ja mastorakenteiden hitsauksen mekanisointi ja automatisointi. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 118 s.

Vilpas, M. 1990. Konepajan hitsaustuotannon rationalisointi. Tekninen tiedotus 25/90. Metalliteollisuuden Kustannus Oy. ISBN 951-817-487-3. 67 s.

Vähäkainu, O. 2003. Hitsaajan opas 2003. Rautaruukki Steel. 3 painos. Otavan kirjapaino Oy, Keuruu. ISBN 952-5010-35-x.

KOEHITSAUS HARVESTERIN KESKIRUNKO H754

5-10.2009

Hitsaus kappaleenkäsittelylaitteessa

KOEKAPPALE	HITSAUKSEN ALOITUSAIKA	HITSAUKSEN LOPETUSAIKA	HITSAUKSEN KESKEYTYKSEN SYY	KESKEYTYKSEN AIKA
1202	8:25	9:35	Langanvaihto	10min
	9:45	10:05	Ruokatauko	30min
	10:35	11:35	Kappale valmis	(Arctimer 0,73) Työaika 150min
1204	11:45	12:00	Kahvitauko	15min
	12:15	14:15	Työpaikan siivous/ Työpäivä loppuu	
	6:10	6:35	Kappale valmis	(Arctimer 0,73) Työaika 160min
1203	6:40	8:00	Kahvitauko	20min
	8:20	9:25	Kappale valmis	(Arctimer 0,79) Työaika 145min

## KOEHITSAUS HARVESTERIN KESKIRUNKO H754

5-10.2009

## Hitsaus työpöydällä

KOEKAPPALE	HITSAUKSEN ALOITUSAIKA	HITSAUKSEN LOPETUSAIKA	HITSAUKSEN KESKEYTYKSEN SYY	KESKEYTYKSEN AIKA
1205	10:40	12:05	Kahvitauko	15min
	12:20	13:45	Varastossa käynti	10min
	13:55	14:10	Työpaikan siivous Työpäivä päättyy	
	6:15	6:35	Kappale valmis	(Arctimer 0,74) Työaika 205min
1206	8:30	10:10	Ruokatauko	30min
	10:40	12:00	Kahvitauko	20min
	12:20	12:55	Kappale valmis	(Arctimer 0,85) Työaika 215min
1207	6:20	8:00	Kahvitauko	15min
	8:15	8:40	Langanvaihto	20min
	9:00	10:00	Ruokatauko	30min
	10:30	11:10	Kappale valmis	(Arctimer 0,9) Työaika 225min

## KESKIRUNKOJEN TIEDOT KEMPPI ARC SYSTEM

5-10.2009

Kappale	Virta ka (A)	Jännite ka (V)	Langansyöttönopeus (m/min)	Kaariaika yht. (s)	Kaariaika arctimer (s)	Työaika raportista (s)	Kaariaika-suhde	Kaariaika-suhde arctimer	Hitsaus alkanut	Loppunut
1202	195,45	23,95	7,26	2636	2628	9000	<b>0,293</b>	0,292	5.11.2009 8:25	5.11.2009 11:35
1203	200,91	24,42	7,41	2849	2844	8700	<b>0,327</b>	0,327	6.11.2009 6:40	6.11.2009 9:25
1204	195,00	24,05	7,41	2634	2628	9600	<b>0,274</b>	0,274	5.11.2009 11:45	6.11.2009 6:35
1205	198,08	24,49	7,72	2655	2664	12300	<b>0,216</b>	0,217	6.11.2009 10:40	9.11.2009 6:35
1206	184,85	23,88	7,26	3078	3060	12900	<b>0,239</b>	0,237	9.11.2009 8:30	9.11.2009 12:55
1207	184,94	23,43	7,11	3251	3240	13500	<b>0,241</b>	0,240	10.11.2009 6:20	10.11.2009 11:10

Ka 1202-1204	197,12	24,14	7,36	2706	2700,00	9100,00	<b>0,298</b>	0,30
Ka 1205-1207	189,29	23,93	7,36	2994	2988,00	12900,00	<b>0,232</b>	0,231