

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari

HITSAAVAT MONIROBOTTIASEMAT  
MULTI-ROBOT WELDING CELLS

Lappeenrannassa 14.5.2010

Severi Iso-Markku

# SISÄLLYSLUETTELO

## LYHENTEET

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Työn tausta .....	1
1.2	Työn tavoite ja rajausta .....	1
2.	ROBOTTIHITSAUS .....	2
2.1	Robottityypit .....	2
2.2	Hitsausasemissa käytettävien robottien valinta.....	4
3.	ROBOTTIHITSAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU .....	6
4.	MONIROBOTTIASEMAT .....	7
4.1	Edut ja mahdollisuudet.....	8
4.2	Kiinnittimetön hitsaus .....	10
4.2.1	Piensarjavalmistus .....	11
4.2.2	Esimerkki FMS-robottihitsauksesta.....	12
4.3	Monirobottihitsausasemien käyttö .....	13
4.3.1	Kaksi hitsaavaa robottia.....	13
4.3.2	Kolme tai useampia hitsaavia robotteja .....	14
4.4	Laitteisto.....	15
4.5	Älykäs robottihitsaus.....	16
4.6	Ohjausjärjestelmät ja ohjaus .....	17
4.6.1	Monirobottiohjaus.....	18
4.6.2	Häiriötilanteet .....	19
4.6.3	Robottivalmistajien tuotteita.....	20
4.7	Ohjelmointi .....	22
4.7.1	Etäohjelmointi.....	23
4.7.2	Kalibrointi .....	24

4.7.3	Robottivalmistajien tuotteita.....	25
4.8	Laadunvarmistus .....	25
4.8.1	Reaaliaikainen laadunvarmistus .....	26
4.8.2	Laadunvarmistusjärjestelmä .....	28
4.8.3	Monitorointi .....	30
5.	KUSTANNUSTARKASTELU .....	30
6.	CASE-ESIMERKIT.....	32
6.1	Leimet Oy.....	33
6.2	BMW:n etuakseleiden hitsaus.....	34
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	36
8.	YHTEENVETO.....	37
	LÄHTEET .....	40
	LIITTEET	

## LYHENTEET

2D	2 Dimensional; kaksiulotteinen
3D	3 Dimensional; kolmiulotteinen
CAD	Computer Aided Design; Tietokoneavusteinen suunnittelu
CCD- kamera	Charge-coupled device
EN	European Standard; Eurooppalainen standardi
FMC	Flexible Manufacturing Cell; Joustava valmistussolu
FMS	Flexible Manufacturing System; Joustava valmistussysteemi
HMI	Human Machine Interface
I/O	Input/Output
ISO	International Organization for Standardization
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol

# 1. JOHDANTO

Työ on kirjallisuusselvitys hitsaavista monirobottiasemista ja se sisältää myös kaksi case-esimerkkiä. Seuraavassa esitellään työn tausta ja käydään läpi työn tavoitteet sekä rajaus.

## 1.1 Työn tausta

Robottien käyttö on varsin yleistä suomalaisessa teollisuudessa. Suomessa on paljon hitsaavia robotteja, mutta usean robotin käyttöä samassa hitsausasemassa on hyödynnetty suhteellisen vähän. Suomessa ei ole paljon autoteollisuutta kuten muissa robotteja merkittävästi hyödyntävissä maissa. Monirobottiasemien käyttö onkin varsin yleistä autoteollisuudessa.

Monirobottiasemia voidaan kuitenkin hyödyntää myös muilla teollisuudenaloilla. Niitä voidaan käyttää niin pienten kuin suurtenkin sarjojen hitsaukseen. Kiinnittimettömän hitsauksen käyttö soveltuu hyvin vaihtelevien ja pienten sarjojen hitsaukseen, joita hitsattaessa robotti toimii kiinnittimenä. Tällaiset sarjat ovat suomalaiselle teollisuudelle tyypillisiä. Useita hitsaavia robotteja sisältäviä monirobottiasemia käytetään puolestaan suurten sarjojen hitsaukseen, joissa tuotteet ovat yksinkertaisia. Monirobottiasemia voidaan hyödyntää erityisesti symmetristen ja hitsausmuodonmuutoksille alttiiden kappaleiden hitsauksessa.

Monirobottiasemien käyttö voi olla perusteltua robottien hintojen laskun ja niillä saavutettavien hyötyjen perusteella. Robottikäsi-robottien hinnat liikkuvat noin 50.000 eurossa (Huhtiniemi 2008). Kevyiden hitsausrobottikäsi-robottien lähtöhinnat ovat tästä vielä alhaisempia. Tässä työssä tarkastellaan monirobottiasemien käyttöä ja niiden mahdollisuuksia sekä mitä eri asioita monirobottiasemiin liittyy.

## 1.2 Työn tavoite ja rajaus

Työssä käsitellään yleisesti robottihitsausta ja robottityyppejä sekä robottihitsausjärjestelmän suunnittelua. Työn painopiste on hitsaavissa monirobottiasemissa. Työn tavoitteena on kertoa, missä ja miksi monirobottiasemia käytetään hitsauksessa sekä mitä vaatimuksia monirobottiaseman käyttö tuo. Tavoitteena

on tuoda esille monirobottiasemien tuomat mahdollisuudet sekä esitellä niiden käyttökohteita. Usean robotin käytön tuomia vaatimuksia käsitellään, esimerkiksi robottien ohjauksen kannalta. Muita käsiteltäviä alueita ovat monirobottiasemien laitteistot, ohjelmointi sekä laadunvarmistus. Työssä tarkastellaan yleisesti myös monirobottiasemien kustannuksia.

Case-esimerkeillä on tavoitteena tuoda esille käytännön esimerkkejä yritysten käyttämistä monirobottihitsausasemista. Käytännön esimerkit näyttävät, miten eri tavoin monirobottihitsausta voidaan soveltaa teollisuudessa.

## 2. ROBOTTIHITSAUS

Halvan työvoiman maat ovat pakottaneet suomalaisen metalliteollisuuden kehittämään uusia menetelmiä kilpailuedun säilyttämiseksi. Yksi hitsaavan teollisuuden suurista uhista on osaavan työvoiman ja pätevien hitsareiden riittävyys. Hitsauksen robotisoinnilla pystytään vastaamaan tähän uhkaan. Näin ollen hitsaavan teollisuuden pitää kehittää tuotteitaan paremmin robotisoituun hitsaukseen soveltuviksi. Robotisoinnilla ja automatisoinnilla pystytään vähentämään töiden siirtymistä halvemman työvoiman maihin. Hitsauksen robotisointi ei kuitenkaan poista työvoiman tarvetta, se asettaa uusia ammattitaitovaatimuksia tekemällä hitsaajasta operaattorin. Kun ajatellaan pienten sarjojen hitsausta, mitkä ovat ominaisia suomalaiselle hitsaavalle teollisuudelle, ovat etäohjelmointi ja simulointi merkittävässä asemassa. (Hietikko & Jääskeläinen 2007, s. 13–15.)

Hitsauksen robotisoinnilla pyritään lisäämään kilpailukykyä tuottavuutta kasvattamalla. Kaariaikasuhdetta saadaan kohotettua käsinhitsauksen 10–20 %:sta jopa yli 85 %:iin. Robottihitsaus tasoittaa hitsauksen laadun ja näin korjaukset sekä hylkäykset vähenevät. Hitsauksen robotisoinnilla pystytään lisäämään kapasiteettia ja lyhentämään hitsauksen läpimenoaikoja. Robotilla pystytään myös suorittamaan ihmisille vaikeita tai mahdottomia hitsausliikkeitä. (Martikainen 2009, s. 62; 89.)

### 2.1 Robottityypit

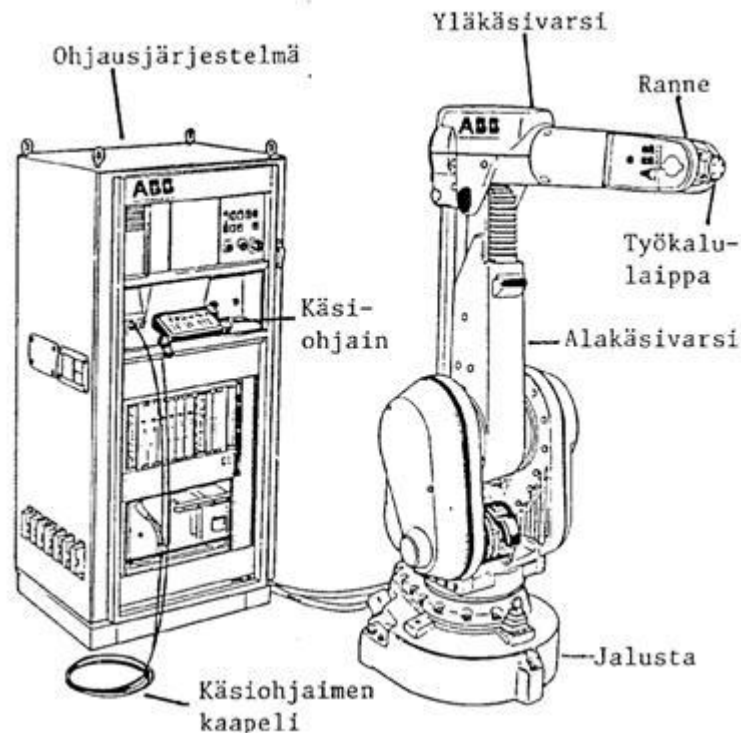
Kansainvälinen robottiyhdistys määrittelee, että robotti on uudelleen ohjelmoitavissa oleva monipuolinen mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, työkaluja,

osia tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein, monenlaisten tehtävien suorittamiseksi. ISO 8373 standardi määrittelee yleisimmät robottimallit niiden mekaanisen rakenteen mukaan. Yleisimmät robottityypit, niiden rakenteet ja kinemaattiset kaaviot sekä työalueet on esitetty kuvassa 1. Näistä robottityypeistä vakiintuneita ovat suorakulmaiset robotit, Scara-robotit, kiertyväniveliset robotit sekä sylinterirobotit. (Kuivanen 1999, s. 12–16.)

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

Kuva 1. Yleisimmät robottityypit ja niiden rakenteet (Kuivanen 1999, s. 12).

Robotin liikeradat voivat olla etukäteen määritetty tai robotin liikkeen aikana luotuja, perustuen antureiden välittämiin tietoihin. Robotin nivelet liittävät toisiinsa tukivarsia, jotka sijaitsevat robotin jalustan ja työkappaleen välissä. Takaisinkytketysti ohjattavat servolaitteet suorittavat nivelten liikuttamisen. Kuvassa 2 on esitelty kuuden vapausasteen kiertyvänivelinen teollisuusrobotti, joka on yleisin hitsausrobottityyppi, ja sen tärkeimmät komponentit. (Kuivanen 1999, s. 13.)



Kuva 2. Kuuden vapausasteen kiertyvänivelinen teollisuusrobotti ja sen tavallisimmat komponentit (Kuivanen 1999, s. 13).

## 2.2 Hitsausasemissa käytettävien robottien valinta

Hitsausasemissa toimii normaalisti kahdenlaisia robotteja: hitsausrobotteja sekä kappaleenkäsittelyrobotteja. Robottien vaatimukset vaihtelevat huomattavasti sovelluksen mukaan.

Hitsaavan robotin pitää pystyä seuraamaan tarkasti hitsattavan liitoksen määrittämää käyrää. Robotin on kyettävä myös tekemään vaaputusliikettä, joka voidaan lisätä ratakäyrään. (Jauhijärvi 2007, s. 10.) Kaarihitsausrobotilta vaaditaan monipuolisia liikeratoja ja hyvää tarkkuutta. Robotti ei ole normaalisti ongelma



kaarihitsaussovelluksissa, hitsaustekniikan ja -parametrien optimointi on tärkeää järjestelmän toimivuuden takaamiseksi. Voiman tarve on normaalisti pieni kaarihitsaussovelluksissa, koska robotin liikuteltava poltin on kevyt. Pistehitsauksessa hitsien paikoitus ei ole yhtä vaativaa ja tarkkaa kuin kaarihitsauksessa. Mutkikkaat kappaleet ja hitsauspolttimen vaikea asemointi kotelomaisiin kappaleisiin vaativat kuitenkin pistehitsaussovelluksiin käytettäviltä roboteilta monipuolisia liikeratoja. (Aaltonen & Torvinen 1997, s. 162.) Pistehitsauksessa suurimmat hitsauslaitteet painavat monia kymmeniä kiloja, joten tällöin robotitkin voivat olla massiivisia laitteita (Jauhijärvi 2007, s. 10).

Kappaleenkäsittelyrobotin pitää pystyä nostamaan käsiteltävät kappaleet ja pitämään ne otteessaan kiinni erilaisilla tarraimilla robotin liikkeiden ja paikallaan pitämisen ajan. Robotin pitää suorittaa kappaleiden asemointi tarkasti, luotettavasti ja nopeasti samoihin paikkoihin kaikilla työkiertoilla. Kappaleenkäsittelyrobotin koko riippuu sillä siirrettävien kappaleiden painosta, ulottuvuustarkastelusta sekä liikenopeuksista. (Jauhijärvi 2007, s. 10.)

Kuten Hiltunen ja Naams kirjoittavat artikkelissaan (2000, s. 20), hitsausasemissa käytettävät robotit ovat lähes poikkeuksetta nivelvarsirakenteisia 6-akselisia robotteja. Näillä roboteilla saavutetaan 0,1 mm:n taso toistotarkkuudessa. Toistotarkkuudella tarkoitetaan tarkkuutta, jolla robotti palaa aikaisemmin opetettuun pisteeseen takaisin (Kuivanen 1999, s. 14). Ratatarkkuus, joka on huomattavasti merkityksellisempi hitsausroboteissa, riippuu taas robottiohjaimesta ja sen laskentatehosta. Ratatarkkuus tarkoittaa liikkeen suurinta eroa kohtisuorissa suunnissa, nimellisen liikeradan ja saavutettujen liikeratojen keskiarvon välillä (Kuivanen 1999, s. 183). Robotti on vain pieni osa koko tuotantolaitteistoa hitsauksessa. Suurissa robottiasemissa sen osuus voi olla vain noin 10 % koko investoinnista. (Hiltunen & Naams 2000, s. 20.)

On myös kehitelty robotteja, jotka soveltuvat erityisesti monirobottiasemiin. Tällaisissa roboteissa voi olla esimerkiksi lisätty robottikäsiarten seitsemäs akseli alakäsiarven 2 ja 3 akselin väliin. Tämä ylimääräinen E-akseli helpottaa erittäin hankaliin ja ahtaisiin paikkoihin ulottumista, sekä halutun poltinorientaation säilyttämisen näissä paikoissa. Ylimääräinen akseli hyödyttää myös merkittävästi robotin väistämisominaisuuksien paranemiseen. Monirobottiasemissa tämä on tärkeää, koska robotit on sijoitettu lähekkäin

ja ne ovat usein toistensa tiellä. Esimerkiksi Motoman on kehittänyt tällaisen 7-akselisen robotin, kuva 3, joka soveltuu erityisesti monirobottiasemiin. (Hiltunen 2009, s. 29.) Monirobottiasemiin sopivissa roboteissa on työkaluun menevä kaapelointi integroitu robotin käsivarteeseen, jotta sen aiheuttamat häiriöt vähenevät. Tämä ratkaisu mahdollistaa myös useiden hitsausrobottien työskentelyn lähempänä toisiaan, ilman pelkoa häiriöistä. (Anderson 2006.)



Kuva 3. Erityisesti monirobottiasemiin soveltuva 7-akselinen nivelvarsirobotti VA1400 (Motoman VA1400).

### 3. ROBOTTIHITSAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Hitsauksen robotisointiin voi olla useita syitä. Lähtökohtaisesti robottihitsausjärjestelmän suunnittelun tulisi perustua aina todelliseen tuotannon rationalisointitarpeeseen. Suunnittelun aloitusvaiheessa ja ennen robotisoinnin aloituspäätöstä on hyvä tutustua olemassa oleviin robottijärjestelmiin. Ensimmäinen oman automatisointihankkeen toteuttaminen tuo todellista osaamista ja käyttökokemusta, joita on muuten hankala saada. Automatisointi-investoinnin onnistunut läpivienti ja tehokas käyttö edellyttävät yritykseltä paljon, kuten laajamittaista koulutusta ja yrityksen henkilöstön asenteiden muutosta. (Kuivanen 1999, s. 92.)

Robottihitsausjärjestelmän hankinta jaetaan yleensä neljään osaan: esisuunnitelma-, hankinta-, asennus- ja käyttöönottovaiheeseen. Suunnittelussa painotetaan luonnollisesti esisuunnitelma- ja hankintavaihetta. Esisuunnitelmavaiheessa tehdään tarpeen kartoitus ja asetetaan yleiset suuntaviivat hankittavalle laitteistolle. Hankintavaiheessa suunnitellaan järjestelmän toimintoja ja yksityiskohtia. Robotisoinnin ensimmäinen vaihe on lähtötilanteen selvittäminen. Tämän jälkeen suunnitellaan robotin ja oheislaitteiden käyttö. Vaihtoehtoisista suunnitelmista tehdään kustannuslaskelmat ja ne laitetaan paremmuusjärjestykseen. Järjestelmän eri valintaperusteita ovat esimerkiksi valmistusjärjestelmän joustavuus, tuotteiden ominaisuudet, haluttu kapasiteetti, järjestelmän soveltuvuus tuotantoon ja toimittajan aikaisempi kokemus vastaavista järjestelmistä. (Kuivanen 1999, s. 92–93.)

Monirobottiaseman hankintaa ajatellen, osaava robottijärjestelmän toimittaja voi arvioida mahdolliset sovellukset. Toimittaja voi auttaa yritystä päättämään robottien lukumäärän, tyypit, rakenteet sekä ohjauksen, jotka täyttävät yritykselle tulevan tietyn yksityiskohtaisen sovelluksen tarpeet. On tärkeää valita kokenut robottitoimittaja ja varmistaa, että ostetun robottiautomaation lisäksi toimittaja vastaa myös tärkeistä palveluista, kuten koulutuksesta ja muista tukitoiminnoista, joilla voidaan maksimoida investoinnin hyödyt. (Morel 2003.) Robottijärjestelmän hankinnassa robottivalmistajat toimittavat aseman yleensä "avaimet käteen"-periaatteella (Huhtiniemi 2008).

#### 4. MONIROBOTTIASEMAT

Perinteistä hitsauksen robotisointia voidaan tehostaa laittamalla robottiasemaan useita robotteja työskentelemään samanaikaisesti. Yleensä yhdessä asemassa toimii korkeintaan neljä robottia, johtuen robottiohjaimien kapasiteetista. Robottivalmistajat ovat kuitenkin kehittäneet jatkuvasti tehokkaampia robottiohjaimia. Esimerkiksi Motoman on kehittänyt ohjaimen, kuten Hiltunen (2009, s. 29) kirjoittaa, joka pystyy ohjaamaan yhteensä peräti 72 akselia, mikä tarkoittaa maksimissaan kahdeksaa robottia. Kuvassa 4 on esitetty ohjaimella toteutettu 7 robotin monirobottiasema, jossa robottien kaapelointi on integroitu niiden käsivarsiin. Aseman roboteista kuusi on varustettu MAG-hitsausvarustuksella, yhden robotin toimiessa kappaleenkäsittelijänä. Asemassa on myös 1-akselinen käsittelypöytä, jossa on hitsauskiinnitin. Kappaleenkäsittelyrobotti, joka on varustettu kaksoistarraimella, suorittaa kappaleen vaihdon kiinnittimeen. (Hiltunen 2009, s. 29.)



Kuva 4. Seitsemän robotin monirobottiasema, jossa kaapelointi on integroitu robottien käsivarsiin (Hiltunen 2009, s. 30).

Tuottavuus- ja tehokkuusmittareilla tarkasteltaessa monirobottitekniikka johtaa huomompiin tuloksiin kuin perinteinen robottihitsaus. Kokonaishitsausaika lyhenee, mutta yksittäisen robottikäsivarren kaariaikasuhteessa ei päästä perinteisen robottiaseman arvoihin. Kaariaikasuhte laskee, koska robotin työkiertoajasta kuluu suurempi prosenttiosuus väliliikkeiden suoritukseen. (Hiltunen 2009, s. 29.)

Monirobottiasemia koskevat samat turvallisuusvaatimukset kuin muita robottiasemiakin. SFS-EN ISO 10218-1 on teollisuusrobottien turvallisuusvaatimuksien standardi. Standardissa on myös määritelty turvallisuusvaatimukset uusille huomattaville robottitekniologioille. Näitä uusia turvallisuusvaatimuksia on määritelty langattomille ohjaimille, robotin ja ihmisen yhteistyölle, robottien väliselle synkronoidulle liikkeelle sekä näköjärjestelmiin perustuville turvallisuusjärjestelmille (Schuster & Winrich 2009, s. 3).

#### 4.1 Edut ja mahdollisuudet

Monirobottitekniikalla on useita etuja. Sitä käyttämällä voidaan lyhentää vaiheajoja ja säästää lattiapinta-alaa (Monirobottitekniikka). Tilaa säästyy kun robottikäsivarret on

asennettu lähekkäin toisiaan, eikä esimerkiksi tarvita kahta erillistä robottiasemaa, kun yksi monirobottiasema korvaa ne. Lyhyet vaiheajat on yksi monirobottiasemien tärkeimmistä vaatimuksista, niitä lyhennetään asentamalla aseisiin niin monta robottikäsivartta, kuin se on järkevää ja mahdollista tilan puolesta (Hiltunen 2009, s. 29).

Monirobottiasemissa valmistus muuttuu joustavammaksi ja hitsauskiinnittimen käyttötarve poistuu, jos robottia käytetään kiinnittimenä. Kiinnittimettömän hitsauksen eduista kerrotaan lisää seuraavassa osuudessa. Motomanin WWW-sivuilla kirjoitetaan myös, että ohjelmointi voi olla yksinkertaisempaa monirobottiasemissa. (Monirobottitekniikka.)

Monirobottiasemien käytön yksi suuri etu on hitsausmuodonmuutosten hallinta. Hitsausmuodonmuutokset vähenevät, koska lämpö jakautuu työkappaleeseen tasaisemmin, kun sitä hitsataan samanaikaisesti usealla robottikäsivarrella. Hitsausmuodonmuutokset voidaan minimoida optimoimalla hitsausjärjestys ja hitsaavien polttimien määrä. (Hiltunen 2009, s. 29.)

Hitsausmuodonmuutoksia on vaikea määritellä ennalta, koska hitsauksen lämpövaikutuksia ei pystytä mallintamaan luotettavasti suunnittelujärjestelmillä. Muodonmuutosten, kuten kutistumien sekä taipumien, vaikutuksesta CAD-tuotemalli ja todellinen tuote eivät ole täysin samanlaisia. Apurobotin käytöllä voidaan kuitenkin hallita vapaata muodonmuutosta. Ensimmäisen hitsauskerran jälkeen mitataan kappaleen muodonmuutos ja kun muutetaan kappaleen paikoitusta mitatun muodonmuutoksen verran, saadaan seuraavilla hitsauskerroilla kappale asettumaan haluttuun kohtaan. (Jääskeläinen 2007, s. 28.)

Seuraavassa on vielä listattu monirobottitekniikan etuja (Monirobottitekniikka):

- Työvoiman väheneminen
- Pienempi tuotantotilan vaatimus, johtuen kompakteista järjestelmistä
- Seisokkiaikojen lyheneminen
- Vaiheaikojen lyheneminen
- Hitsausmuodonmuutosten vähentyminen
- Kiinnittimetön hitsaus

- Korkeampi hitsauslaatu
- Joustava valmistus
- Parempi tehokkuus

#### 4.2 Kiinnittimetön hitsaus

Kiinnittimetön hitsauksessa yksi tai useampia robotteja toimii kiinnittimenä ja voi myös hoitaa esivalmisteluita sekä viimeistelytyöitä. Kiinnittimenä toimivalla robotilla on pyritty vähentämään kiinnitinkustannuksia. Kustannuksien puolesta kiinnittimetöntä hitsausta käytettäessä, voidaankin hitsata pieniä sarjoja tai jopa yksittäisiä kappaleita. Kappaleita käsittelevän robotin hankinta tulee monin verroin halvemmaksi kuin suuri määrä kiinnittimiä, joita tarvitaan kaikille yhden hitsausrobotin ohjelmassa oleville töille. Uuden kappaleen ohjelmointi robotille on myös halvempaa kuin uuden hitsauskiinnittimen valmistaminen. Kappaleenkäsittelyrobotin käyttö lisää myös mahdollisuuksia suunnittelussa. Kun robotti pitelee kappaletta, työskentelysuunnan voi valita vapaammin kuin perinteistä kiinnitintä käytettäessä, koska perinteisessä kiinnittimessä voidaan hitsata kappaletta yleensä vain yhdeltä suunnalta. Robotin pidellessä kappaletta myöskään kaikkia osia ei tarvitse kerralla ladata hitsauskiinnittimeen. (Hämäläinen 1999, s. 16.) Käytettäessä apurobottia kappaleenkäsittelijänä voidaan robotit ohjelmoida niin, että hitsaus voidaan suorittaa optimaalisessa asennossa, jolloin päästään suurempiin hitsausnopeuksiin (Brumson 2005).

Robotin toimiessa kappaleenkäsittelijänä sen kokoonpanotyö vähentää merkittävästi kiinnitintarvetta. Robotilla poimitaan hitsattavat osat, asemoidaan ne hitsauskohtaan ja pidetään paikoillaan joko koko hitsauksen ajan tai vain silloitushitsauksen ajan. Robotti voi hakea uuden osan sillä aikaa, kun hitsausrobotti jää suorittamaan varsinaista hitsausta. (Jääskeläinen 2007, s. 25.)

Kun järjestelmässä toimivat hitsausrobotti ja apurobotti, voi siinä olla myös modulaarinen hitsauskiinnitin. Tällaista kiinnitintä ei voida välttämättä optimoida yksittäiselle tuotteelle. Apurobotilla ja sen tarraimilla voidaan suorittaa osa tuotekohtaisen kiinnittimen tehtävistä. Kun kiinnitinmoduulien paikoitusmekanismit ja lukitukset standardoidaan, niitä voidaan käyttää myös apurobotissa. Näin voidaan toimia esimerkiksi, kun hitsattavan tuotteen yksi osakokonaisuus hitsataan robotilla ja silloitetaan manuaalisesti. Tuotteessa on

pikalukituksella varustettu peruselementti kun se irrotetaan silloituskiinnittimestä. Peruselementti voidaan kiinnittää yhdeksi apurobotin työkaluksi. Näin hitsausrobotti voi hitsata osakokonaisuuden, kun apurobotti pitää sitä kiinni. Tämän jälkeen osakokoonpano paikoitetaan pääkokoonpanoon apurobotin toimesta ja hitsausrobotti kiinnittää sen. (Jääskeläinen 2007, s. 26–27.)

Kiinnittimetön hitsaus soveltuu hyvin, kun valmistetaan massiivisia peruskappaleita, joihin tulee kiinni paljon erilaisia varusteluosia. Tällainen kappale voi olla esimerkiksi teräspalkki, johon hitsataan erilaisia kannakkeita tai korvakkeita. Hitsaavan robotin ja apurobotin käyttö soveltuu myös monenlaisten kotelorakenteiden valmistamiseen. (Hämäläinen 1999, s. 16.)

#### 4.2.1 Piensarjavalmistus

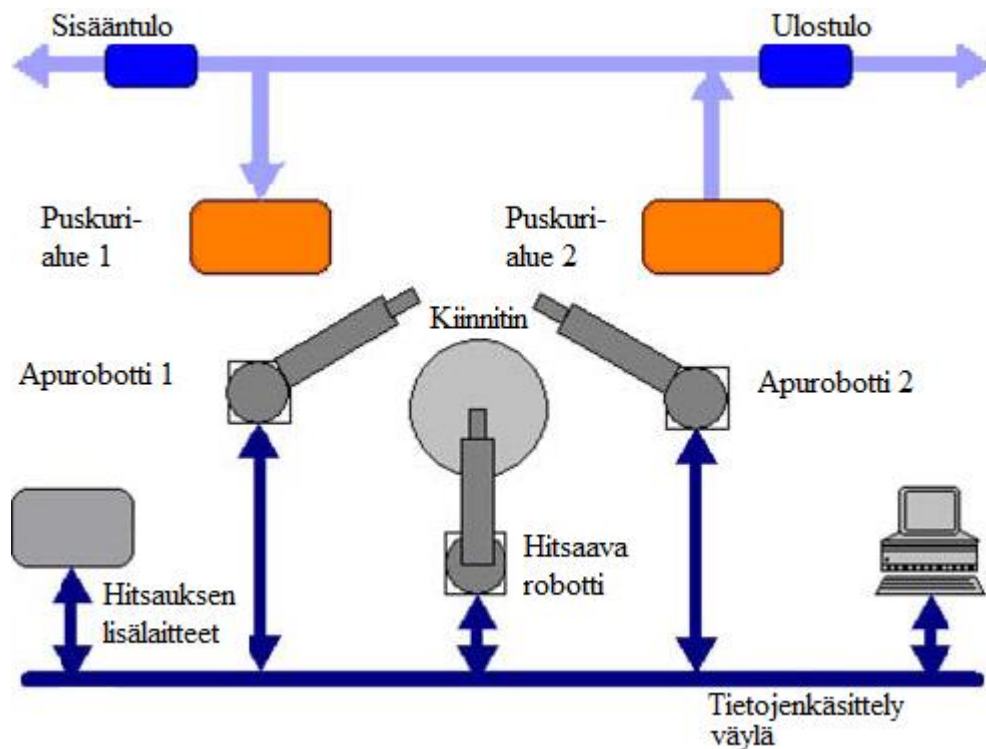
Kiinnittimetöntä hitsauksella pyritään nostamaan piensarjavalmistuksen kannattavuutta, joka ei ole ollut perinteisillä menetelmillä kovin korkeaa. Perinteisten hitsausrobottien käyttöä rajoittavia tekijöitä ovat ohjelmoinnin ja kiinnittimien suunnittelun sekä valmistuksen viemä aika, ja sitä kautta niistä syntyvät kustannukset. Tämän takia robotilla ei ole kannattanut normaalisti hitsata pieniä valmistussarjoja, jotka ovat tyypillisiä suomalaiselle teollisuudelle. Tuottavuuden ja joustavuuden parantamiseksi on myös kehitetty automatisoituja hitsausjärjestelmiä (FMC, FMS). Ne eivät ole kuitenkaan yleistyneet Suomessa, koska paletti-, varastointi- ja kuljetusjärjestelmät vaativat suuria investointikustannuksia. (Leino 1999, s. 12.)

Kiinnittimetöntä hitsausta käytettäessä asetusajat ja -kustannukset pyritään minimoimaan muuttuville ja hyvin pieninä sarjoina valmistettaville tuotteille. FMC- ja FMS-järjestelmien suuri hitsauspalettimäärä korvataan toisen robotin käytöllä. Hitsauskiinnittimen korvaava apurobotti on nopeasti ohjelmoitavissa ja helposti muutettavissa etäohjelmoinnilla. Apurobotin investointi vastaa noin 10 perinteisen hitsauskiinnittimen kustannusta. Apurobotilla voidaan paikoituksen lisäksi suorittaa muita töitä, kuten särmäystä, viimeistelyoperaatioita ja kevyitä koneistusoperaatioita. Robottipari voi työskennellä miehittämättömänä vuorokauden ympäri. Näin hitsauskapasiteettia saadaan kasvatettua ja sitä voidaan käyttää erittäin joustavasti. Joustavan robottiautomaation käyttö vähentää tuotteiden hitsauskustannuksia ja

ammattitaitoisten hitsaajien saatavuuteen liittyviä ongelmia. Haasteita joustavalle robottiautomaatiolle ovat esimerkiksi hitsattaville osille soveltuvien tarraimien ja muiden robottityökalujen kehitys, apurobotin paikoitustarkkuuden optimointi, etäohjelmoinnin kehitys sekä hitsausmuodonmuutosten hallittu huomioiminen. (Leino 1999, s. 12–14.)

#### 4.2.2 Esimerkki FMS-robottihitsauksesta

Kuvassa 5 on esitetty hitsaavan FMS-järjestelmän toiminta, jossa työskentelee kaksi kappaleenkäsittelyrobottia ja yksi hitsaava robotti. Järjestelmän toiminta voi olla seuraavanlainen. Kun sisääntulon puskurialue on tyhjä, työkappale panostetaan puskurialueelle. Seuraavaksi, kun kiinnitin on vapaana, työkappale sijoitetaan oikeaan paikkaan kappaleenkäsittelyapurobotilla 1. Tämän jälkeen, kun kaikki ehdot ovat täyttyneet, hitsausohjelma alkaa. Jos hitsauksen tunkeumaa tarkasteleva anturi lähettää signaalin, ohjausjärjestelmä säätää tarvittavat hitsausparametrit, jotka täyttävät hitsausprosessilta vaaditun laadun. Myös, jos hitsauspolttimen kulma vaatii säätöä, hitsausrobotti säätää sen. Hitsauksen jälkeen ulostulo puskurialue tarkastetaan, ja jos se on vapaa, kappale siirretään sinne odottamaan purkua. Jos kaikki ehdot ovat täyttyneet, siirretään kappale pois järjestelmästä. (Ma & Chen 2007, s. 1060.)



Kuva 5. Layout hitsaavasta FMS-järjestelmästä (Ma & Chen 2007, s. 1059).



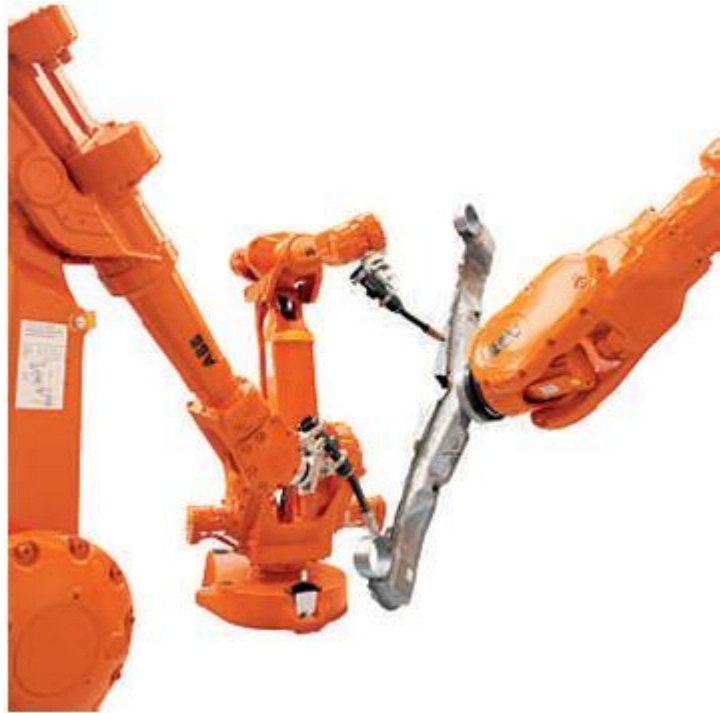
### 4.3 Monirobottihitsausasemien käyttö

Useista roboteista ja robottiohjaimesta koostuvan aseman käyttö soveltuu erityisesti symmetristen työkappaleiden, monikaaristen hitsien sekä hitsausmuodonmuutoksille alttiiden osien hitsaukseen. Monirobottitekniikka soveltuu myös erityisesti hitsauskiinnittämättömään valmistukseen. Robotti voi pitää työkappaletta sillä aikaa kun toinen robotti hitsaa sitä. (Monirobottitekniikka.) Suomessa monirobottiasemia käytetään esimerkiksi erilaisten kehikkojen ja palkkien hitsauksessa. Yleisesti ottaen kappaleiden pitää olla helposti hitsattavia ja yksinkertaisia niin, että robottikäsi-ivarret pystyvät toimimaan samassa tilassa ilman törmäysvaaraa. Tällaisia kappaleita hitsattaessa suuret tuotesarjat ovat vaatimuksena, kun käytetään monirobottiasemia. (Louhisola 2010a.)

Monirobottiasemia käytetään paljon autoteollisuudessa, niin piste- kuin kaarihitsaukseenkin. Monirobottiratkaisuista voi olla myös hyötyä suurten kappaleiden hitsauksessa. Suuret kappaleet voivat vaatia lisää robottikäsi-ivarsia, jotta ulottuvuutta saadaan kasvatettua. Suomalaisessa teollisuudessa monirobottiasemia, joissa toimivat hitsausrobotti ja apurobotti, voidaan hyödyntää myös piensarjojen valmistuksessa, missä tuotekirjo on laaja.

#### 4.3.1 Kaksi hitsaavaa robottia

Kahta hitsaavaa robottia käytetään erityisesti symmetrisille kappaleille, kuten kuvassa 6. Tällaisessa tapauksessa molemmilla roboteilla hitsataan samanaikaisesti ja kiertoajat jakaantuvat tasan molemmille roboteille. Näin kappale saadaan nopeammin hitsattua kuin yhdellä robotilla. Kahta hitsaavaa robottia käytettäessä lämmöntuonti tasoittuu kappaleessa ja hitsausmuodonmuutokset saadaan minimoitua.



Kuva 6. Kaksi robottia hitsaamassa symmetristä kappaletta (Bredin 2005, s. 27).

Autoteollisuudessa käytetään paljon kahden hitsaavan robotin monirobottiasemia. Suurin osa autoteollisuuden osista on tehty useista lyhyistä ja katkonaisista hitseistä. Kahden robotin käyttö voi lyhentää hitsausajan puoleen ja lisäksi lyhentää siirtymäaikoja, joita robottikäsivarsi käyttää polttimen siirtämiseen uuteen sijaintiin. Tämän ansiosta kahta robottia käyttämällä päästään usein lyhyempiin työkiertoaikoihin. (Anderson 2006.)

#### 4.3.2 Kolme tai useampia hitsaavia robotteja

Useampaa kuin kahta robottia käytetään, kun niiden käytöllä pystytään pienentämään hitsaukseen kuluvaan aikaan riittävästi. Vaiheajoja saadaan pienennettyä lisäämällä robottikäsivarsien lukumäärää.

Autoteollisuuden kehityssuunta on mennyt kohti useampien robottien käyttöä. Tuottavuutta nostetaan lisäämällä monirobottiasemaan kolmas tai vielä useampia robotteja. Autoteollisuuden tuotannossa käytetään kalliita laitteita ja robotin lisääminen asemaan on perusteltua, kun robotti voi maksaa vain noin 1/10 osan koko aseman hinnasta. Jos hitsattava kappale ei ole symmetrinen, kiertoajat eivät välttämättä jakaannu tasaisesti kaikille kolmelle robotille. Ylimääräisen pääoman käyttämistä kolmanteen robottiin

voidaan pitää huonona vaihtoehtona, jos se työskentelee vain pienen prosenttiosuuden robottien kokonaistyökierrosta. Jotkut valmistajat ovat kuitenkin ymmärtäneet, että robotin lisääminen asemaan on perusteltua, jos se pystyy leikkaamaan hitsausajasta 10 sekuntia 60 sekunnin kokonaistyökierrosta, vaikka kolmas robotti olisikin toimettona suuren osan työajasta. Tässä esimerkissä 10 sekuntia lyhyempi kiertoaika voi nostaa kokonaistuottavuutta lähes 17 %. (Anderson 2006.)

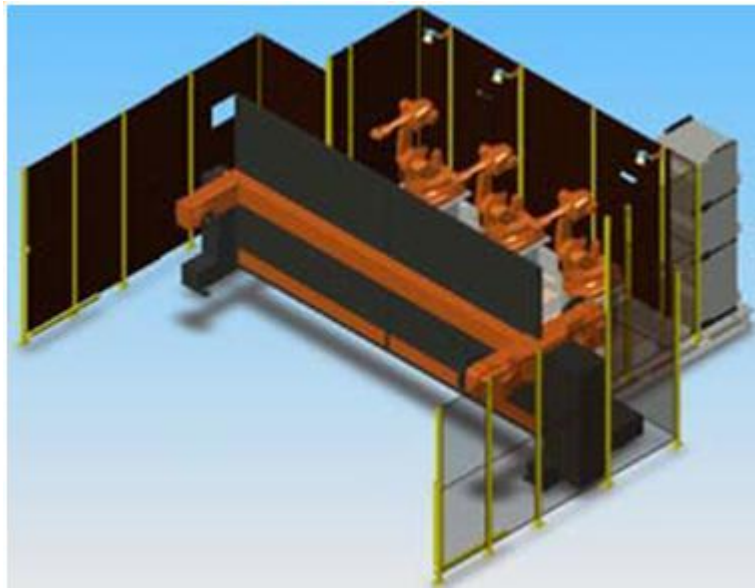
#### 4.4 Laitteisto

Monirobottiasemien laitteisto voi olla samanlainen kuin yksittäisen robotin hitsausasema, mutta robottikäsivarsia ja siihen liittyviä hitsauslaitteita, kuten virtalähteitä, on tietenkin enemmän kuin yksi. Turvalaitteilla on samat vaatimukset kuin yksittäisen robotin hitsausasemissa. Robotin ohjaimelta vaaditaan suurta laskentatehoa ja sitä kautta usean robotin samanaikaista ohjausta. Kun kaikki robotit toimivat yhden ohjaimen alaisuudessa, päästään täysin synkronoituun ohjaukseen. Ohjaus voidaan suorittaa myös useilla ohjaimilla, jolloin jokaisella robotilla on oma ohjaimensa. Monirobottiasemien ohjelmointiin käytetään yleensä perinteistä opettamalla ohjelmointia. Piensarjavalmistuksessa käytetään etäohjelmointijärjestelmiä, joilla on mahdollista käyttää aseman ja työkierron simulointia hyväksi. Reaaliaikaisen laadunvarmistuksen kannalta monirobottiaseman laitteistossa pitää olla erilaisia anturointeja sekä mahdollisesti näköjärjestelmiä. Kun järjestelmässä on monia eri laitteita, tarvitaan myös kaapeloinnit ja tietoverkkoyhteydet liittämään järjestelmä yhtenäiseksi.

Monirobottiaseman voi koota erillisistä laitteista, mutta robottivalmistajat toimittavat myös valmiita standardoituja monirobottiasemia. Esimerkiksi ABB:n FlexArc® monirobottiasema, joka on kuvassa 7, koostuu seuraavista laitteista (FlexArc® s. 1):

- IRB 1600 tai IRB2400 robotteja
- IRC 5 robottiohjain
- Tuotteeseen soveltuva kappaleenkäsittelijä
- Turvallisuusstandardin mukainen asemaa ympäröivä turva-aita
- HMI käyttöliittymä
- Hitsausvirtalähteet

- Hitsauspolttimet robotteihin (kaasu- tai vesijäähdytteisiä)
- Hitsauspolttimen puhdistuslaite
- Hitsausoperaattorin havaitseva laite
- Tarvittavat kaapelit, jotka on integroitu aseman perustaan
- Turvallisuuslaitteet, kuten valoverhot tai turvarajat
- Muut halutessa valittavat laitteet, kuten esimerkiksi railonseurantamenetelmä, langankatkaisulaite tai etäohjelmointijärjestelmä.



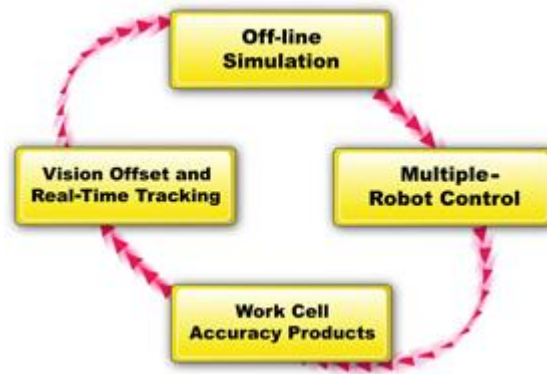
Kuva 7. ABB:n standardoitu 750K Multi-Move monirobottiasema (FlexArc® s. 1).

#### 4.5 Älykäs robottihitsaus

Monirobottiasemia suunniteltaessa ja käytettäessä on useita tärkeitä osa-alueita otettava huomioon. Monirobottiasemien tehokkaan käytön edellytyksenä on kaikkien osa-alueiden oikea ja kunnollinen toiminta, jotta koko asema toimii tehokkaasti. Älykkään robottihitsauksen osa-alueet pätevät hyvin myös monirobottihitsaukseen.

Kuten Erickson kirjoittaa artikkelissaan (2006), tuottavan älykkään robottihitsausaseman suunnitteluun kuuluu monta vaihetta. Näihin vaiheisiin kuuluu esisuunnittelu simuloinnilla, virtuaalisten mallien kääntäminen oikeaan toimintaympäristöön, useiden robottien käyttö asemassa niin kappaleenkäsittelyyn kuin hitsaukseenkin sekä näköjärjestelmien hyväksikäyttö kompensoimaan kappaleiden vaihteluita. Älykkäässä robotisoidussa

kaarihitsauksessa on neljä kriittistä osa-aluetta, jotka on esitetty kuvassa 8. Ympyrässä olevat kriittiset osa-alueet ovat keskenään riippuvaisia. Eli, jos yksikin osa-alue ei toimi kunnolla, koko hitsausasema ei toimi tehokkaasti. (Erickson 2006.)



Kuva 8. Älykkään robottihitsauksen neljä kriittistä osa-aluetta (Erickson 2006).

Kuvan osa-alueet ovat Off-line Simulation eli tuotannon ulkopuolinen simulointi, Multiple-Robot Control eli monirobottiohjaus, Work Cell Accuracy Products eli tarkat kappaleet työasemassa ja Vision Offset and Real-Time Tracking eli näköjärjestelmien hyödyntäminen ja hitsauksen reaaliaikainen seuranta.

Monirobottihitsaukseen liittyviä eri osa-alueita käsitellään seuraavissa kappaleissa. Tuotannon ulkopuolista simulointia ja tarkkojen kappaleiden siirtämistä virtuaalisesta ympäristöstä todelliseen ympäristöön käsitellään ohjelmoinnin yhteydessä. Monirobottiohjauksesta kerrotaan ohjausjärjestelmät ja ohjaus kappaleessa ja näköjärjestelmiä sekä hitsauksen reaaliaikaista seuranta käsitellään laadunvarmistuksen yhteydessä.

#### 4.6 Ohjausjärjestelmät ja ohjaus

Robotin ohjausjärjestelmät ovat elektronisia ohjelmoitavia järjestelmiä, jotka ovat vastuussa robotin liikkeistä ja ohjauksesta. Robottiohjaimella on tärkeitä tehtäviä, joita sen pitää suorittaa liikuttaakseen ja ohjatakseen robottia, mahdollistaakseen ohjaimien ja tietokoneen välisen kommunikaation, mahdollistaakseen liittymän antureille ja tarjotakseen tarvittavat ominaisuudet, jotka mahdollistavat robotin ohjelmoinnin, robotin ja käyttäjän välisen käyttöliittymän sekä valmiiden ohjelmien ajon. (Pires 2007, s. 86.)

Samanaikainen ohjaus on ohjaustapa järjestelmille, joissa on enemmän kuin yksi mekanismi, kuten esimerkiksi manipulaattori ja sen lisäksi kappaleenkäsittelijä, joka on ulkoinen akseli. Tämä tapa mahdollistaa käyttäjälle manipulaattorin ja ulkoisen akselin käytön synkronoidusti toistensa kanssa. Synkronointi tarkoittaa, että manipulaattori ja ulkoinen akseli alkavat liikkumaan samanaikaisesti ja lopettavat liikkeen samanaikaisesti. (Simultaneous Control.)

Yleensä monirobottiasemia ohjataan synkronoidusti yhdellä ohjaimella, jolloin kaikki robotit lähtevät liikkeelle ja lopettavat liikkeen samanaikaisesti. Myös häiriön tapahtuessa kaikki aseman robotit pysähtyvät samanaikaisesti. Joissain tapauksissa on myös perusteltua käyttää jokaiselle robotille omaa ohjainta. Tällaisessa tapauksessa ainoastaan se robotti pysähtyy, jossa häiriö tapahtuu. Muut robotit voivat jatkaa toimintaansa, eikä koko aseman tuotanto pysähdy häiriön korjaamisen ajaksi.

#### 4.6.1 Monirobottiohjaus

Usean robotin toimiessa samassa järjestelmässä, monirobottiohjaus voi nostaa aseman tuottavuutta, kun yhdellä ohjaimella ohjataan kahta tai useampia robotteja. Esimerkiksi kuvan 9 robotit 1 ja 2 voivat hitsata suurta ajoneuvon kehikkoa vasemmalta puolelta, samaan aikaan kun robotit 3 ja 4 hitsaavat oikeaa puolta niin, että kaikki liikkeet ovat synkronoituja monirobottiohjaimella. (Morel 2003.) Yhtä robottiohjainta käytettäessä, pystytään robotit ohjelmoimaan toimimaan joko toisistaan riippumatta tai synkronoidusti. Monirobottiasemisissa voidaan käyttää useita ohjausyhdistelmiä. Aseman robotit voivat suorittaa samanaikaisesti eri tehtäviä, samaa tehtävää tai eri vaiheita samasta tehtävästä. (Monirobottitekniikka.) Useita robotteja yhdellä ohjaimella synkronoidusti ohjattaessa pystytään maksimoimaan robottien ulottuvuus (Erickson 2006).



Kuva 9. Neljä hitsaavaa robottia, jotka toimivat synkronoidusti yhdellä monirobottiohjaimella (Morel 2003).

Yhdellä ohjaimella voidaan ohjata eri robottimalleja, joissa kaikissa voi olla erilaiset ulottuvuudet, kuormankantokyvyt sekä eri määrä akseleita. Esimerkiksi neljän robotin monirobottiasemaan voidaan hankkia standardiohjaimet ja yhdistää kaikki nämä ohjaimet yhteen ohjaimeen, robotin 1 ohjaimeen. Tällaisessa tapauksessa roboteilla, joista ohjaimet on yhdistetty, on silti täysin toimivat robottiohjaimet, joissa on tarvittavat laitteet, kaapelit ja käsiohjaimet. Robotit 2, 3 ja 4 voidaan erottaa monirobottiasemasta ja ottaa käyttöön itsenäisinä yksikköinä tai muissa monirobottiasemissa. Näin toimittaessa, voidaan tarvittaessa käyttämättömiä laitteita ja muita komponentteja käyttää robotin 1 ohjaimen varaosina. (Morel 2003.)

Kaikilla automatisoiduilla järjestelmillä on kriittisiä komponentteja, jotka voivat hajotessaan aiheuttaa tuotantokatkoksen. Ohjaimen toimintahäiriö monirobottiasemassa pysäyttää yleensä tuotannon koko asemasta, toisaalta osittaista tuotantoa voidaan jatkaa tällaisessa asemassa erillisillä ohjaimilla. Kehittynyt ohjainjärjestelmän ohjelmisto mahdollistaa kuitenkin usein viallisen robotin eristämisen erilliseksi asemasta niin, että tuotanto voi jatkua. Robotti voidaan korjata tai vaihtaa ja huollon jälkeen sen alkuperäisiä ohjelmia voidaan jatkaa. (Morel 2003.)

#### 4.6.2 Häiriötilanteet

Laitteiden tai prosessin häiriön aiheuttamasta tuotantokatkoksesta voi aiheutua ongelmia, johtuen monirobottiaseman monimutkaisuudesta. Robotin täytyy kommunikoida muiden synkronoidusti ohjattujen laitteiden kanssa kulkiessaan turva-asemaan, sekä palatessaan

sieltä viimeisimpään sijaintiinsa. Ohjausjärjestelmissä voi olla tätä ongelmaa helpottamassa hitsiradan tallennustoiminto, jokaiselle asemassa toimivalle robotille. Esimerkiksi ABB:n IRC5 ohjaimessa on tällainen toiminto. Kun tiedetään virhepisteeseen johtava rata, mahdollistaa se robotin, jossa on tapahtunut virhe, paluun synkronoidusti ohjattujen robottien kanssa turva-asemaan. Samaa rata tietoa käytetään myös kun häiriöstä on palautettu, palauttamaan kaikki robotit niihin kohtiin ohjelmassa, jossa virhe tapahtui. Jotkut virheet vaativat käskyn uudelleen suorituksen ennemmin kuin robotin palauttamisen ohjelman viimeiseen pisteeseen. Tätä vaaditaan esimerkiksi valokaaren sammussa. Tässä tapauksessa kysymykseen tulee uudelleen sytytys, eikä peruuttaminen edelliseen pisteeseen. Monirobottiasemissa kaikki laitteet tulee olla ohjattu samanaikaisesti käskyn uudelleen suorituksen aikana. (Bredin 2005, s. 28.)

Edellisessä esimerkissä on todennäköisintä, että valokaaren sammuminen tapahtuu ohjelmoidulla radalla sen jälkeen kun käsky on suoritettu, mutta ennen kuin robotti on suorittanut liikkeensä radan loppuun. Tässä tapauksessa vaaditaan, että virheestä palautumistoiminto suoritetaan pisteessä, jossa valokaari sammui, eikä suoritettua käskyä jälkeä. Ohjausjärjestelmissä, kuten ABB:n IRC5 ohjaimessa on toimintoja, joilla pystytään vastaamaan tällaisiin vaatimuksiin. (Bredin 2005, s. 29.)

#### 4.6.3 Robottivalmistajien tuotteita

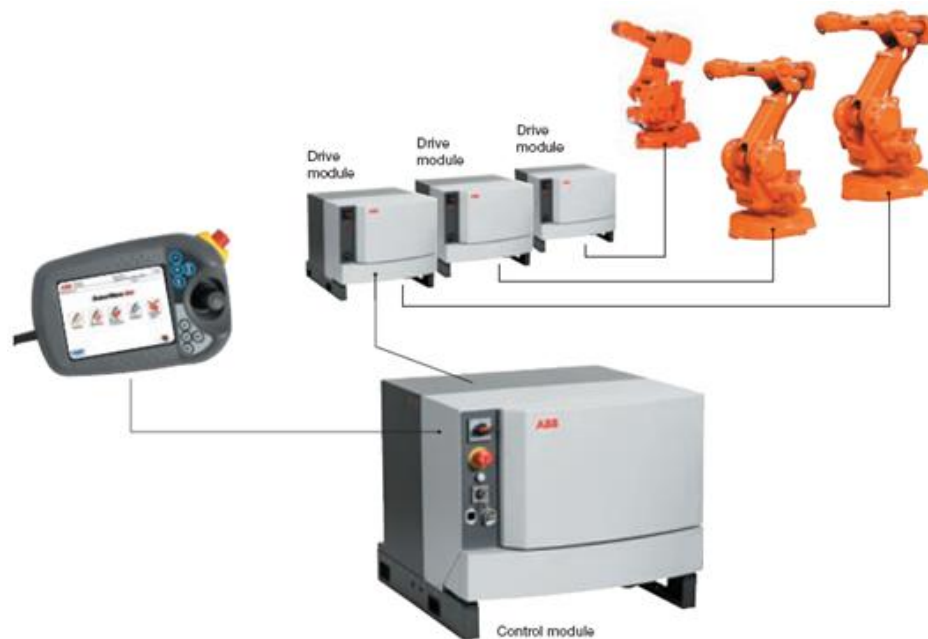
Motomanin kehittämä robottiohjain DX100 pystyy ohjaamaan yhteensä 72 akselia, mikä mahdollistaa yhteensä kahdeksan robotin samanaikaisen ohjauksen. DX100 ohjain on esitetty kuvassa 10. Sillä pystytään ohjaamaan myös I/O-laitteita sekä tietoliikennettä. Ohjaimen ominaisuuksia ovat nopea laskentanopeus, kehittynyt robottivarren ohjaus, sisäänrakennettu törmäyksentunnistustoiminto sekä nopea I/O-vasteaika. (DX100 2009.)





Kuva 10. Motomanin DX100 robottiohjain, jolla voidaan ohjata yhteensä 72 akselia (DX100 2009).

ABB on kehittänyt IRC5 ohjausjärjestelmän, joka mahdollistaa neljän robotin, mukaan lukien kappaleenkäsittelylaitteet ja muut laitteet, täysin synkronoidun työskentelyn. Ohjaimen järjestelmässä olevan tietokoneen laskentateho mahdollistaa eri liikeratojen laskemisen 36 servoakselille, samalla ohjaten neljää eri käyttömoduulia. Jokaisella robotilla on oma käyttömoduulinsa, kuten nähdään kuvasta 11. Eli, jos haluaa lisätä robottikäsiensä määrää asemassa, tarvitsee sille hankkia ainoastaan oma käyttömoduulinsa. Kuvassa oleva Control module tarkoittaa ohjausyksikköä ja Drive module tarkoittaa käyttömoduulia. (ABB IRC5 2006.)



Kuva 11. ABB:n IRC5 ohjausjärjestelmä maksimissaan neljälle robotille (IRC5, s. 5).

Kun kaikki robottien liikkeet ovat synkronoituja, prosessin virtautus voidaan optimoida ja läpimenoaikoja lyhentää. Jokaisen robotin tietäessä mitä muut robotit tekevät, törmäyksien vaara on myös minimissään. (ABB IRC5 2006.)

Synkronoidussa liikkeessä robotit tai kappaleenkäsittelylaitteet on rinnastettu liikkumaan suhteessa työkappaleeseen. Kun hitsattava kappale liikkuu, liikkuvat muut laitteet sen suhteen. ABB:lle yksilöllistä on, että jokaiselle aseman roboteista tai kappaleenkäsittelijöistä voidaan tehdä täysin oma ohjelma. IRC5 ohjaimella kaikki aseman robotit voivat toimia itsenäisesti, osittain synkronoidusti tai täysin synkronoidusti. (Bredin 2005, s. 27.)

#### 4.7 Ohjelmointi

Robottien ohjelmointi voidaan jakaa on-lineohjelmointiin ja off-lineohjelmointiin, eli etäohjelmointiin. On-lineohjelmointiin kuuluva opettamalla ohjelmointi on varsin yleinen robotin ohjelmointimenetelmä. Siinä robotille opetetaan liikeradat ja ohjelman radat taltioidaan pisteittäin. Etäohjelmointi suoritetaan erillisessä ohjelmointijärjestelmässä niin, että robotin tuotanto ei keskeydy ohjelmoinnin ajaksi. Ohjelma voidaan laatia, testata ja sen virheet voidaan karsia ohjelmointijärjestelmässä ennen ohjelman siirtämistä tuotantoon. (Aaltonen & Torvinen 1997, s. 148.)

Opettamalla ohjelmointi keskeyttää tuotannon ohjelmoinnin ajaksi ja se on hidasta, joten etäohjelmointi on parempi vaihtoehto monirobottiaseman ohjelmointiin, jos ohjelmointi täytyy suorittaa usein asemassa. Etäohjelmointi sekä tuotteiden yhteneviin piirteisiin pohjautuva makro-ohjelmointi ovat hyviä vaihtoehtoja monirobottiaseman sekä erityisesti kiinnittimettömän hitsauksen ohjelmointiin. (Jääskeläinen 2007, s. 26.)

Monirobottiasemien ohjelmoinnin suuri haaste on törmäysten välttäminen, koska siinä useat robotit työskentelevät lähekkäin pienessä tilassa. Monirobottiohjainta käytettäessä ohjelmoija voi tehdä ohjelman asemassa toimiville roboteille, käyttäen etäohjelmointia tai käsiohjainta, jolla opetetaan ohjelman pisteet roboteille. Etäohjelmointia käytettäessä ohjelmointi yksinkertaistuu ja ohjelmointiaika lyhenee esimerkiksi, etäohjelmointijärjestelmiin sisäänrakennettujen törmäystarkasteluiden sekä kopiointi- ja peilausominaisuuksien ansiosta. Monirobottiohjainta käytettäessä verkkoyhteyttä, muita

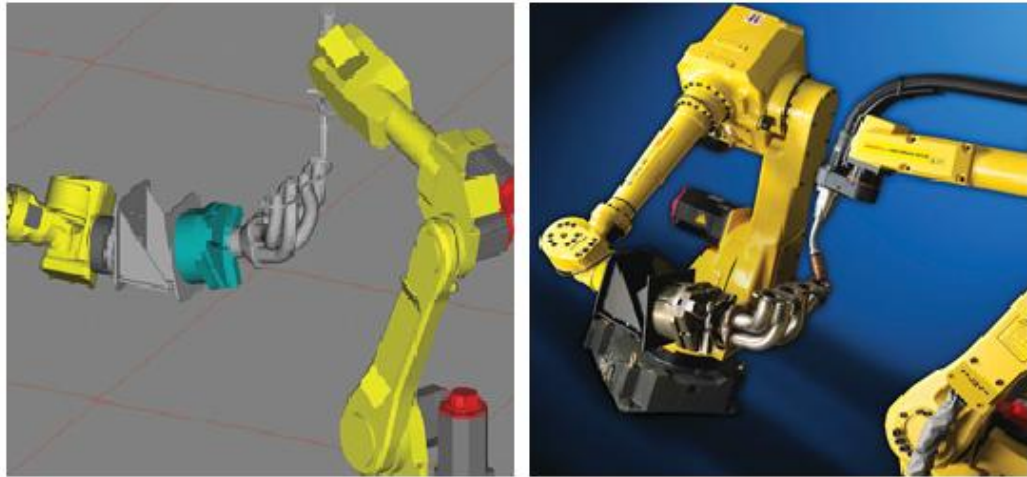
tietokoneita tai muita ulkoisia laitteita ei tarvita ohjelman siirtämiseen, koska käytössä on vain yksi sama ohjain usealle robotille. (Morel 2003.)

Käytännössä monirobottiasemien ohjelmointi tapahtuu kuitenkin lähes poikkeuksetta opettamalla. Koska monirobottiasemissa hitsattavat sarjat ovat suuria, ohjelmointi suoritetaan vain harvoin. Yhtä ohjelmaa voidaan käyttää kuukausia, ennen kuin asemaan tarvitaan uutta ohjelmaa. Näin opettamalla ohjelmointi on tehokkaampaa ja halvempaa, kuin etäohjelmointijärjestelmän hankinta ja sen käytön opettelu. (Louhisola 2010a.) Kun taas hitsataan pieniä ja vaihtelevia sarjoja, joissa ohjelmointi täytyy suorittaa usein, on etäohjelmointi tehokkaan käytön vaatimuksena. Tällaisia sarjoja voidaan hitsata hyödyntämällä kiinnittimetöntä hitsausta.

#### 4.7.1 Etäohjelmointi

Etäohjelmoinnin ensimmäinen vaihe on robottiaseman tarkan simulointimallin tekeminen. Simulointi lähtee liikkeelle tuotteista, jotka asemassa tullaan hitsaamaan. Mallille tehdään myös ulottuvuus- ja törmäystarkastelut. Seuraavassa ohjelmoinnin vaiheessa ladataan hitsausaseman malli, jonka jälkeen ladataan kiinnitin sekä tuote hitsausaseman simulointimalliin. Tämän jälkeen ohjelmaan luodaan hitsiradat. Ne voidaan tehdä parametrisesti valmiita hitsityyppejä käyttäen. Hitsausohjelma robotille tehdään määritetyn hitsausjärjestyksen perusteella. Ohjelman teon jälkeen, se tarkistetaan simuloimalla ja suorittamalla törmäystarkastelu. Lopuksi ohjelma vielä käännetään robottikohtaiselle kielelle, jos se on yleiskielellinen, ja siirretään tuotantoon roboteille. (Robottien etäohjelmointiprojektin toteutus 2005, s. 22; 31.)

Robotisoinnin simuloinnissa kriittistä on, että tarkasti luodut mallit vastaavat todellista fyysisten laitteiden toimintaympäristöä. Kuvassa 12 on esitetty tuotannon ulkopuolella simuloitu robottiaseman tarkka malli ja oikea robottiasema. Simuloinnin pitää tarjota työkalut kappaleiden 3D CAD-mallien ohjelmaan tuontiin ja robottiohjelmien helppoon luontiin hyödyntäen valmiita hitsityyppejä. Käyttöliittymä pitää olla suunniteltu hitsareille, jotka ymmärtävät hitsausprosesseja, kuten oikean poltinkulman ja kuljetussuunnan niin, että he voivat nopeasti havainnollistaa malliin halutut hitsausominaisuudet. Luotujen ohjelmien tulee olla täydellisiä ja valmiita ladattavaksi robotille, jotta aikaa vieviltä virheiltiltä ja uudelleen ohjelmoinnilta välttyttäisiin. (Erickson 2006.)



Kuva 12. Monirobottiaseman simuloitu malli ja oikea robottiasema (Erickson 2006).

#### 4.7.2 Kalibrointi

Kun tietokoneella on tehty hitsausasemasta tarkka malli, täytyy virtuaalimalli ja todellinen asema kalibroida. Simuloitu malli on periaatteessa täydellinen, kun kaikki osat ovat täsmällisesti mallinnettu ja sijoitettu tarkasti asemaan. Todellisessa robottiasemassa on kuitenkin paljon vaihteluita verrattuna simulointimalliin. Niinpä asema pitää kalibroida, jotta simuloitun mallin ja todellisen aseman eroavaisuudet saadaan minimoitua. Kalibrointiprosessi on hyvä toteuttaa roboteissa olevien automaattisten työkalujen avulla. Näin kalibrointi hoituu automaattisesti ilman käyttäjän menettelytavan aiheuttamia vaihteluita. Kaksi käyttäjää tai jopa sama käyttäjä ei pysty suorittamaan kalibrointitehtäviä täysin toistettavalla tavalla. Automaattisilla työkaluilla voidaan myös palautua virhetilanteista, kuten rikkoutuneesta robotin työkalupäästä, säilyttäen asema tarkkana. (Erickson 2006.)

Kun kalibrointi suoritetaan robotilla, kiinnitetään terävä mittapiikki robotin työkaluun. Mittapiikki tulee pystyä kohdentamaan riittävän tarkasti haluttuihin vastinpiikkeihin. Mittauksen jälkeen pisteet tuodaan simulointiympäristöön ylöslataamalla opetettu robottiohjelma. Simulointiohjelmistojen kalibrointifunktiota käyttämällä voidaan korjata simulointimallia automaattisesti vastaamaan uusia asema- ja asentoparametreja. Ulkoisia mittalaitteita käyttämällä saadaan tarkempia mittaustuloksia kuin robottia käytettäessä ja robotista johtuvat mittausvirheet poistuvat. Jos rakenteiden mekaaniset joustot ja

epälinearisuudet ovat huomattavia, on ulkoisen mittalaitteiston käyttö välttämätöntä. (Kuivanen 1999, s. 104.)

#### 4.7.3 Robottivalmistajien tuotteita

ABB on kehittänyt etäohjelmointisovelluksen RobotStudio 5:n, johon on kehitetty myös monirobottiasemien ohjelmointia helpottavia toimintoja. Siinä on ominaisuus, jolla voidaan käyttää virtuaalisesti useita robotteja samanaikaisesti ja yhdellä ohjaimella voidaan ohjata samanaikaisesti neljää robottia. Etäohjelmointia käytettäessä voidaan virtuaaliympäristössä tehdä laitteistokokeiluja ja tuotekehitystä samanaikaisesti todellisen aseman asennuksen kanssa. Näin tuotanto saadaan käynnistettyä aikaisemmin ja sitä kautta voidaan lyhentää tuotteen markkinoilletuloaika. Ohjelma helpottaa monirobottiaseman ohjelmointia. Ohjelma luo automaattisesti radan jokaiselle robotille, äärettömästä määrästä mahdollisista käytettävissä olevista vaihtoehdoista. Nämä automaattisesti luodut radat johtavat lyhimpään kaikkien nivelten yhteenlaskettuun liikkeeseen, ottaen huomioon rajoitukset, kuten nivelten tai työkalun suuntauksen rajoitukset. (ABB Robotstudio 5 2006.)

Useita yhteensovitettuja tai erikseen toimivia robotteja voidaan ohjelmoida osaksi monirobottiasemaa. CAD-mallia hyödynnettäessä ohjelma luo tarkan radan robotille minuuteissa, myös monirobottiasemia ohjelmoitaessa. Ohjelmassa voidaan analysoida automaattisesti robottien ulottuvuuksia, jolloin aseman layout saadaan optimoitua. Ohjelmassa voidaan suorittaa myös törmäystarkastelu, jolla pystytään välttämään kalliit vahingot. (ABB RobotStudio 5 2006.)

#### 4.8 Laadunvarmistus

Robottihitsauksen laadunvarmistus voidaan jakaa hitsausta edeltävään, hitsauksen aikaiseen ja sen jälkeiseen tarkastukseen. Laadunvarmistusta ajatellen, robottihitsaus luo vaatimuksia railonvalmistukselle. Railonvalmistuksen tulee olla tarkkaa, jotta robotisoitu hitsaus onnistuu. Robotisoidussa hitsauksessa tulee myös varmistaa, että hitsi kohdistuu oikeaan paikkaan. Tähän päästään esimerkiksi erilaisia antureita käyttämällä.

Uuden tekniikan myötä on siirrytty hitsausta edeltävistä toimenpiteistä hitsauksen aikana tapahtuviin toimenpiteisiin. Hitsausprosessista on mahdollista kerätä tarkkaa ja monipuolista tietoa ja analysoida sitä myöhemmin. Hitsausparametreja voidaan myös säätää useita tuhansia kertoja sekunnissa. Miehittämättömän tuotannon, johon monirobottiasemilla voidaan pyrkiä, yksi edellytys on automaattinen valvonta ja ennaltaehkäisy. Tämä tarkoittaa käytännössä kykyä reagoida hitsausvirheisiin. Jos asetetut raja-arvot ylitetään, voidaan hitsaus keskeyttää ja välittää tieto tästä käyttökunnalle. (Salmela 2007, s. 43.) Monirobottiasemissa lukuisat hitsit ja niitä hitsaavat robottikäsivarret voivat lisätä hitsauksen epäonnistumisen riskiä. Reaaliaikaisella laadunvarmistuksella pyritään ratkaisemaan tämä ongelma.

Monirobottiasemissa myös valokaaren syttymisvaikeuksien eliminoiminen on erittäin tärkeää. Monirobottiasemissa, jossa käytetään esimerkiksi kuutta hitsaavaa robottia, on näin ollen valokaaria myös kuusi. Tämän takia valokaaren syttyminen tulee saada varmistettua ja sen syttyminen sekä sammuminen nopeaksi. Kuten Salmela kirjoittaa artikkelissaan (2007, s. 43), hitsattaessa paljon lyhyitä hitsejä, vie sytytys ja sammutus kohtuuttoman paljon aikaa. Esimerkiksi Arc Lift sytytys- ja sammutustekniikalla päästään huomattavasti nopeampaan valokaaren sytytykseen ja lopetukseen kuin perinteisellä tekniikalla. Arc Lift tekniikalla valokaari syttyy varmemmin, roiskeita syntyy vähemmän sekä polttimen osat säästävät rasitukselta. Lopetuksessa hitsauslangan muoto jää optimaaliseksi, jolloin uudelleen sytytys onnistuu taas hyvin. Laatu aloitus- ja lopetusasteissa on myös hyvä. (Salmela 2007, s. 43.)

#### 4.8.1 Reaaliaikainen laadunvarmistus

Jotta robotisoidun järjestelmän hitsaustapahtumaa voidaan kontrolloida tehokkaasti, tulee järjestelmän sopeutua hitsausprosessin aikaisiin olosuhteisiin, kuten käsinhitsaajakin tekee. Järjestelmän pitää pystyä liikuttamaan hitsauspoltinta tehokkaasti ja kontrolloimaan myös virtalähdettä. Antureiden käyttö on tärkeää robottihitsausjärjestelmissä, jotta haluttuun lopputulokseen päästään. (Pires, Loureiro & Bölmsjö 2006, s. 112–113.)

Yksi robottihitsauksen laadunvarmistuksen huomionaihe on, että hitsattavien kappaleiden välillä on vaihteluita. Vain virtuaalimallit ovat täydellisiä kappaleita, juuri sellaisia kuin CAD-malleilla on tehty. Toisaalta todelliset kappaleet vaihtelevat suunnittelultaan ja myös

kappaleiden välillä on vaihtelua sekä hitsauksen aikana kappaleeseen syntyy muodonmuutoksia. Tämä luo tarpeen hitsauksen reaaliaikaiselle seurannalle ja näköjärjestelmien käytölle. (Erickson 2006.)

Näköjärjestelmä 2D- tai 3D-kameroilla voi kompensoida kappaleiden väliset vaihtelut. Näin kalibroitu hitsausasema voi suorittaa hitsauksen vaatimusten mukaisesti. Järjestelmät pitää integroida saumattomasti robottiasemaan, mahdollistaen vaadittavan tiedonkulun ilman operaation viivästyksiä. Käyttöliittymä ja helppo ohjelmien luonti tulee olla avainasemassa ja tarkoin tutkittu, kun tällaista järjestelmää valitaan. Jotkin kappaleet voidaan myös ohjelmoida käyttämään kosketusantureita löytämään kappaleiden välisiä poikkeamia. Poikkeamien havaitsemiseen käytetään paljon valokaaren läpi tapahtuvaa railonseurantaa, todellisen railon seuraamiseen hitsauksen aikana. Nämä kaikki keinot antavat periaatteessa asemalle "silmät", joiden avulla voidaan tehdä tarvittavat säädöt hitsausjärjestelmään niin, ettei kappaleiden poikkeamista aiheudu laatuvirheitä. (Erickson 2006.)

Antureiden käyttö hitsauksen aikana on haastavaa. Hitsausympäristö on hyvin vaativa, siinä on korkeat lämpötilat, voimakas valo ja suuret virrat. Tämän takia prosessiin pitää käyttää tarkoituksen mukaisia antureita. (Pires et al. 2006, s. 77–78.)

Railon hakuun ja seurantaan voidaan käyttää useita tekniikoita. Yksi keino on käyttää valokaaren läpi tapahtuvaa railonseurantaa, jossa käytetään sivuttaispoikkeutusta, jolloin virran muutoksesta saadaan ohjaustieto. (Pires et al. 2006, 108–109.) Tämä railonseurantatekniikka vaatii selkeitä railopintoja (Hiltunen & Purhonen 2008, s. 35). Muita railonseuranta tekniikoita ovat optiset railonseurantamenetelmät, kosketukseen perustuvat menetelmät sekä induktiivinen railonseuranta (Martikainen 2009, s. 142; 150; 152).

Optisilla järjestelmillä päästään tarkempiin tuloksiin kuin valokaaren läpi tapahtuvalla railonseurannalla. CCD-kameran käyttö on yksi menetelmistä, mutta sen toimintaa häiritsee valokaaresta tuleva kirkas valo sekä siitä johtuva magneettikenttä. Tämän takia CCD-kameran käyttö ei ole ideaalista reaaliaikaiseen railonseurantaan. Sitä voidaan kuitenkin käyttää railon hakuun, hitsisulan tarkkailuun ja sillä voidaan seurata hitsin laatua. (Pires et al. 2006, s. 109.)

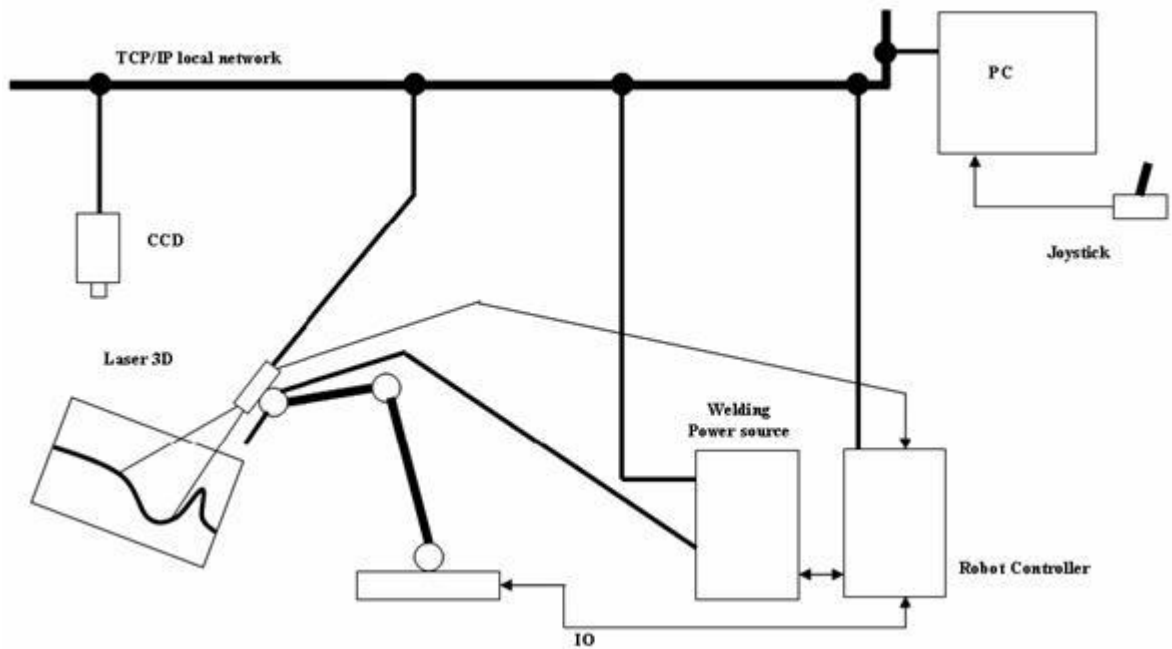
3D-laserkameran käyttö soveltuu kehittyneeseen hitsauksen havainnointiin. 3D-laserkamerat ja niihin liittyvät prosessointilaitteet ovat hyödyllisiä havainnoimaan monia geometrisia parametreja ja ne soveltuvat myös sekä railonhakuun että railonseurantaan. (Pires et al. 2006, s. 111.) 3D-laserkameraa voidaan käyttää myös esimerkiksi railotilavuuden ja ilmaraon määrittämiseen. Esimerkiksi robotin kuljettaman hitsauspolttimen nopeutta voidaan säätää ilmaraon mukaan yhdessä hitsaustehoon liittyvien parametrien kanssa. (Pires et al. 2006, s. 80.) Optisten järjestelmien käytön suurin haitta on anturien suuri koko. Anturikomponentit ovat herkkiä ja ne vaativat suojakoteloinnin. Ne vaativat myös hyvän jäähdytyksen, koska ne sijaitsevat polttimen lähellä. Anturoinnin takia hitsauspolttimen koko kasvaa ja se rajoittaa mahtumista ahtaisiin kohteisiin. (Hiltunen & Purhonen 2008, s. 35.) Optisten antureiden fyysinen koko rajoittaa niiden käyttöä myös monirobottiasemissa.

Monirobottiasemissa käytetään yleensä sekä railon hakua että seurantaa. Optisia antureita käytetään yleensä vain, jos muut seurantamenetelmät eivät sovellu kyseiseen järjestelmään. Optisten antureiden käyttöä rajoittaa erityisesti niiden korkea hinta sekä edellä mainittu suuri koko. (Louhisola 2010a.)

#### 4.8.2 Laadunvarmistusjärjestelmä

Kun puhutaan monirobottiasemista, joissa on useita robotteja, antureita ja hitsausvirtalähteitä, käytetään tietoverkkoja liittämään yhteen kaikki järjestelmän osat, kuten kuvassa 13. Tietoverkot voivat vaihdella TCP/IP lähiverkoista, joita käytetään esimerkiksi korkean tason kommunikaatioon tietokoneen ja ohjaimen välillä, kenttäväyliin. (Pires et al. 2006, s. 113–114.)





Kuva 13. Osa verkon välityksellä liitetystä monirobottiasemasta (Pires et al. 2006, s. 114).

Järjestelmässä käytettävien antureiden tulisi olla älykkäitä antureita, joissa on mikroprosessori. Kun tällaisia antureita käytetään, ne voidaan tarvittaessa ohjelmoida syöttämään tarvittavaa tietoa määritellyllä tahdilla. Ne voidaan ohjelmoida myös käynnistämään ohjelmoituja tapahtumia, kun siihen tarvittavat tiedot ovat käytettävissä. (Pires et al. 2006, s. 114.)

Esimerkiksi kuvan 13 3D-laserkameraa käytetään railon seurantaan sekä myös hitsauksen havainnointiin. Railon seurantaan tarvitaan vain tiedot anturilta, joita voidaan käyttää ohjaamaan robotti hitsausrataa pitkin niin, että poltin on keskitetty railon keskilinjan suhteen. Yleensä anturi voidaan liittää suoraan robottiohjaimiin, jos siihen on vain tarvittavat signaalit ja ohjelmaliittymät. Tämä on yleensä alhaisen tason rajapinta, joka toimii robotin liikeohjaimessa ja mahdollistaa esiohjelmoitujen ratojen nopeat korjaukset. Toinen vaihtoehto olisi liittää anturi korkean tason rajapinnan kautta, mitä käytetään kuitenkin vähemmän, koska korkean tason käyttöliittymä on hitaampi. (Pires et al. 2006, s. 114.)

Kameraa käytettäessä pääasiallinen tietolähde ei ole kuva hitsausprosessista, koska niihin on yleisesti kerätty paljon tietoa ja ne tarvitsevat jatkoprosessointia, mikä ei sovellu reaaliaikaiseen havainnointiin. Näköjärjestelmien pitää pystyä ottamaan kuvia sekä

purkamaan kuvasta käyttäjän määrittämät oleelliset asiat ja piirteet prosessoimalla otettuja kuvia. Nämä oleelliset asiat ovat yleensä yksinkertaisia asioita, kuten pinta-aloja tai etäisyyksiä, esimerkiksi numeroita, joita on helppo välittää ja jotka eivät ylikuormita verkkoyhteyksiä liian suurilla tietovirroilla. (Pires et al. 2006, s. 115.)

#### 4.8.3 Monitorointi

Hitsauslaadun automaattinen monitorointi on tärkeä ominaisuus tuotantokustannusten alentamista ja hitsauslaadun parantamista ajatellen. Automaattisen havainnointijärjestelmän tulisi pystyä luokittelemaan eri hitsausvirheet, kuten esimerkiksi huokoisuuden, roiskeet, virheellisen kuvun muodon, vajaan tunkeuman sekä läpipalamisen. Markkinoilla on useita kaupallisia hitsausparametrien monitorointijärjestelmiä. Ne kaikki toimivat samalla periaatteella; jännite, virta ja muut prosessi signaalit mitataan, esitetään ja niitä verrataan ennalta asetettuihin nimellisarvoihin. Hälytys laukeaa kun mikä tahansa poikkeama havaitaan ja se ylittää ennalta asetetun raja-arvon. Tärkeä monitoroinnin ominaisuus on, että se tapahtuu hitsauksen aikana ja että saatavaa tietoa käytetään myös hitsausprosessin aikana. (Pires et al. 2006, s. 87.)

## 5. KUSTANNUSTARKASTELU

Robotisointihankkeesta on teknisten määrittelyjen tueksi tehtävä myös tarkat investointilaskelmat. Kun robotisointihankkeesta tehdään taloudellisia laskelmia, kannattaa ne jakaa robottijärjestelmän investointikustannuksiin ja käyttökustannuksiin. (Aaltonen & Torvinen 1997, s. 165.)

Robottijärjestelmän investointikustannuksia ovat (Aaltonen & Torvinen 1997, s. 166):

- **Järjestelmän hankintakustannus** eli robotin tai robottien ostohinta sekä niihin kuuluvat lisälaitteet ja erityisominaisuudet.
- **Suunnittelukustannukset** eli robotisoinnin asentamisen ja käyttöönoton suunnittelu.
- **Asennus- ja käyttöönottokustannukset** eli niihin tarvittavat materiaalit ja työ.

- **Oheislaitteiden sekä työvälineiden hankintakustannukset** kuten esimerkiksi tarraimien hankinta tai ohjelmistojen hankinta.
- **Muut kustannukset.**

Robottijärjestelmän käyttökustannuksia taas ovat (Aaltonen & Torvinen 1997, s. 166):

- **Välittömät palkkakustannukset** eli operaattorien palkkakustannukset.
- **Välilliset palkkakustannukset**, kuten esimerkiksi ohjelmoinnin ja työjohdon palkkakustannukset.
- **Energia-, aine- ja tarvikekustannukset** eli robottijärjestelmän käytöstä johtuvat kustannukset.
- **Huolto- ja kunnossapitokustannukset.**
- **Koulutuskustannukset.**

Vaikka robottijärjestelmällä on paljon kustannuksia, lisää niiden käyttö kustannustehokkuutta. Kun roboteilla päästään keskeyttämättömään työskentelyyn, nettotyöaika on huomattavasti käsityötä suurempi. Robotilla ei ole elpymistarvetta, kuten käsinhitaajalla, eli se pystyy työskentelemään tauotta. Roboteilla on myös suuremmat liikenopeudet, eli tahtiajat ovat käsityötä lyhyemmät. Kun prosessiparametrit ja hitsausasennot saadaan optimoituja, saavutetaan tehokkaampi työskentely. Robotin työskennellessä mahdollisimman tehokkaasti, voi sen tuottavuus vastata kolmea käsinhitaajaa. Yksi suuri etu robotisoinnissa on myös palkkakustannuksien pienentyminen. (Leino 2008, s. 2-3.)

Robottien hintojen laskettua, hitsaavien tai kappaleita käsittelevien robottien lisääminen perinteisiin robottiasemiin voi olla perusteltua. Seuraavassa on esimerkkejä kustannussäästöistä, joita saavutetaan robotin lisäämisellä hitsausasemaan. Kun ajatellaan suomalaista hitsaavaa teollisuutta, seuraavien esimerkkien kaltaisissa tilanteissa robotin lisääminen hitsausasemaan voi tuoda kustannussäästöjä.

Kun ajatellaan monirobottiasemien kustannuksia, robotin käyttö kiinnittimenä säästää kiinnitinkustannuksia. Jos normaalisti hitsauskiinnittimen suunnittelu- ja valmistusaika on noin 1 kk, kustannukset voivat kohota jopa 10 000 €/tuote. Yleensä apurobotin investointi

vastaa noin 10 perinteisen hitsauskiinnittimen kustannusta (Leino 1999, s. 13). Apurobotia käytettäessä kiinnittimenä, tarvitsee uudelle kappaleelle tehdä vain uusi ohjelma. Etäohjelmointina ohjelma on nopea tehdä ja kustannukset ovat pienet. (Leino 2008, s. 19.) Eli kun hitsataan pieniä sarjoja ja tuotteet vaihtelevat paljon, apurobotin käyttö laskee kiinnitinkustannuksia huomattavasti.

Kun tarkastellaan perinteisen robottihitsauksen kustannuksia osittain miehittämättömään robottihitsaukseen, robotisoituun FMS-järjestelmään, nähdään selvä kustannusero. Perinteisessä robottihitsauksessa investointikustannukset ovat luonnollisesti pienemmät, mutta osittain miehittämättömällä robottihitsauksella saavutetaan huomattavia kustannussäästöjä, kuten nähdään taulukosta 1. FMS-robottihitsauksen kokonaiskustannukset ovat merkittävästi pienemmät kuin vastaavat käsinhitsauskustannukset ja perinteiseen robottiasemaan verrattuna vastaava käsinhitsaustyö on huomattavasti alhaisempi. Taulukon 1 FMS-robottihitsauksen laskelmat on tehty yhdelle hitsaavalle robotille, joten kustannustehokkuus paranisi vielä huomattavasti, jos järjestelmään lisättäisiin toinen hitsaava robotti. (Leino 2008, s. 5-6.)

*Taulukko 1. Perinteisen- ja FMS-robottihitsauksen vertailu (Leino 2008, s. 5-6).*

	Perinteinen robottihitsaus	FMS-robottihitsaus
Investointi	150 000 - 250 000€	0,3 - 1,3 M€
Pääomakustannukset	15 -50 €/h (2/1-vuorotyössä)	6000 h/v: 55 €/h
Operaattori	25 €	3600 h/v: 15 €/h
Kokonaiskustannukset	40 - 75 €/h	70 €/h
Vastaava käsinhitsauskustannus	75 €/h (samalla hitsausteholla)	10 hitsaajaa: 250 €/h
	150+ €/h (tuottavammilla prosesseilla)	20+ hitsaajaa: >500€/h
Vastaava käsinhitsaustyö	75 - 15 €/h	25 - 12 €/h

## 6. CASE-ESIMERKIT

Case-esimerkkeinä esitellään kaksi eri monirobottihitsausta käyttävää yritystä. Motoman on toimittanut molempiin yrityksiin monirobottijärjestelmän, joilla on saatu nostettua hitsauksen tuottavuutta. Toinen yrityksistä on kotimainen Leimet Oy ja toinen monirobottiasemista on toimitettu saksalaiselle BMW:lle.

## 6.1 Leimet Oy

Leimet Oy on metallialan yritys, joka on perustettu vuonna 1963. Se valmistaa betonisissa perustuspaaluissa käytettäviä kärki- ja jatkoskappaleita. Paalutarvikkeet ovat standardimitoitteisia ja teräksestä valmistettuja. Leimet Oy:n päämarkkina-alueita ovat Skandinavia sekä läntinen Eurooppa. Yritys käyttää ISO 9001 laatustandardin mukaista laatukäsikirjaa ja sillä on myös jatkuva laadunvalvontasopimus suomalaisen VTT:n kanssa sekä ruotsalaisen SBS:n kanssa. (Leimet.)

Motoman on toimittanut yritykselle monirobottiaseman, jolla kappaleenkäsittely ja hitsaus on automatisoitu. Aseman layout on nähtävissä liitteessä I. Asemassa hitsataan betonipaalun kalliokärkiä, joita on esitetty kuvassa 14. Kalliokärkiä on yhdeksän eri mallia ja sen maksimipaino on 70 kg. (Louhisola 2010b.) Kalliokärki valetaan kiinni betonipaaluun ja se suojaa paalua katkeamiselta sekä ankkuroi paalun vinoonkin kalliopintaan. Kalliokärki kantaa myös voiman, joka kohdistuu paaluelementtiin. (Leimet.)



Kuva 14. Leimet Oy:n monirobottiasemalla hitsaama kalliokärki (Leimet).

Motomanin toimittamassa monirobottihitsausaseman laitteistossa on kaksi kappaleenkäsittelyrobottia sekä kolme hitsaavaa robottia. Laitekoonpanon eri laitteet ovat nähtävissä myös liitteessä I olevasta aseman layout kuvasta. Monirobottiaseman toimitettu laitekoonpano on seuraavanlainen (Louhisola 2010b):

- 2 kpl UP130 kappaleenkäsittelyrobotteja
- 3 kpl UP6 hitsausrobotteja
- tangonsyöttöautomaatti
- 4 kpl palettiasemia aihiokomponenteille

- karusellimaalauslinja
- valmiin tuotteen poistokuljetin
- kahteen työalueeseen jaettu turvajärjestelmä.

Yhden kappaleen kokonaishitsausaika on 18 minuuttia ja läpimenoaika monirobottiasemasta 8 minuuttia. Läpimenoaika on lyhentynyt aiemmasta. Kappaleen kokoonpano- ja loppuhitsaustyön paloaikasuhte on 70 %. Monirobottiasema toimii tehokkaasti ja valmistuslaatu on hyvä. Laatu pysyy tasaisena, eikä siinä tapahdu ihmisen aiheuttamia vaihteluita. Myös työturvallisuus on hyvä asemassa. Asemalla on muitakin tuottavuuteen positiivisesti vaikuttavia tekijöitä. Operaattoria ei tarvita panostamaan käsittelylaitetta ja asema säästää lattiapinta-alaa. Kappaleenkäsittelyrobottien käytön myötä kiinnitinkustannukset ovat pienet. Asema on vähentänyt henkilötyön osuutta ja parantanut työergonomiaa. Kyseinen monirobottiasema on lisäksi laskenut operaattoritason vaatimuksia. Monirobottiasemalla on myös yrityksen imagoon vaikuttavia tekijöitä. Se vaikuttaa esimerkiksi markkinointiin sekä talon kiinnostavuuteen työpaikkana. (Louhisola 2010b.)

## 6.2 BMW:n etuakseleiden hitsaus

Dingolfingin tehtaalla valmistetaan BMW:n 1- ja 3-sarjan autojen alumiinisia etuakseleita. Tuotantoa haluttiin tehostaa vähentämällä työasemien ja robottien määrää sekä henkilöstömäärää. Ennen toimitusta Motoman rakensi järjestelmän omiin tiloihinsa, sen testausta varten. Myös Dingolfingin tehtaalle rakennettiin kaksi hitsausasemaa, joissa hitsausprosessi optimoitiin tuotteelle. (Etuakseleiden hitsaus, s. 1.)

Motomanin toimittamilla lähes identtisillä tuotantolinjoilla automaatiotaso on korkea ja henkilöstön tarve vähäinen. Ainoa manuaalinen toimenpide, jota asemassa tarvitaan, on joidenkin yksittäisten kappaleiden lataaminen kappaleenkäsittelykasetteihin. Kappaleenkäsittelyrobotit asettavat kappaleet hitsauskiinnittimeen. Kappaleet, joilla on monimutkaisia geometrioita ja kapeat toleranssialueet, asettavat vaatimuksia kappaleenkäsittelyroboteille, koska ne ladataan kiinnittimeen suurella nopeudella ja asetustarkkuuden pitää olla toistuvasti hyvä. Tämän takia niissä käytetään monimutkaisia tarraimia. (Etuakseleiden hitsaus, s. 1.)

Dingolfingin tehtaalla on kolme tuotantolinjaa ja niissä on yhteensä 17 eri hitsausasemaa. Asemissa toimii yhteensä 78 hitsausrobottia ja 20 kappaleenkäsittelyrobottia. Robotit ovat 6-akselisia kiertyvänivelisiä Motoman ES 165N- tai HP 20-robotteja. Hitsausasemissa yhden ohjaimen alaisuudessa toimii kolme robottia sekä pyörityspöytä. Tällainen asema on esitetty kuvassa 15. Yhden ohjaimen alaisuudessa toimiminen mahdollistaa robottien synkronoidun ohjauksen ja helpottaa näin robottien työskentelyä hitsattaessa yhtäaikaaisesti samaa kappaletta. Samaa ohjainta käytettäessä, jos tapahtuu esimerkiksi virhe tai ongelmatilanne, kaikki aseman robotit pysähtyvät samanaikaisesti tarkasti paikoilleen. Tämän jälkeen kun ongelma on korjattu, robotit jatkavat työskentelyä automaattisesti kohdasta, johon robotit pysähtyivät. (Etuakseleiden hitsaus, s. 1–2.)



Kuva 15. Dingolfingin tehtaalla toimiva kolmen hitsaavan robotin monirobottiasema (Etuakseleiden hitsaus, s. 1).

Hitsausasemat on suunniteltu hyvin joustaviksi. Vaatimuksista riippuen, poltinta käytetään joko robottiin kiinnitettynä tai pysyvästi kiinnitettynä, jolloin robotti liikuttaa kiinnitintä polttimen alla. Työkappaleesta riippuen, hitsaus voidaan suorittaa hajautetusti useissa asemissa tai samassa asemassa usealla hitsauspolttimella samanaikaisesti. Näin jokaiselle kappaleelle saavutetaan tasainen lämmöntuonti ja optimaalinen tuotantoaika. Hitsauksen jälkeen akseleille suoritetaan vielä laaduntarkastus. Kaikki hitsatut saumat tarkistetaan ja lisäksi kaikki tärkeät parametrit mitataan tarkasti laser-kolmiomittauksella. (Etuakseleiden hitsaus, s. 1.)

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työtä tehdessä osoittautui, että hitsaavien monirobottiasemien käyttö on melko harvinaista Suomessa. Hitsaavia monirobottiasemia käytetään paljon autoteollisuudessa ja näissä maissa niiden käyttö onkin huomattavasti korkeammalla tasolla. Oikein toteutettuna monirobottiasemat voivat toimia erittäin tehokkaasti ja niillä on useita eri toteutusmahdollisuuksia. Niillä voidaan myös nostaa automatisoinnin tasoa sekä vähentää käyttöhenkilökunnan tarvetta asemassa. Siksi hitsaavien monirobottiasemien mahdollisuuksien tiedostaminen on hyvin tärkeää.

Kun uuden järjestelmän suunnittelu aloitetaan, on syytä tutustua jo olemassa oleviin järjestelmiin, vaikka ne eivät välttämättä vastaisikaan täysin omia lähtöajatuksia. Robottitoimittajat tarjoavat myös täysin valmiita monirobottiasemia, joita voi räätälöidä oman sovelluksen tarpeiden mukaiseksi. Robottivalmistajien erikoisosaamista kannattaa käyttää hyödyksi, uuden järjestelmän hankinnassa.

Useimmat yritykset käyttävät monirobottihitsausta suurille tuotesarjoille. Tällaisessa tapauksessa monirobottiasemia kannattaa hyödyntää, jos tuotteet ovat yksinkertaisia hitsattaviksi. Tuotteiden läpimenoaikoja saadaan lyhennettyä ja tuotantotilaa säästettyä, joka voi jossain tapauksissa olla merkittävä tekijä hitsausasemien suunnitteluvaiheessa. Kun tuotteiden vaihtuvuus on pieni ja ohjelmointi suoritetaan harvoin, ei etäohjelmoinnilla saavuteta hyötyjä itse ohjelmoinnissa. Etäohjelmointiohjelmistojen oppiminen voi olla aikaa vievää ja se vaatii myös koulutusta. Tällaisissa tapauksissa perinteinen opettamalla ohjelmointi on parempi tapa suorittaa robottien ohjelmointi.

Monirobottiasemia käytettäessä pienille ja vaihteleville tuotesarjoille, etäohjelmoinnin käyttö on vaatimuksena sen tehokkaalle käytölle. Jo suunnitteluvaiheessa etäohjelmointijärjestelmissä olevia simulointimahdollisuuksia kannattaa hyödyntää. Näillä ohjelmilla koko asema voidaan simuloida ja sen toimivuus varmistaa, jo ennen aseman hankkimista. Jokaiselle robotille voidaan tehdä ulottuvuustarkastelu, käytettäviä kiinnittimiä voidaan testata ja tuotteille voidaan laskea kiertoajat. Koska monirobottiasemat ovat monimutkaisia, nämä toiminnot ovat tärkeitä. Kiertoaikojen perusteella voidaan myös laskea ja määrittää järjestelmässä olevien robottien optimaalinen määrä. Itse ohjelmoinnissa etäohjelmoinnin etuna on esimerkiksi, että robotin tuotanto ei



keskeydy ohjelmoinnin ajaksi, tuotanto saadaan nopeasti ylösajetuksi sekä se lähentää hitsauksen suunnittelua ja valmistusta. Monirobottiasemien kannalta myös ohjelmoinnissa tehtävä törmäystarkastelu on tärkeä toiminto, jonka avulla voidaan ehkäistä mahdolliset järjestelmässä tapahtuvat törmäykset ja virheet.

Monirobottiasemien ohjaukseen voidaan käyttää yhtä ohjainta koko aseman ohjaukseen tai erillistä ohjainta jokaiselle aseman robotille. Yhtä ohjainta käytettäessä usealle robotille, saadaan niiden liikkeet synkronoitua. Näin läpimenoaikoja saadaan lyhennettyä, prosessin virtaus pystytään optimoimaan sekä törmäyksien vaara saadaan minimoitua. Häiriötilanteissa kaikki asemassa toimivat robotit pysähtyvät samanaikaisesti. Häiriön korjauksen jälkeen robotit jatkavat työskentelyä niin, että ne lähtevät liikkeelle niiden pysähtymispisteistä. Tällaisessa tilanteessa asema voi seisoa kauan ennen kuin virhe on saatu korjattua. Kun jokaiselle aseman robotille käytetään omaa ohjainta, vain se robotti pysähtyy, jossa virhe tapahtuu. Näin muut robotit voivat jatkaa työskentelyä, eikä pitkiä tuotantokatkoksia pääse syntymään asemaan.

Monirobottiasemien laadunvarmistukseen kannattaa panostaa, koska niiden monimutkaisuudesta johtuen voi syntyä häiriöitä ja virheitä. Railon seuranta ja hakua kannattaa aina käyttää, jotta robotit pysyvät omilla hitsausradoillaan ja kappaleiden väliset vaihtelut sekä hitsauksen aikaiset muodonmuutokset voidaan hallita. Monirobottiasemilla pyritään mahdollisimman pieneen käyttöhenkilöstön määrään, joten järjestelmän tulisi toimia itsenäisesti mahdollisimman vähäisillä virheillä ja häiriöillä. Monirobottiasemia käytettäessä kannattaa myös harkita monitorointijärjestelmien hyödyntämistä. Monitorointijärjestelmä vahtii hitsaustapahtumaa ja hälyttää käyttöhenkilökuntaa paikalle, jos jokin virhe havaitaan. Monitorointijärjestelmien hyödyntäminen monirobottiasemissa voikin olla hyvä keino vähentää henkilöstön tarvetta asemassa.

## 8. YHTEENVETO

Perinteistä robottihitsausta voidaan tehostaa lisäämällä robottiasemaan useampia robotteja työskentelemään samanaikaisesti. Robottiohjaimien kapasiteetit ovat asettaneet rajoituksia asemassa toimivien robottien määrälle. Robottivalmistajat ovat kuitenkin kehittäneet tehokkaita robottiohjaimia, joilla pystytään ohjaamaan jo 72 akselia, eli maksimissaan kahdeksaa robottia.

Monirobottiasemilla voidaan saavuttaa useita etuja. Kun useilla robottikäsiarilla hitsataan samaa kappaletta, vaiheajat lyhenevät ja hitsauksen tuottavuus paranee. Monirobottiasemia käytettäessä valmistuksen joustavuus paranee ja se voi poistaa hitsauskiinnittimen käytön tarpeen. Hitsausmuodonmuutosten hallinta on myös yksi suuri etu, kun usealla robottikäsiarilla hitsattaessa lämpö jakaantuu tasaisemmin työkappaleeseen. Hitsausjärjestyksen optimoinnilla pystytään myös minimoimaan kappaleessa tapahtuvat muodonmuutokset.

Hitsaavan monirobottiaseman käyttö soveltuu erityisen hyvin symmetristen kappaleiden, monikaaristen hitsien sekä hitsausmuodonmuutoksille alttiiden osien hitsaukseen. Sitä käytetään yleensä yksinkertaisille kappaleille. Kiinnittimetöntä hitsausta voidaan hyödyntää piensarjojen valmistukseen.

Kun usean robotin ohjaamiseen käytetään yhtä robottiohjainta, pystytään ne ohjelmoimaan toimimaan synkronoidusti. Kaikkien aseman robottien liikkeiden ollessa synkronoituja, voidaan läpimenoaikoja lyhentää sekä optimoida prosessin virtaus. Synkronoidulla ohjauksella jokainen robotti tietää mitä muut robotit tekevät, näin törmäyksien vaara on myös minimissään. Häiriötilanteissa kaikki robotit pysähtyvät samanaikaisesti ja ongelman korjauksen jälkeen kaikki robotit jatkavat työskentelyä pysähtymispisteestä. Kun taas käytetään jokaiselle robotille omaa ohjainta, ainoastaan se robotti pysähtyy, jossa häiriö tapahtuu. Näin muut robotit voivat jatkaa toimintaansa, eikä koko aseman tuotanto pysähdy häiriön korjaamisen ajaksi.

Yleensä monirobottiasemien ohjelmointiin käytetään opettamalla ohjelmointia, kun valmistussarjat ovat suuria. Tällöin ohjelmointi suoritetaan vain harvoin ja se on tehokkaampaa sekä halvempaa, kuin etäohjelmointijärjestelmän hankinta ja sen käytön opettelu. Jos valmistussarjat ovat pieniä ja vaihtelevia, käytetään etäohjelmointia. Tällöin ohjelmointi yksinkertaistuu ja siihen kuluva aika lyhenee esimerkiksi, ohjelmiin sisäänrakennettujen törmäystarkasteluiden, kopiointi- ja peilausominaisuuksien ansiosta. Törmäystarkasteluiden avulla pystytään myös välttämään robottien törmäyksiä, vaikka ne työskentelevät pienessä tilassa lähekkäin. Monirobottiasema pitää myös kalibroida, jotta simuloidun mallin ja todellisen aseman eroavaisuudet saadaan minimoitua.

Monirobottiasemien laadunvarmistuksessa hitsauksen reaaliaikainen seuranta on avainasemassa, koska hitsattavien kappaleiden välillä on poikkeamia ja niihin syntyy hitsauksen aikana muodonmuutoksia. Näitä poikkeamia voidaan kompensoida käyttämällä erilaisia anturointeja tai optisia seurantajärjestelmiä. Optisten antureiden käyttöä rajoittaa niiden korkea hinta.

Koska robottien hinnat ovat laskeneet huomattavasti, voi robottien lisääminen perinteisiin hitsausasemiin olla hyvinkin perusteltua. Esimerkiksi apurobotin hankintakustannus voi vastata 10 hitsauskiinnittimen kustannusta. Kun hitsataan paljon pieniä sarjoja, joihin jokaiseen tarvitaan oma kiinnitin, voidaan apurobotin käytöllä saavuttaa huomattavia kustannussäästöjä. Apurobotti pitää vain ohjelmoida uudelle sarjalle, mikä on nopeaa etäohjelmointia käytettäessä. Näin myös kustannukset pysyvät alhaisina. Monirobottiasemilla voidaan nostaa hitsauksen tuottavuutta ja saavuttaa kustannussäästöjä, mikäli niiden hyödyntämismahdollisuudet tiedostetaan ja niiden automaatiotaso on mahdollisimman korkea.

## LÄHTEET

Aatonen, K. & Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio. Porvoo. WSOY – Kirjapainoyksikkö. 309 s. ISBN 951-0-21439-6

ABB IRC5. 2006. Multi-robot, arc welding system is co-ordinated. Manufacturingtalk. [Internet-artikkeli]. [viitattu 18.2.2010]. Saatavissa: <<http://www.manufacturingtalk.com/news/abd/abd174.html>>

ABB RobotStudio 5. 2006. Multiple robot systems programmed off-line. Manufacturingtalk. [Internet-artikkeli]. [viitattu 18.2.2010]. Saatavissa: <<http://www.manufacturingtalk.com/news/abd/abd173.html>>

Anderson, C. 2006. When Two Arcs are Better Than One: Tandem GMAW Versus Multiple Robot Arms. RoboticsOnline. [Internet-artikkeli]. [viitattu 4.3.2010]. saatavissa: <[http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-News/When-Two-Arcs-are-Better-Than-One:-Tandem-GMAW-Versus-Multiple-Robot-Arms/content\\_id/1056](http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-News/When-Two-Arcs-are-Better-Than-One:-Tandem-GMAW-Versus-Multiple-Robot-Arms/content_id/1056)>

Bredin, C. 2005. Team-mates. ABB Review. 1/2005. [verkköjulkaisu]. s. 26–29. [viitattu 26.3.2010]. Saatavissa: <[http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/66969aaaac516cecc125702600357b09/\\$File/26-29%201M506%20ENG%2072dpi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/66969aaaac516cecc125702600357b09/$File/26-29%201M506%20ENG%2072dpi.pdf)>

Brumson, B. 2005. Melded Together: Welding Robotics. RoboticsOnline. [Internet-artikkeli]. [viitattu 4.3.2010]. saatavissa: <[http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Feature-Articles/Melded-Together:-Welding-Robotics/content\\_id/1068](http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Feature-Articles/Melded-Together:-Welding-Robotics/content_id/1068)>

DX100. 2009. DX100 Robot Controller. Robotics Online. [WWW-sivut]. [viitattu 27.2.2010]. Saatavissa: <<http://www.robotics.org/product-catalog-detail.cfm/Spot-Welding/DX100-Robot-Controller/productid/2802>>

Erickson, M. 2006. Intelligent Robotic Welding. The Fabricator. [Internet-artikkeli].  
[viitattu 25.2.2010]. Saatavissa:  
<<http://www.thefabricator.com/article/automationrobotics/intelligent-robotic-welding>>

Etuakseleiden hitsaus. Fully automated robotic welding and handling. Motoman.  
[verkkajulkaisu]. 2 s. [viitattu 20.4.2010]. Saatavissa:  
<<http://motoman.eu/PageFiles/1150/Fully%20automated%20robotic%20welding.pdf>>

FlexArc®. FlexArc® Family of Robotic Welding Cells. ABB. [verkkajulkaisu]. 2 s.  
[viitattu 15.3.2010]. Saatavissa:  
<[http://library.abb.com/global/scot/scot300.nsf/veritydisplay/cc3cb9fbfddd20dbc1257221066d913/\\$File/FlexArc%20Family%20RevC%202006.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot300.nsf/veritydisplay/cc3cb9fbfddd20dbc1257221066d913/$File/FlexArc%20Family%20RevC%202006.pdf)>

Hietikko, E. & Jääskeläinen, E. 2007. Suomen hitsaavan teollisuuden  
nykytila ja tulevaisuus. Teoksessa: Hietikko, E. (toim.) From Experience to Skill –  
HitSavonia-hankkeen loppuraportti. Kuopio, Savonia-ammattikorkeakoulu. 128 s.

Hiltunen, E. 2009. Robottihitsaus Essenissä. Hitsaustekniikka. 6/2009. s. 29–31.

Hiltunen, E. & Naams, I. 2000. Robottihitsauksen faktat ja fiktiot Suomessa.  
Hitsaustekniikka. 5/2000. s. 20–23.

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

Huhtiniemi, K. 2008. Elektroniikan romahdus iski robotiikkaan. Tekniikka & Talous.  
[Internet-artikkeli]. [viitattu 26.4.2010]. Saatavissa:  
<<http://www.tekniikkatalous.fi/ict/automaatio/article76896.ece>>

Hämäläinen, M. 1999. Toinen pitää kiinni ja toinen lyö saamaa. Metallitekniikka. 5/1999.  
s. 16.

IRC5. The new IRC5 robot controller. ABB. [verkkojulkaisu]. 18 s. [viitattu 26.2.2010].

Saatavissa:

<[http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/2c5178fa927d492cc1256e5e004d1dd1/\\$File/Brochure%20IRC5%20flip.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/2c5178fa927d492cc1256e5e004d1dd1/$File/Brochure%20IRC5%20flip.pdf)>

Jauhijärvi, H. 2007. Robotisoidun hitsaussolun toiminnan kehittäminen ohutlevytuotteita valmistavassa yrityksessä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Konetekniikan osasto. 90 s.

Jääskeläinen, E. 2007. Ketterä hitsausautomaatio. Teoksessa: Hietikko, E. (toim.) From Experience to Skill – HitSavonia-hankkeen loppuraportti. Kuopio, Savonia-ammattikorkeakoulu. 128 s.

Kuivanen, R. (toim.) 1999. Robottiikka. Vantaa. Suomen Robottiikkayhdistys ry. Talentum Oyj. 188 s. ISBN 951-9438-59-9

Leimet. Leimet Oy. [WWW-sivut]. [viitattu 20.4.2010]. Saatavissa:

<<http://www.leimet.fi/>>

Leino, K. 1999. Ketterä hitsausautomaatio. Hitsaustekniikka. 6/1999. s. 12–14.

Leino, K. 2008. Robottiikan kustannustehokkuus esimerkkinä hitsaus. Robottihankinnan ABC –seminaari 17.9.2008. [verkkojulkaisu]. 23 s. [viitattu 28.3.2010]. Saatavissa:

<[http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/SISU/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta\\_ ja\\_aktivointi/Seminaarit/Robottihankinnan\\_ABCx\\_aineisto/Robottihankinnan\\_ABC\\_Leino.pdf](http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/SISU/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ ja_aktivointi/Seminaarit/Robottihankinnan_ABCx_aineisto/Robottihankinnan_ABC_Leino.pdf)>

Louhisola, Pete. 2010a. Myynti-insinööri. Motoman Robotics Finland Oy. Haastattelu 15.4.2010.

Louhisola, Pete. 2010b. Motoman case-esimerkki. [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Severi Iso-Markku. Lähetetty 20.4.2010. [viitattu 21.4.2010]. Yksityinen sähköpostiviesti.

Ma, G. H. & Chen, S. B. 2007. Model on simplified condition of welding robot system. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 33, No 9–10. s. 1056-1064.

Martikainen, J. 2009. Hitsaustekniikan jatkokurssi. Luentomoniste. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Digipaino. 193 s.

Monirobottitekniikka. Motoman. [WWW-sivut]. [viitattu 15.2.2010]. Saatavissa: <<http://motoman.eu/fi/Sovellukset/Monirobottitekniikka/>>

Morel, M, K. 2003. Programming multiple robots. The Fabricator. [Internet-artikkeli]. [viitattu 18.2.2010]. Saatavissa: <<http://www.thefabricator.com/article/automationrobotics/programming-multiple-robots>>

Motoman VA1400. Motoman VA1400 Arc Welding Robot. Motoman. [WWW-sivut]. [viitattu 15.2.2010]. Saatavissa: <<http://www.motoman.com/products/robots/models/VA1400.php>>

Pires, J. N. 2007. Industrial Robots Programming. Building Applications for the Factories of the Future. Springer US. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3

Pires, J. N. Loureiro, A. & Bölmsjö, G. 2006. Welding Robots. Technology, System Issues and Applications. Springer London. 180 s. ISBN 978-1-85233-953-1

Robottien etäohjelmointiprojektin toteutus. 2005. [verkkojulkaisu]. 40 s. [viitattu 25.2.2010]. Saatavissa: <[http://www.delfoi.com/web/solutions/production/robotiikka/fi\\_FI/off-line/\\_files/73872456344209371/default/Robottien%20off-lineohjelmointiprojektin%20toteutus.pdf](http://www.delfoi.com/web/solutions/production/robotiikka/fi_FI/off-line/_files/73872456344209371/default/Robottien%20off-lineohjelmointiprojektin%20toteutus.pdf)>

Salmela, E. 2007. Robottihitsaus kehittyy. Hitsaustekniikka. 4/2007. s. 42–43.

Schuster, G. & Winrich, M. 2009. Robotics safety. Rockwell Automation Inc.

[verkkojulkaisu]. 6 s. [viitattu 25.3.2010]. Saatavissa:

<[http://www.isa.org/FileStore/Intech/WhitePaper/Robotics\\_Safety.pdf](http://www.isa.org/FileStore/Intech/WhitePaper/Robotics_Safety.pdf)>

Simultaneous Control. RobotWorks. [WWW-sivut]. [viitattu 1.3.2010]. Saatavissa:

<<http://www.robots.com/faq.php?question=simultaneous+control>>



Liite I. Leimet Oy:n monirobottiaseman layout

