

Opinnäytetyö

Konetekniikka

2021

Samuli Kasari

TUOTANTOPROSESSIN AUTOMATISOINNIN ESISELVITYS

KAR-Lehtonen Oy

Samuli Kasari

TUOTANTOPROSESSIN AUTOMATISOINNIN ESISELVITYS

KAR-Lehtonen Oy

Työn tavoitteena oli tehdä yritykselle hitsausprosessin automatisoinnista esiselvitys, jossa kartoitettiin kolme erilaista, yritykselle sopivaa automatisoitua hitsausratkaisua ja selvitettiin niistä koituvat hankintakustannukset sekä niiden käyttämiseen kuluvat käyttökustannukset. Kartoittamisessa päätarkoitus oli selvittää hitsausratkaisu yksinkertaisen ja lyhyen sauman hitsaukseen, mutta työssä oli myös mahdollisuus tarkastella vaihtoehtoja samassa prosessissa tapahtuvaan ympärihitsaukseen.

Työ aloitettiin hankkimalla tietoa robotiikan osa-alueista, robottisolun suunnittelemisesta, robottisolun hankinnan vaatimuksista ja robottisolun käyttöönoton tarpeista. Seuraavaksi jatkettiin kartoittamalla eri tuotevalmistajien kesken sopivat automatisoidut hitsausratkaisut ja niitä lähdettiin kehittämään yrityksen tarpeisiin ja tuotantoon sopiviksi. Robottisoluvaihtoehtoja suunnitellessa käytettiin apuna RobotStudio-ohjelmaa, jolla simuloitiin solut lähes täysin tuotantoa vastaaviksi. Kaikkia kolmea vaihtoehtoa suunnitellessa tuotevalmistajien kanssa tehtiin lopulliset suunnitelmat hankittavien ratkaisujen kokonaisuuksista ja saatiin hinta-arviot hankittavista tuotteista. Jokaiselle automatisoidulle hitsausratkaisulle laskettiin myös käyttökustannusarviot.

Työssä saavutettiin yrityksen vaatima tavoite ja yritykselle tarjottiin heidän tarpeiden ja toiveiden mukaisesti kolme sopivaa vaihtoehtoa. Työssä tarkasteltiin tarvittavaa perustietoa robotiikasta ja robotin hankinnasta yritykselle sekä tarjottiin hinta-arvioineen sopivat vaihtoehdot, joita hyödyntämällä yritys voi tehdä päätöksen mahdollisesta ratkaisusta prosessin automatisoimiseksi.

ASIASANAT:Robotiikka
Robottisolu
Hitsaus
Lisälaitteet
Turvallisuusratkaisut
Hinta-arviot
Käyttökustannukset

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Engineering

2021 | 46 pages, 6 pages in appendices

Samuli Kasari

PRELIMINARY STUDY ON THE AUTOMATION OF THE PRODUCTION PROCESS

KAR-Lehtonen Oy

The goal of the thesis was to make a preliminary study of the automated welding process for a company, in which three different automated welding solutions suitable for the company were designed and the acquisition and operating costs of using them were determined. In the design, the main priority was to find out a welding solution for simple and short, horizontal welding, but there was also an opportunity to study at alternatives for circumferential welding in the same process.

The study began with the acquisition of information on the aspects of robotics, robot cell design, robot cell procurement requirements, and robot cell deployment needs. Next the suitable automated welding solutions were compared between different product manufacturers. After finding the best solutions they were engineered to suit the company's needs and production. RobotStudio was used to design these robot cells and cells were simulated to match almost exactly the production. When designing all three options, final designs were made with the product manufacturers to achieve best solutions to be procured and budgets were received for the products. Operating costs were also calculated for each automated welding solution.

The thesis achieved the goal set by the company and the company was offered three suitable options according to their needs and wishes. The work covered the necessary basic information about robotics and the procurement of a robot for the company, and offered suitable alternatives with budgets, which the company can use to make a decision on a possible solution to automate the process.

KEYWORDS:

Robotics
RobotCell
Welding
Accessories
SecuritySolutions
Budgets
OperatingCosts

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 ROBOTIIKAN KÄYTTÖ TEOLLISUUDESSA	8
2.1 Robottihitsaus	8
2.2 Robotin hankinta	9
2.2.1 Kiertyvänivelinen robotti	11
2.2.2 Robotin kustannukset	11
2.2.3 Robotin lisälaitteet	13
2.2.4 Railonseuranta	13
2.2.5 Robotin ohjelmointi	15
2.2.6 Robotin käyttö- ja ohjelmointikoulutus	16
3 ROBOTTISOLUN TURVALLISUUS	17
3.1 Robottisolun turvallisuusratkaisut	17
3.1.1 Valokytkimet ja valoverhot	18
3.1.2 Turvamatot	19
3.1.3 Kosketuksettomat turvarajakytkimet	20
3.1.4 Turvalaserskanneri	22
3.1.5 Hätäpysäytys	23
3.1.5 Vikatilat/häiriöt	23
4 ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU YRITYKSELLE	25
4.1 Nykytilanne yrityksessä	25
4.2 Automatisoidut soluvaihtoehdot	25
4.3 Robottisolujen simulointi	26
4.4 Toteutusvaihtoehto 1	26
4.4.1 ABB IRB 4600 -robotti	27
4.4.2 Simulointitulokset, vaihtoehto 1	28
4.4.3 Hinta-arvio	29
4.4.4 Robottisolun turvallisuus- ja käyttökustannukset	30
4.5 Toteutusvaihtoehto 2	31
4.5.1 ABB IRB 2600ID -robotti	32
4.5.2 Simulointitulokset, vaihtoehto 2	33
4.5.3 Hinta-arvio	34

4.5.4 Robottisolun turvallisuus- ja käyttökustannukset	35
4.6 Toteutusvaihtoehto 3	37
4.6.1 Hitsaustorni MD 4x5	37
4.6.2 A12 4D Drive Unit -rullasto	39
4.6.3 Hinta-arvio	40
4.6.4 Hitsaustornin turvallisuus- ja käyttökustannukset	41

5 YHTEENVETO/TULOKSET	43
------------------------------	-----------

LÄHTEET	46
----------------	-----------

LIITTEET

Liite 1. Robottien ja oheislaitteiden tuotetiedot.
 Liite 2. RobotStudio -simulointien linkit, Youtube.

KUVAT

Kuva 1. Railonseuranta käyttämällä valokaarta anturina (ABB, 2021.)	14
Kuva 2. Robottisolun eristys turva-aidoilla (ABB, 2021)	18
Kuva 3. Turvaloverho tuotannossa (SICK, 2021.)	19
Kuva 4. Erilaisia turvamatto vaihtoehtoja (industrial.omron, 2021)	20
Kuva 5. Kuva turvakytimen toiminnasta tuotannossa (ifm, 2021.)	21
Kuva 6. Laserskannerin toiminta-alue solussa (industrial.omron, 2021)	22
Kuva 7. Turvalaserskanneri tuotannossa (Movetec, 2021)	23
Kuva 8. IRB 4600 6-nivelinen hitsausrobotti (ABB, 2021)	28
Kuva 9. Vaihtoehto 1 simuloitu kokonaiskuva tuotannossa.	29
Kuva 10. IRB 2600ID 6-nivelinen hitsausrobotti (ABB, 2021.)	33
Kuva 11. Vaihtoehto 2 simuloitu kokonaiskuva tuotannossa.	34
Kuva 12. Hitsaustorni MD-sarja 5x5 (Pemamek, 2021)	38
Kuva 13. Hitsaustorni ja pyöritysrullastot tuotannossa (Pemamek, 2021.)	39

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ja kartoittaa erilaisia automatisoituja solumahdollisuuksia toimeksiantaja KAR-Lehtosen toimitiloihin. Toimeksiantajan toiveena on ollut löytää hitsauksen automatisoimiseksi ratkaisu, jota voitaisiin hyödyntää tulevaisuudessa yrityksen tuotannossa.

Koska tarkoituksena ei ole hitsata yhteen useampia erilaisia osia, vaan löytää automatisoitu ratkaisu yksinkertaisen ja samanlaisen sauman hitsaamiseen. Sopivan ratkaisun löytäminen on huomattavasti helpompaa. Selvitystyötä helpotti myös se, että KAR-Lehtonen antoi vapaat kädet tarkastella erilaisia vaihtoehtoja samassa prosessin vaiheessa tapahtuvaan pystysuuntaiseen ympärihitsaukseen. Työssä pyrittiin löytämään soluvaihtoehtoon, joka pystyisi tehokkaasti hitsaamaan molemmat saumat.

Yritykselle sopivan automatisoidun hitsaussolun kartoittamisen lisäksi työssä kartoitetaan myös erilaisista automaattoratkaisuista koituvia kustannuksia ja tarjotaan kolme yrityksen toimitiloihin tai erilliseen toimitilaan soveltuvaa ratkaisua. Tämän lisäksi opinnäytetyössä tarkastellaan sitä, minkälaista tietoa työvaiheen automatisointi varsinkin roboteilla vaatii ja mitä on syytä ottaa huomioon, kun työvaihe päätetään robotisoida.

Kartoittaessa erilaisia hitsauksen automaattoratkaisuja opinnäytetyössä, vertailtiin eri valmistajien tuotteita ja tehtiin päätelmät tuotteiden toimivuudesta perustuen omaan henkilökohtaiseen arviointiin saamani koulutuksen ja yrityksestä saatujen tietojen pohjalta. Työssä myös tehtiin muutamista vaihtoehtoista simulaatioita helpottamaan suunnittelutyötä sekä toimimaan havainnollistavana tekijänä yritykselle tulevaisuudessa. Solun kokonaisuuteen vaadittavien elementtien valitseminen ja niiden sopivuus ovat pohjautuneet myös henkilökohtaiseen arviointiin sekä saatuun konsultointiin robottivalmistajan edustajan kanssa keskustellessa.

Vertaillessa erilaisia automatisoidun hitsauksen ratkaisuja eri valmistajien kesken, tarkasteltiin tutkimuksissa yrityksen antia solun kokonaisuuteen. Työssä tehtiin päätökset tuotteiden hankinnasta yrityksiin, jotka tarjosivat solun toimintaa helpottavia ominaisuuksia aina tuotantotuotteista turvallisuuteen ja tuotekehitykseen.

Toimeksiantaja KAR-Lehtonen on Liedossa sijaitseva pienyritys, joka toimii noin 15 henkilön vahvuudella. Vuonna 2020/01 yrityksen liikevaihto oli 3,3 miljoonaa euroa. Yrityksen tilikauden tulos vuonna 2020/01 oli vastaavasti 67 000 euroa. (KAR-Lehtonen, 2021)

KAR-lehtonen erikoistuu vaarallisten aineiden käsittelyyn ja kuljetukseen kuuluviin palveluihin. Yrityksen pääsääntöinen toimikuva on valmistaa kuljetussäiliöitä vaarallisten aineiden kuljetukseen, mutta yritys toteuttaa myös säiliöiden huoltoa jo lähes viidenkymmenen vuoden kokemuksella. Kuljetussäiliöiden valmistuksessa yrityksen erityisosaaminen on kuumien nesteiden ja kemikaalien kuljetusratkaisut. KAR-Lehtoselta löytyy myös tarvittavat palvelut ADR-laitteiden erilaisiin tarkastuksiin ja mittauksiin. (KAR-Lehtonen, 2021)

Säiliöratkaisujen ohella yritys toteuttaa myös vuosikymmenten kokemuksella tuotteita nesteenohjauksen ja -hallinnan eri tarpeisiin. Yrityksen valikoimasta löytyy laadukkaat, vaarallisten aineiden kanssa toimimiseen tarvittavat pumppuyksiköt, putkistot, varastosäiliöt ja testauslaitteet. Laitemyynnin ohella yritys tarjoaa myös palveluita laitteiden käyttöönottoon ja optimointiin ostajan tarpeiden mukaan. (KAR-Lehtonen, 2021)

ADR-säiliövalmistuksen ohella yritys valmistaa myös tankkauskalustoa pitkällä kokemuksella. Yrityksen tarjonnasta löytyy tankkausajoneuvojen lisäksi myös tankkausasemat ja erilaiset oheislaitteet niin polttonesteille, lisäaineille kuin öljyille. Yrityksen tarjoamat tuotteet ovat optimoitava ja kustannustehokas ratkaisu alati muuttuvaan polttoaineellisuuteen. (KAR-Lehtonen, 2021)

2 ROBOTIIKAN KÄYTTÖ TEOLLISUUDESSA

Robotiikka on nykyisin hyvin yleinen tuotannon osa erilaisissa tuotantolaitoksissa ja jopa pienemmissä yrityksissä. Oikeanlaisen robotin hankinta yritykseen mahdollistaa yritykselle paljon säästöjä henkilöstöön, valmistuskustannuksiin ja luo yritykselle uusia mahdollisuuksia tuotannon kehittämiseksi eteenpäin. Tästä syystä eri yrityksissä panostetaan robotteihin, jotka työskentelevät ihmisten rinnalla tehden ennen työntekijöitä kuormittavia vaativimpia ja raskaimpia töitä. Robotiikan kehittyneisyyden ansiosta robotit pystyvät toimimaan eri työtehtävissä, mutta pikkutarkkuuteen ja päätöksiin tarvitaan vielä ihminen. On myös arvioitu, ettei robottien työskentelyyn voida myöskään täydellä varmuudella luottaa ja robotit eivät pysty työskentelemään tilanteissa, joissa robotti on läheisessä ihmiskontaktissa, kuten vanhusten- ja sairaanhoidossa. Huolimatta siitä, robotiikka ottaa maailmalla isoja harppauksia ja niiden merkitys tuotantolaitoksissa on kiistan. Teollisuuteen robotin hankinnalla haetaan pääsääntöisesti tuotannon tehostamista, mutta sillä saavutetaan myös samalla useiden kulujen alentumista yrityksessä. Robotiikkaan panostaminen osoittaa myös yhtiön panostuksen tulevaisuuteen ja tekniikkaan, nostattaen näin yrityksen imagoa. (Lukkari 2011, 12.)

2.1 Robottihitsaus

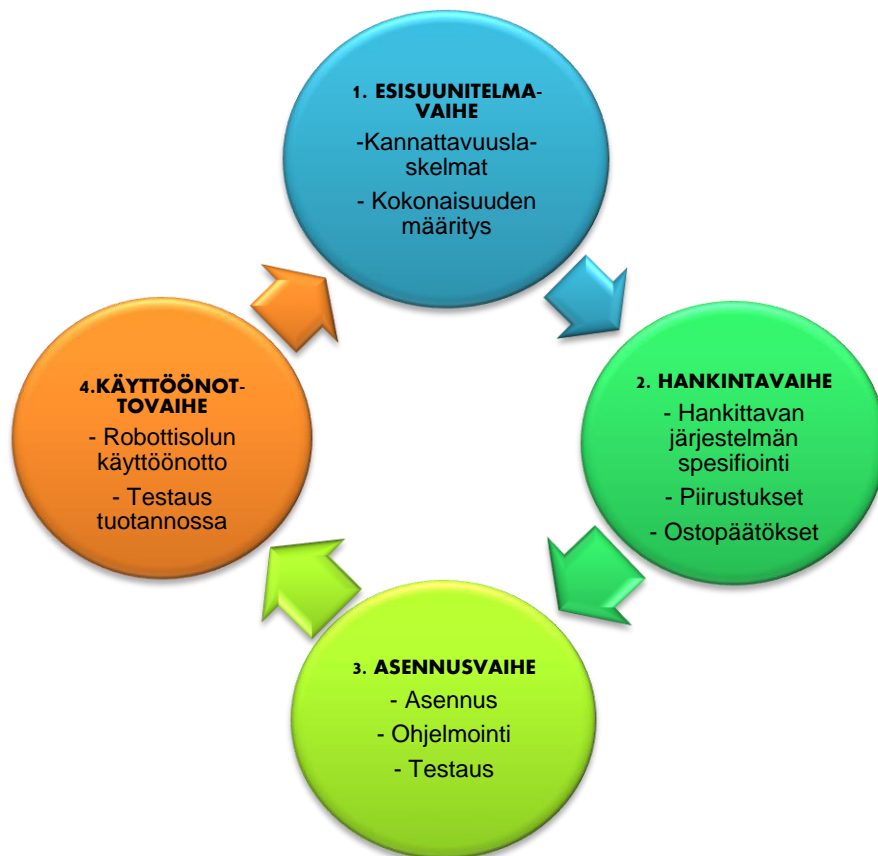
Robotit ovat nykyään hyvin yleisesti käytetty vaihtoehto hitsaukseen ja robottien käyttöä puoltavia asioita on pienemässäkin teollisuudessa useita. Robotilla hitsaus pystytään toteuttamaan monilla eri tavoin. Laajan konevalikoiman ansiosta toteutettavia hitsausvaihtoehtoja ovat kaari-, vastus-, piste-, TIG-, laser-, plasma- ja MIG-hitsaus. Hitsausrobotin käyttö optimoituu parhaiten käyttökohteille, joissa hitsataan lyhyitä ja mahdollisesti kaarevia pintoja. Hitsausrobotti soveltuu myös hyvin sarja- tai massatuotantoon, jossa robotin prosessi ei vaadi suuria muutoksia. Toisaalta nykyään hitsausrobotin hyvä optimointi jopa pieneenkin tuotantolaitokseen antaa yritykselle merkittävää kustannustehokkuutta ja suuria, laadullisia etuja. Toisaalta vaikka hitsausrobotin käyttöön vaaditaan vielä ihminen valvomaan robotin toimintaa, pystytään robotilla kaariaikaa nostamaan jopa kolminkertaiseksi, joka mahdollistaa hitsaussaumojen suorittamisen kolme kertaa nopeammin. (Kemppe, 2021;Lukkari 2011, 12.)

Robottihitsauksen vaikutukset tuottavuuteen sekä työntekijöiden ergonomiaan ja turvallisuuteen ovat suuret. Oikeanlaisesti optimoidulla robottihitsauksella pystytään minimoimaan hitsausvirheet sekä vähentämään työntekijöiden räsitystä merkittävästi. Robotin ansiosta työntekijät eivät joudu työskentelemään hitsauskaasujen keskellä epämiellyttävissä ja vaarallisissa asennoissa, vaan käsittelevät robottia turva-alueen ulkopuolelta ja tarvittaessa pystyvät toimimaan muissa työtehtävissä robotin työskentelyn aikana. (Salakinoja 2010, 10.)

Jotta robottihitsaus pystytään toteuttamaan yritykselle kustannustehokkaasti ja parhaalla mahdollisella tavalla, on solun laitteiston oltava oikea. Perinteiseen hitsausrobottisoluun kuuluvat robotin lisäksi kappaleenkäsittelylaitteet, kohteelle oikeantyyppinen hitsausvarustus, oikeanlainen ohjelmisto, railonseuranta, hitsauskaasujen poisto sekä solua ympäröivät turvalaitteet. Robottihitsauksessa pääpaino on sopivaksi määritellyllä ohjelmistolla tehty sopiva ohjelmointi. Ohjelmoinnin tärkeys painottuu oikeantyyppisen hitsauksen tarkkaan valikointiin, jotta varmistetaan kustannustehokkain hitsausratkaisu. (Kempfi, 2021.)

2.2 Robotin hankinta

Robottijärjestelmän hankinta on hyvin yleisesti neljän vaiheen prosessi, joka kattaa asiat robotin suunnittelusta käyttöönottoon. Nämä prosessin eri vaiheet on havainnollistettu alla olevassa kuvassa. Ensimmäisenä vaiheena robottijärjestelmän hankinnassa on esisuunnitelmavaihe, jossa selvitetään yrityksen tarve järjestelmän suhteen ja määritellään hankittava kokonaisuus kokonaisvaltaisesti. Esisuunnitelmavaiheessa myös selvitetään ennalta järjestelmän kannattavuus, jotta tiedetään kannattaako yrityksen lähteä ajamaan prosessia eteenpäin. (Kuivanen 1999, 93&101.)



Seuraavana on vuorossa hankintavaihe, jossa määritellään yksityiskohtaisesti järjestelmän tarpeet ja robottijärjestelmän lopullinen layout. Hankintavaiheessa tehdään myös tarvittavien laitteiden valmistuspiirustukset. Mikäli hankintavaiheen loppuvaiheessa todetaan järjestelmän toimivuuden ja kannattavuuden olevan riittävä, tehdään yrityksessä lopullinen ostopäätös robottijärjestelmän hankinnasta. Hankintavaiheessa usein myös simuloidaan järjestelmän layout ja tuotteiden valmistus etukäteen, jotta varmistutaan järjestelmän sopivuudesta tuotantoon fyysisesti. (Kuivanen 1999, 93&102.)

Kolmantena vaiheena robotin hankinnassa on asennusvaihe, jossa robotti asennetaan fyysisesti etukäteen mallinnetun layoutin mukaisesti, robottiin vedetään sähköt ja se ohjelmoidaan. Kun robottiasema on asennettu paikoilleen, tehdään kalibrointi ja poikkeamien kompensointi. Mikäli etukäteen määritellyn mallin ja todellisen robottiaseman välillä esiintyy liian suuria poikkeamia, voi siitä seurata asemalle ulottuvuus-, singulariteetti- tai törmäysongelmia. Tällöin robotin uudelleenohjelmointi on välttämätöntä tai vaaditaan jopa layoutin muutos siirtämällä robottia tai muita laitteita. (Kuivanen 1999, 93&102-103.)

Viimeisenä vaiheena robottijärjestelmän hankinnassa on käyttöönottovaihe, jossa robottijärjestelmä on jo täysin valmis ja sen kannattavuutta pystytään todentamaan käytännössä. Mikäli robotti on määritelty aikaisemmissa vaiheissa oikein, on robottiaseman kannattavuus haluttu. (Kuivanen 1999, 93)

2.2.1 Kiertyvänivelinen robotti

Kiertyvänivelinen robotti on yleisin vaihtoehto hitsaukseen eri robottivaihtoehtoista. Robotilla on yleensä kuusi vapaasti ohjelmoitavaa niveltä ja näiden nivelien ansiosta robotti kykenee toimimaan monissa erilaisissa asennoissa ihmiskäden tavoin. Kiertyvänivelisissä roboteissa on todella hyvä ulottuvuus vaaka- ja pystysuuntaan, mutta useiden nivelien takia robotin kantokyky on lähtökohtaisesti todella heikko.

Kiertyvänivelinen robotti on mukautuneisuutensa ja ulottuvuutensa ansiosta niin sanottu yleisrobotti, joka pystytään optimoimaan erilaisiin työtehtäviin kuten muuan muassa hitsaukseen, maalaukseen ja kokoonpanotehtäviin. Heikon kantokyvyn lisäksi kiertyvänivelisen robotin nivelien ennalta-arvaamattomat ja erilaiset liikkeet tuotannossa vaativat äärimmäisen tarkkaa ohjelmointia ja kokonaiskuvan hahmottamista turvallisen työn takaamiseksi.

2.2.2 Robotin kustannukset

Robotin hankintaan liittyy paljon erinäisiä kustannuksia ja käytettäviä voimavaroja. Jotta saadaan laskettua robotin hankinnan kaikki kustannukset, on hyvin tärkeää määritellä tarkasti investoinnin toimivuuteen vaadittavat voimavarat. On myös paljon kuluja, joita on vaikea määritellä arvossa. Esimerkiksi hitsausrobotti poistaa merkittävästi hitsaajien rasitusta työssä ja poistaa näin mahdollisia sairauskustannuksia yrityksessä. (Salkinoja 2010, 10.)

Robotin hankinnassa kustannuksia syntyy robottisolun laitteistosta, johon kuuluvat yleisimmin hitsausrobotti, robotin ohjain, mahdolliset lisäoptiot kuten muun muassa raiteet. Muita laitekustannuksia robottisoluun ovat solun turvalaitteet kuten turva-aidat ja turvallisuusratkaisut solun valvontaan. Yleisesti robotin hankinnassa haetaan robottivalmistajan puolesta myös hinta-arvio asennus-, koulutus- ja käyttöönottokuluista. Pääsääntöisesti yrityksen vastuulle jää robotin kustannuksista selvittää sen käyttökustannukset ja

takaisinmaksuarvio. Robotin käyttökustannukset lasketaan kaavoilla, joilla selvitetään robotin työkustannukset sekä muun muassa robotin käyttämät lisäaineen kustannukset. Näin pystytään vertailemaan robotin eroja tavalliseen manuaalihitsaukseen.

Työkustannusten kaava:

$$K_t = \frac{M}{T} \times \frac{1}{e} \times H_t$$

M = hitsiainemäärä (kg/m)

T = hitsiaineentuotto (kg/h)

e = kaariaikasuhte (%)

H_t = työtunnin hinta (€/h)

Lisäainekustannusten kaava:

$$k_L = Mx \frac{H_L}{N}$$

M = Hitsiaineen määrä (kg/m)

H_L = Lisäaineen ostohinta (€/kg)

N = Hyötyluku (0,95)

(Lukkari 2006, 8–9; Lukkari 2008, 10–13.)

Kustannuslaskemilla on tarkoitus määritellä robotin kannattavuus ja vertailla sitä nykytilanteeseen, jotta nähdään, onko yrityksen järkevää sijoittaa investointiin. Suuret investoinnit, kuten hitsausrobotit ovat alkujaan hyvin suurikustanteisia investointeja, mutta toiminnallaan tekevät paljon säästöä pitkässä matkassa. Investointeja voidaan arvioida kaavalla, jossa investoinnin erillistuotto tarkoittaa investoinnista koituvaa tuottoa, erilliskustannukset tarkoittavat investoinnista koituvia kustannuksia ja mahdollinen jäännösarvo nähdään esimerkiksi robotin mahdollisena jälleenmyyntiarvona. Kaava on seuraavanlainen: Erilliskate = Investoinnin erillistuotto – erilliskustannukset + (mahdollinen jäännösarvo). (Pellinen 2019, 179.)

2.2.3 Robotin lisälaitteet

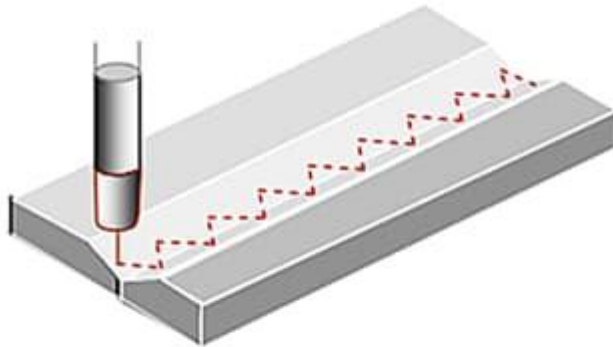
Robotteihin on tarpeen vaatiessa saatavilla myös erilaisia optioita ja oheislaitteita, joita voidaan mahdollisesti tarvita helpottamaan robotin työskentelyä. Erilaisia oheislaitteita on monenlaisia ja monet niistä ovatkin käytössä hieman edistyneemmissä tuotannoissa. Osa oheislaitteista on kehitetty helpottamaan robotin ohjelmointia ja auttamaan esimerkiksi robotin ulottuvuuden kasvattamisessa. Erilaisia robotin lisälaitteita voivat olla kapaleenkäsittelypöydät, jalustat, paletit, jigrit, lukituskiinnittimet, paikoituslaitteet ja radat.

Robotin käyttötarkoituksesta riippuen myös robottiin voidaan liittää erilaisia työkaluja kuten jyrsin-, poraus- ja hiomakoneita, erilaisia tarraimia, maalaus koneita ja erilaisia hitsauspolttimia. (Kuivanen 1999, 113;ABB, 2021)

2.2.4 Railonseuranta

Railonseuranta on osa toimivaa hitsausratkaisua ja sillä pyritään varmistamaan tasaisen ja oikeanlaisen sauman muodostuminen oikeaan paikkaan. Hitsattavissa liitoksissa on monesti eroja ja epätarkkuuksia, jonka takia railonseuranta on yritykselle äärimmäisen tärkeä osa tehokasta ja tuotantoa edistävää hitsausta, vaikka railonseurannan käyttäminen tietyissä tapauksissa saattaa hidastaa muuan muassa langansyöttönopeutta. Railonseuranta pystytään nykypäivänä toteuttamaan monilla erilaisilla vaihtoehdoilla. Esimerkiksi ABB tarjoaa *weldguide IV* -railonseurantajärjestelmän, joka on suunniteltu toimimaan yhdessä ABB:n tarjoamien hitsausrobottien kanssa. Järjestelmä toimii lukemalla impedanssiarvot lähellä valokaarta 25 kHz:n taajuudella ja ohjaa tarvittaessa robotin oikealle linjalle. (ABB, 2021)

Yksi varmimmista railonseurantamenetelmistä on mekaanisella anturilla tehty railonseuranta, jossa tunnusteleva anturi kulkee railossa ennen hitsauspoltinta ja määrittelee hitsauspolttimen suunnan. Järjestelmä on hyvin luotettava, mutta ei sovellu kaikille hitsausaumoille. Toinen hyvin yleinen tapa railonseurantaan on menetelmä, jossa valokaari toimii anturina. Menetelmä toimii niin, että hitsauspoltin vaaputtaa railon reunalta toiselle ja mittaa vakiojännitevirtalähteessä tapahtuvia muutoksia määritellen näin railon keskikohdan hitsauksessa. Menetelmä on hyvin yleinen varsinkin MIG/MAG hitsauksessa. (Kuva 1;Mänty 2010, 24-25)



Kuva 1. Railonseuranta käyttämällä valokaarta anturina (ABB, 2021.)

Optisiin railonseurantamenetelmiin luetaan yleensä strukturoidun valon menetelmä, hitsisulan tarkkailuun perustuva menetelmä ja lasersäteen pyyhkäisyyn perustuva menetelmä. Nämä menetelmät mahdollistavat nykyaikaisen railonseurannan, joka sisältää perinteisen railonseurannan lisäksi myös railon tarkastelua muun muassa railon tilavuuden ja hitsipalon osalta. Optinen railonseuranta on toimiva ratkaisu tuotannoissa, joissa tarvitaan äärimmäisen tarkkaa railonseurantaa. Menetelmä perustuu erilliseen anturiin, joka tarkastelee railon sijaintia ja välittää signaalin ohjausyksikölle. Ohjausyksikkö analysoi anturilta saatuja tietoja ja tarpeen tullen välittää muutostiedot robotille sen ohjelman kautta. Optiset anturit vähentävät merkittävästi mekaanisten antureiden tuomia kunnossapitokustannuksia, mutta luovat oman haittansa robotin liikeratoihin viemällä tilaa robotilta tuotannossa. Toisena haittapuolena luetaan mahdolliset vääristymät mittaustuloksissa johtuen hitsauksen aikana muodostuvista heijastumista, roiskeista ja valokaaresta. (Liutu 2009, 23; Mänty 2010, 24-25)

2.2.5 Robotin ohjelmointi

Robotin ohjelmointi toteutetaan yleensä joko etäohjelmoinnilla tai opettavalla ohjelmoinnilla. Kummallakin tavalla on omat hyötynsä, mutta etäohjelmointi nähdään kannattavampana sekä turvallisuuden, että yrityksen tulevaisuuden kehityksen kannalta. Robotin ohjelmointiin on myös olemassa sopivia kursseja ja yrityksen kannattaakin koulututtaa robotin käyttäjät parhaansa mukaan, jotta robotin käytöstä saadaan maksimaalinen hyöty irti.

Etäohjelmointi toteutetaan tietokoneen ohjelmistolla, joka mahdollistaa prosessin suunnittelun ennen kuin se tehdään itse tuotannossa. Etäohjelmoinnista on suurta hyötyä tilanteissa, joissa tuontantosarjat ovat pieniä, etäohjelmointi tukee tuotekehitysohjelmia, tuotanto on asiakasohjautuvaa tai opettavaan ohjelmointiin kului yrityksellä liikaa aikaa. Etäohjelmointi tarjoaa mahdollisuuden tarkastella robotin ulottuvuutta ja mahdollisia törmäysriskejä sekä järjestelmän ja sen laitteiden toimivuutta yleisellä tasolla. Etäohjelmointi vaatii ohjelmiston opettelua, mutta ohjelman huolellinen opettelu mahdollistaa myös jatkuvan kehitystyön robotin kanssa, kun pystytään suunnittelemaan prosessin kehittämistä hidastamatta tuotantonopeutta. (Kuivanen 1999, 82&120.)

Opettava ohjelmointi on huomattavasti etäohjelmointia hitaampi tapa, mutta antaa robotin käyttäjälle jo heti visuaalisen kuvan robotin liikkeestä tuotannossa. Opettavassa ohjelmoinnissa robotin liikerata luodaan tekemällä ”käsin” pisteet liikeradan eri kohtiin, joita pitkin robotti kulkee. Opettavassa ohjelmoinnissa robottia käyttävä henkilö joutuu huomioimaan kerralla törmäysmahdollisuudet ja sen, miten robotti kääntyilee liikeradalla edetessään. Yksinkertaisissa käyttökohteissa, joissa robotti kulkee lyhyitä tai yksinkertaisia liikeratoja, on kyseinen tapa melko toimiva ja säästää yrityksen kustannuksissa robotin hankintoja tehdessä. Suuremmissa liikeradoissa saattaa tulla ongelmia robotin käsivarren kanssa sen liikkuessa luonnottomiin ääriasentoihin luoden mahdollisesti näin myös törmäysvaaroja. (Kuivanen 1999, 79.)

Robotin ohjelmoinnilla onkin varsinkin hitsauksessa suuri merkitys ja vaikka robotti on jo itsessään yritykselle suuri investointi, kannattaa yrityksen panostaa tarpeeksi myös robotin kanssa toimivien ihmisten kouluttamiseen yleisillä koulutuksilla ja ohjelmointikoulutuksilla. Nykyaikainen tietämys robotin toiminnasta auttaa yritystä suuresti robottiteknologian kehittyessä ja yrityksessä mahdollisesti tapahtuvien tuotantomuutoksien kanssa, jolloin robotti pystytään mukauttamaan niihin nopeasti.

2.2.6 Robotin käyttö- ja ohjelmointikoulutus

Yrityksen kannattaa panostaa robotin ohjelmoinnin koulutukseen, jotta robotin käyttö pysyy yritykselle järkevänä ja kustannusystävällisenä. Robottijärjestelmän käyttöön osallistuvien henkilöiden toiminta voidaan jakaa karkeasti useampaan eri rooliin. Jaon rajat ovat yrityksen koosta ja tuotannosta riippuen usein vain viitteelliset. Lähtökohtaisesti peruskäyttäjät huolehtivat normaalista tuotantoajasta. Robotin ohjelmoinnista vastaavat henkilöt tekevät tarvittaessa ohjelmiin tehtävät muutokset sekä ohjelmoivat uudet ohjelmat. (Kuivanen 1999, 107.)

Robotin huolto jakautuu kahteen eri osa-alueeseen: päivittäisiin huoltoihin ja määräaikaisten huoltoihin, jotka käsittävät robotin suuret huoltotoimenpiteet. Robotin päivittäiset huollot hoitavat yleensä peruskäyttäjät yhdessä ohjelmoijien kanssa. Määräaikaisten huollot suorittaa yrityksen oma kunnossapito-osasto tai sen puuttuessa laitteen maahantuojat/toimittajat. Päivittäinen huolto käsittää järjestelmän työkalujen vaihdon sekä tuotannon oheislaitteiden muutokset tarvittaessa. Päivittäisten huoltotoimenpiteiden tarkoitus on ennaltaehkäistä järjestelmän mekaanisten osien vikaantumisen. Robottijärjestelmän käyttöön osallistuviin henkilöihin kuuluvat myös yleensä asiantuntijat, joiden tietämys järjestelmästä on syvällisempi, ja joita pystytään konsultoimaan sekä robotin, että oheislaitteiden käyttöön liittyvissä asioissa. Asiantuntijoiden tarkoitus on huolehtia järjestelmän toimintojen ja käytön optimoinnista ja näin ollen järjestää mahdollisimman helppokäyttöinen ja sujuva toiminta robottijärjestelmällä yrityksen tuotteiden valmistukseen. (Kuivanen 1999, 107–108.)

Jotta koulutus saadaan yrityksessä toteutettua onnistuneesti, pitää koulutettavien henkilöiden perehtyä aiheeseen jo etukäteen omatoimisesti. Huolellisten ohjeiden ja ennakoperehtymisen jälkeen on käyttäjien osallistuttava koulutukseen, jossa perehdytään robotin käyttöön ja sen ohjelmistoon. Viimeisinä koulutusvaiheena ennen työssäoppimista on vuorossa järjestelmäkoulutus, jossa tutustutaan yritykselle hankittuun laitteistoon. Vaikka käyttäjät suorittavat robotin käyttämiseen suunnatut kurssit ja koulutukset, tulee lopullinen tuntuma laitteistoon käyttötuntien myötä päivittäisessä tuotantoajossa. (Kuivanen 1999, 108–109.)

Yleisesti robottia hankkiessa ja tarjousta haettaessa robottivalmistajilta, kuuluu käyttö- ja ohjelmointikoulutuksen tarjoaminen pakettiin. Tämä takaa sen, ettei yrityksen tarvitse itse kartoittaa tarvittavia koulutuksia robotin käyttäjille.

3 ROBOTISOLUN TURVALLISUUS

Turvallisuus on robottisolun hankinnassa tärkeää, joten sen huomioiminen on myös tärkeää. Robottisolun turvallisuuden, kuten solun eristämisen minimivaatimukset löytyvät standardeista ja lakivaatimuksista, mutta on järkevää tehdä tutkimus yritykselle sopivista turvallisuusratkaisuista. Jos turvallisuutta laiminlyödään robottisolun hankinnoissa, voi siitä koitua yritykselle todella suuria lisäkustannuksia ja mahdollisia henkilövahinkoja. Robottisolu pyritään valmistamaan niin, että sieltä poistetaan läsnäoloa vaativia tehtäviä ja näin ollen soluun pääsee tuotantoaikana mahdollisimman vähän tarvittavia henkilöitä. (Kuivanen 1999, 166.)

3.1 Robottisolun turvallisuusratkaisut

Robottisolu pyritään usein eristämään turva-aidoilla(kuva 2.) tai vastaavasti sijoittamalla solu seinän viereen, jotta pystytään vähentämään aitojen määrää. Näin ollen robottisolun ei pääse ylimääräisiä henkilöitä ja robotin hitsatessa ei ulkopuolelle lennä mitään hitsauksesta, joka voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa henkilövahinkoja. Robottisolun erityksessä pyritään määrittelemään robotin maksimi toiminta-alue, robotin rajattu toiminta-alue sekä alue, jota turvalaitteet valvovat. Solun eristyksessä ja alueiden määrittelyssä on myös hyvä muistaa tarkastella solun käyttäjäystävällisyyttä. Hitsausrobottisoluissa on myös tärkeää sijoittaa ilmanvaihto paikkaan, jossa hitsauskaasut voidaan poistaa välittömästi, jotta ne eivät pääse leviämään solun ulkopuolelle. (Kuivanen 1999, 166.)

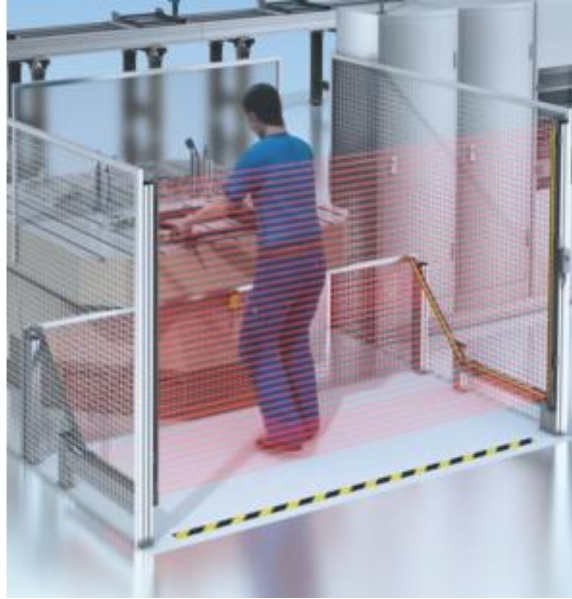
Robottisolun kulkuaukolle on olemassa monia eri turvallisuusratkaisuja, jotka tarpeen tullen pysäyttävät solussa tapahtuvan toiminnan kokonaan. Erilaisia turvallisuusratkaisuja ovat esimerkiksi valokytkimet, valoverhot, turvamatot ja anturit. On myös järkevää hankkia useampi turvaratkaisu kulkuaukkoihin, jotta voidaan varmistua solun turvallisuudesta ja ehkäistään vaaratilanteiden mahdollisuutta vikatilanteiden esiintyessä.



Kuva 2. Robottisolun eristys turva-aidoilla (ABB, 2021)

3.1.1 Valokytkimet ja valoverhot

Valokytkinten ja valoverhojen toiminta perustuu valonsäteisiin. Toisella puolella kulkuaukkoa lähetin lähettää valonsäteitä, jotka kulkuaukon toisella puolella oleva vastaanotin vastaanottaa. Jos jokin katkaisee valonsäteen, solun toiminta pysähtyy kokonaan. Valoverhot toimivat myös hyvin samalla periaatteella, mutta ne ovat suunniteltu esimerkiksi käsien ja jalkojen tunnistamiseen. Valokytkimissä ja valoverhoissa käytetään nykyisin infrapuna-aluetta, jotta ne eivät ota häiriötä valosta tai hyvin yleisesti robottisolussa leijaillevista epäpuhtauksista. Valoverhot ja valokytkimet ovat hyvin yleinen turvallisuusratkaisu soluihin, joissa robotin luona käy ihminen useasti. (kuva 3.) (Malm 2008, 18–19.)

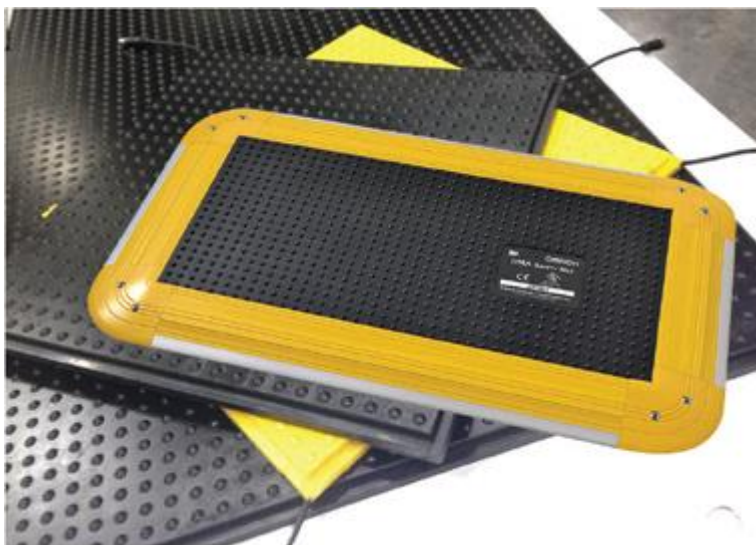


Kuva 3. Turvavaloverho tuotannossa (SICK, 2021.)

3.1.2 Turvamatot

Turvamatot perustuvat pysäytyssignaaliin, joka syntyy kun maton päälle tulee painoa. Turvamatto toimii yleisesti valokuidun tai sähkömekaanisten ratkaisujen avulla. Yleisimmin käytettävä turvamatto perustuu siihen kun maton sisällä olevat metallilevyt painuvat päälle astuttaessa kasaan ja sulkevat levyjen välissä olevan sähköisen piirin, jolloin toiminta solussa keskeytyy. (Malm 2008, 20.)

Turvamatto on myös toimiva ratkaisu soluun, jossa ihminen joutuu liikkumaan solun sisällä useasti. Turvamatto onkin hyvin tärkeää sijoittaa paikkaan, jossa sitä ei pysty vahingossakaan kiertämään tai ylittämään. Turvamaton kanssa on erittäin suositeltavaa hyödyntää myös muitakin turvallisuusratkaisuja. (Malm 2008, 20.)



Kuva 4. Erilaisia turvamatto vaihtoehtoja (industrial.omron, 2021)

3.1.3 Kosketuksettomat turvarajakytkimet

Kosketuksettomat turvarajakytkimet ovat nykypäiväisiä vaihtoehtoja mekaanisille turvarajakytkimille, koska ne takaavat mekaanista versiota paremman turvallisuuden ja niiden ohittaminen on entistä vaikeampaa. RFID-tekniikkaan perustuvan kosketuksettoman turvarajakytkimen toimintaperiaate on hyvin sama kuin valoverhoissa. Mikäli ovi aukeaa, katkeaa anturin tunnistus vastakappaleeseen ja ohjaukskäsky pysäyttää solun toiminnan. Kosketukseton anturi ei missään nimessä saa myöskään käynnistää solun toimintaa uudelleen vaikka ovi suljettaisiin välittömästi, vaan solun toiminnan uudelleenkäynnistykseen vaaditaan erillinen kytkin, joka on sijoitettuna sopivaan paikkaan solun ulkopuolelle. (Malm 2008, 22.)

Kosketuksettomat kytkimet ovat hyvä vaihtoehto tiloihin, joissa tuotannosta aiheutuva pöly tai muu lika voi aiheuttaa mekaanisen kytkimen vioittumisen. Kosketuksettomat anturit(kuva 5.) soveltuvat erityisen hyvin kohteisiin, joissa mekaaniset kytkimet joutuisivat jatkuvaan rasitukseen kuten esim. robottisoluissa, joissa solun kulkuaukko on tiiviissä käytössä ja näin ollen hyvin alttiita vikaantumiselle. (Movetec, 2021.)



Kuva 5. Kosketukseton RDIF turva-anturi (Movetec, 2021)

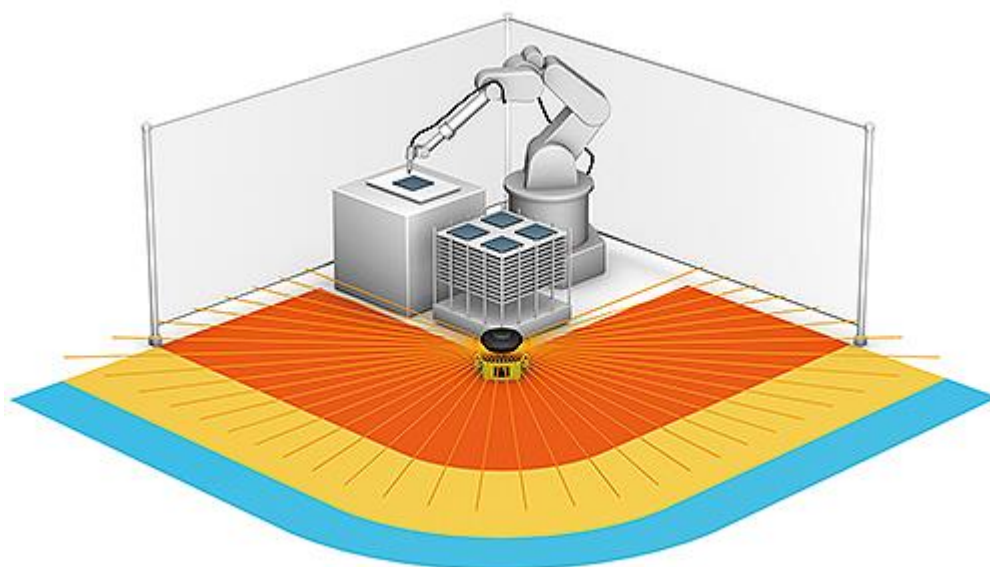


Kuva 5. Kuva turvakyttimeen toiminnasta tuotannossa (ifm, 2021.)

3.1.4 Turvalaserskanneri

Turvalaserskanneri on monipuolinen vaihtoehto robottisolun turvallisuuden valvontaan. Turvalaserskannerin toiminta perustuu, kun mitataan aikaa, jolla valonsäde heijastuu heijastettavasta kohteesta. Lasersäde levitetään peilin avulla alueelle, jota skanneri valvoo. Mikäli lasersäde heijastuu takaisin skanneriin, antaa se ohjauskäskyn. (Malm 2008, 23.)

Tarkasteltava alue on melko vapaasti määritettävä ja se lisää skannerin monipuolisuutta käyttökohteissa. Laserskannerin turva-alue säde on yleensä 1-7 metriä ja varoitusalueen säde noin 10 metriä. Mikäli halutaan tehokkainta alueen valvontaa, on valvottavan alueen koko säädettävä optimaaliseksi tai käytettävä useampaa kuin yhtä skanneria. (Malm 2008, 23; Movetec, 2021.)



Kuva 6. Laserskannerin toiminta-alue solussa (industrial.omron, 2021)



Kuva 7. Turvalaserskanneri tuotannossa (Movetec, 2021)

3.1.5 Hätäpysäytys

Hätäpysäytys on pakollinen osa solun turvallisuutta ja hätäpysäytys-kytkimiä on oltava sekä solun sisällä robotin välittömässä läheisyydessä, että robottisolun ulkopuolella, jotta solu pystytään pysäyttämään kesken tuotannon vikatilanteen sattuessa ja tarvittaessa myös solun sisällä, jos robotti esimerkiksi käynnistyy ennen aikojaan ja aiheuttaa solun sisällä olevalle käyttäjälleen vaaratilanteen. Hätäpysäytyksen pitää katkaista robotilta käyttöenergia välittömästi, mikäli se on turvallista tai heti, kun kone on pysähtynyt. Hätäpysäytysviesti ei myöskään saa mennä esim. ohjelmoitavan logiikan tai tietokoneen kautta. (Kuivanen 1999, 171.)

Kytkimen vapauttaminen ei saa käynnistää mitään osaa laitteessa ja vikatilanteen kuitaus tulee tehdä vaara-alueen ulkopuolelta. (Kuivanen 1999, 171.)

3.1.5 Vikatilat/häiriöt

Mikäli turvalaitteet vikaantuvat, on käynnissä olevat laitteet pysäytettävä välittömästi. Vikatilojen syntyessä on kuitauspainikkeet oltava esteettömissä paikoissa, joista on hyvä näkyvyys vaaravyöhykkeelle. (Kuivanen 1999, 170.)

Jotta pyritään estämään turvalaitteiden vikaantumiset ja mahdolliset häiriötilat, kannattaa turvalaitteet tarkastaa useasti nopealla tarkastuksella sekä tietyin väliajoin tarkemmalla tarkastelulla ja testeillä. Mikäli esim. turva-aukon vikaantumistila kuitataan, se ei saa

käynnistää konetta uudelleen, vaan solun toiminta pitää käynnistää mekaanisesti paikalta, josta kone ja sen tila nähdään kokonaisuudessaan. (Kuivanen 1999, 170.)

4 ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU YRITYKSELLE

4.1 Nykytilanne yrityksessä

Tällä hetkellä KAR-Lehtonen tilaa säiliön "vaipat" alihankintana ja yrityksessä toteutetaan säiliöiden saumojen kuvaus sekä tarvittaessa saumojen korjaushitsaus käsin. Saumojen korjauksen lisäksi yritys kiinnittää käsinhitsauksella säiliön "vaippana" toimivan lieriön päihin "kannet". Tällä hetkellä yrityksessä myös säiliön siirtelyyn käytetään kattonosturia tarpeiden mukaisesti.

Tässä opinnäytetyössä ei ole tarkoitus vertailla robottihitsauksen rahallisia etuja käsinhitsauksen kanssa, vaan määritellä robottisolun vaatimat kustannukset ja robotin käyttökustannukset tuotantoon melko tarkkaa suuntaa antavana hinta-arviona.

4.2 Automatisoidut soluvaihtoehdot

Erilaisia automatisoituja hitsausvaihtoehtoja muodostui lopulta kolme kappaletta. Ensimmäinen vaihtoehto sijoittuu yrityksen jo olemassa oleviin toimitiloihin sen pienen koon vuoksi. Robottisolun sijoittaminen yrityksen nykyisiin toimitiloihin mahdollistaa ilmanvaihtojärjestelmän ja kattonosturin hyödyntämisen kyseisessä vaihtoehdossa. Muissa vaihtoehtoisissa jouduttiin tilanpuutteen vuoksi sijoittamaan soluvaihtoehdot erilliseen tuotantotilaan, josta koitui soluvaihtoehtoilta lisäkuluja uuden ilmanvaihtojärjestelmän ja kattonosturin hankinnassa.

Hitsausratkaisujen suurimmat kulut ovat ratkaisuihin suunnitellut tuotteet lisälaitteineen. Robottisolun muita kustannuksia ovat muun muassa yksityiskohtainen suunnittelu, asennustyöt, ohjelmointi, koulutus ja käyttöönoton kulut. Kahdessa ensimmäisessä vaihtoehdossa kuluerot syntyivät enimmäkseen lisääntyvistä optioista ja niiden aiheuttamista lisäkuluista. Kahteen ensimmäiseen vaihtoehtoon valikoitui robotiksi ABB:n robotti, koska ABB tarjoaa isona robottivalmistajana suuren valikoiman robottien eri vaihtoehtoja, vaihtoehtoja turvallisuusratkaisuihin ja laadukkaat valikoimat robotin optioihin, jonka ansiosta oikenalaisen solun rakennus oli helpompaa. Yritykseltä löytyy myös opinnäytetyössäkin

käytetty ABB:n simulointiohjelma, RobotStudio. Kahdessa ensimmäisessä vaihtoehdossa päädyttiin robottisolun eristyksessä ABB:n tarjoamaan *Quick-Guard*-turva-aitaan. ABB:n *Quick-Guard* turva-aita tarjoaa yritykselle laadukkaan, helppohoitoisen ja kevyen ratkaisun robottisolun erityykseen. (Kuivanen 1999, 110;ABB, 2021)

4.3 Robottisolujen simulointi

Työssä simuloitiin RobotStudiolla kaksi ensimmäistä robottisolun vaihtoehtoa havainnollistamaan solun toimintaa tuotannossa. RobotStudio on ABB:n tarjoama simulointiohjelma, jota pystytään hyödyntämään tuotannon kehittämisessä ja robottien käyttäjien kouluttamisessa. Ohjelmalla pystytään tekemään offline-muokkauksia tuotantoon rasittamatta varsinaista tuotantoa. RobotStudio on hyvin käyttäjäystävällinen ja aloitteleva robotin käyttäjä pääsee ohjelman toimintaan nopeasti sisälle.

Kun oli keskusteltu ABB:n yrityksen edustajan kanssa, solun simulointiin tehtiin muutamia muokkauksia ja toteutettiin muuan muassa muutamia kappaleenkäsittelyn asioita hieman eri tavalla. Kyseiset simulointivaihtoehdot ovat tehty mahdollisimman tarkasti vastaamaan tuotantoon tulevaa vaihtoehtoa. Muutamat osat simuloitiin mallintamalla kappaleita havainnollistamaan osan toimintaperiaatetta. Muun muassa hitsattava kappale ei ole tuotannosta poiketen ontto, ja hitsattavan kappaleen alapuolella käytettävä rullasto on mallinnettu erilaisilla kappaleilla. Molempien simulointien hitsausliikkeet ovat videoitu työvaiheittain mahdollisimman tarkasti havainnollistamaan solun toimintaa tuotannossa. Videot ovat liitteinä olevissa linkeissä.(liite 2.)

4.4 Toteutusvaihtoehto 1

Ensimmäisessä vaihtoehdossa pyritään toimimaan mahdollisimman vähäisellä toimintatilalla sekä vähäisimmillä kustannuksilla, jotta yrityksen resursseja kuluu mahdollisimman vähän. Vaihtoehdossa yksinkertainen robotti toimii paikoillaan hitsaten yhden 2 metrin kappaleen kerrallaan. Kappaleiden kiinnitys toisiinsa ”pystyhitsillä” toteutettaisiin edelleen käsin, koska kyseisellä robotilla ei pysty toteuttamaan pystysuuntaista hitsiä tuotannolle järkevällä vaihtoehdolla. Kappaleiden siirtely toteutettaisiin jo olemassa olevalla kattonosturilla. Myös hitsauskaasujen poisto toteutettaisiin yrityksen nykyisellä ilmanvaihtoratkaisulla.

Robotin ollessa paikoillaan vaaditaan robotin maksimaalisen käyttöalueen olevan reilusti yli 2000 mm, jotta pystytään takaamaan robotin sujuva käyttö ja estämään tuotannossa koituvat ongelmat kuten mm. robotin jatkuva liikkuminen ääriasentoihin ja niistä palautuminen. Vaikka robotin vaakasuuntainen etäisyys on jo valmiiksi riittävä, tehtiin päätös suunnitella soluun robotille noin metrin korkuinen korotuspala, jotta hitsausseura pystytään toteuttamaan parhaalla mahdollisella robotin asennolla. Robotiksi kyseiseen vaihtoehtoon valikoitui ABB:n IRB 4600.(kuva 9.)

Hitsattava kappaleen paikallaan pitämisessä päädyttiin ratkaisuun järeistä, teollisuudessa käytettävissä rullastoista, jotka ABB tarjoaa. Keskustellessa myös ABB:n edustajan kanssa, todettiin tämän olevan paras ratkaisu kyseiselle solulle. Pelkästään järeät, teollisuuden rullastot eivät ole tarpeeksi kappaleen paikallaan pitämiseen, joten kappaleen sivuille oli oleellista lisätä metallilevy, johon asennettavat kiinnikkeet pitävät lieriötä paikallaan. Levyn ollessa melko painava ja ilman vaakasaumaa, lieriö-muotoa on hyvin vaikea ylläpitää, joten sauman päihin vaaditaan kiinnityshitsi ennen varsinaisen sauman tekoa.

4.4.1 ABB IRB 4600 -robotti

ABB:n IRB 4600-robotti on 6-akselinen robotti, joka soveltuu hyvin pieniin hitsauksiin. IRB 4600 on optimoitu vartavasten lyhyisiin hitsausjaksoihin ja se onkin sopiva ratkaisu pieniin valmistussoluihin tehokkaan ja laadukkaan toimintakyvyn ansiosta. IRB 4600 pystyy vähentämään jopa 25% teollisuuden vertailuarvojen sykliarvoja. IRB 4600-robotin maksimaalinen työalue on 2.55m ja hyötykuorma 40kg. (ABB, 2021.)

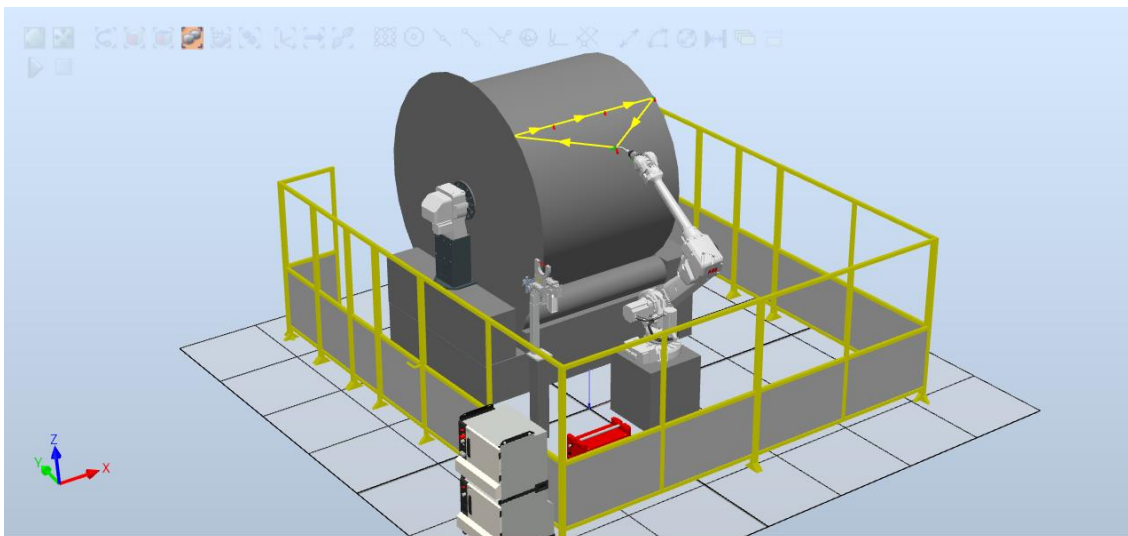


Kuva 8. IRB 4600 6-nivelinen hitsausrobotti (ABB, 2021)

4.4.2 Simulointitulokset, vaihtoehto 1

Ensimmäisessä soluvaihtoehdossa mallinnettiin pieni solu, jossa robotti työskentelee tiiviisti tehden yhden kahden metrin mittaisen vaakasauman. Solusta löytyy IRB 4600 -robotin lisäksi muina laitteina pyöritysrullasto kappaleenpaikoitukseen, froniuksen -hitsauslaitteisto, IRBP 2000 L -käsittelylaitteisto sekä TSC2013 -puhdistusyksikkö. Simuloinnissa suunniteltiin ohjausyksikkö solun ulkopuolelle turvallisuuden ja tilanpuutten vuoksi. Kappaleen sivulla oleva levy, johon käsittelylaite on kiinnitetty, havainnollistaa solussa kappaleen paikoitukseen ja tarvittaessa pyöritykseen käytettävää levyä eri koon optimoitavilla kiinnikkeillä.

Ennen vaakasuuntaisen hitsaussauman simulointia, asetettiin robotin nopeudet hyvin pieneksi, jotta robotin työskentely olisi hallittua ja turvallista. Sauman tekemisen jälkeen robotti palaa rauhallisesti kuvassa 10. näkyvään aloituspaikkaan muodostaen eräänlaisen kolmion robotin liikkeistä hitsausta toteutettaessa.



Kuva 9. Vaihtoehto 1 simuloitu kokonaiskuva tuotannossa.

4.4.3 Hinta-arvio

Keskustellessa ABB:n edustajan kanssa, saatiin häneltä robottisolun hinta-arvio eriteltynä tuotteittain. Hinta-arvioon ei sisälly kappaleen paikoitukseen käytetty, teolliseen tuotantoon tarkoitettu rullasto, mutta kyseisen rullaston vaikutus kokonaishintaan on melko vähäinen.

Vaihtoehtoon valitun IRB 4600 -robotin hinta riippuu paljon millaisia lisälaitteita robotille valitaan ja millainen kokonaisuus on. Yleisesti vastaanvanlaisen robotin hintahaarukka on 40 000 – 70 000 euroa.

Soluun valikoitu, kappaleen pyörytykseen tarkoitettun käsittelylaitteen hinta riippuu paljolti käsittelylaitteen pituudesta ja yrityksen tuotteen tarkoista spekseistä. Yleisesti vastaanvanlaisen käsittelylaitteen hintahaarukka on 5 000 – 20 000 euroa. Robotille saatavissa olevien hitsausvarusteluiden hintahaarukka on noin 10 000 – 40 000 euroa riippuen hitsausvarustelun valmistajasta ja varustelun monipuolisuudesta.

Hyvin yleisesti robottisolun hankinnassa robottivalmistaja pystyy tarjoamaan solun suunnittelun, projektoinnin, asennuksen, käyttöönoton ja tarvittavan koulutuksen robotin käyttöön, jolloin yrityksen ei tarvitse näihin sijoittaa resursseja. Riippuen yrityksen tarjoamista palveluista ja solun kokonaisuudesta, hintahaarukka on yleisesti noin 10 000 – 30 000 euroa. Kuten monilla muilla robottivalmistajilla, myös ABB tarjoaa robotin simulointiohjelman. Yrityksen kannattaa hankkia täysi lisenssi, jotta robotin käyttöä pystytään

kehittämään ilman esteitä. Vastaavanlaisen ohjelman lisenssin hinta riippuu paljon mitä ohjelmisto pitää sisällään ja miten sitä pystytään hyödyntämään tuotantoon. Hintahaa-rukka vuosilisenssille on noin 1 000 – 3 000 euroa riippuen ohjelmistosta.

4.4.4 Robottisolun turvallisuus- ja käyttökustannukset

Kyseisessä vaihtoehdossa solun ollessa yksinkertaisin ratkaisu, ovat robottisolun eristyksen ja turvallisuuteen liittyvät kulut pienimmät mahdolliset. Robottisolu tullaan sijoittamaan seinän viereen, joka mahdollistaa säästöjä turva-aitojen määrässä. Palaverissa ABB:n edustajan kanssa päädyttiin ratkaisuun, jossa oveen sijoitettava turvarajakytkin toimii oven turvallisuusratkaisuna. Kappaleenkäsittelyyn tarkoitettua aukkoa pystytään valvomaan valoverholla. Valoverho on tässä tapauksessa paras ratkaisu, koska kappaleensiirtelyyn tarkoitettu oviaukko on melko tiheässä käytössä varsinkin valmistettaessa kaikki kahden metrin lieriöt vuorotellen. Solun turvallisuusratkaisuissa nähtiin parhaana vaihtoehtona hankkia turvalaitteet myös ABB:n valikoimasta, koska näin pystytään varmistamaan niiden soveltuvuudesta muihin solussa käytettäviin laitteisiin.

Koska robotin käyttökustannuksia ei ole tarkoitus vertailla käsinhitsauksen kanssa, laskettiin robottisolun käyttökustannukset yhden kahden metrin säiliön kappaleen valmistuksen mukaisesti ja robotin toimintakyky arvioitiin mahdollisimman tarkkaan. Robotin käyttökustannukset laskettiin kahden eri kaavan avulla työkustannuksista ja lisäainekustannuksista. Nämä kustannukset yhdistettiin yhdeksi ja saatiin arvio robotin käyttökustannuksista metreittäin. Laskelmissa jätettiin pois vaadittavan energian- ja hitsauskaasun kulutuksen niiden ollessa melko mitätön kuluerä kokonaisuuteen verrattuna. Robotille kaariaikasuhteen arvioitiin olevan noin 70%, koska sauma on merkittävän yksinkertainen. Työtunnin hinnaksi arvioitiin 30e/h, sillä laskennassa on otettu huomioon kahden eri hitsaajan työpanos. Hitsiaineenmäärän ja hitsiaineentuoton kustannusarvion saatiin keskustellessa hitsausvarustelijan kanssa. Selvityksessä ei ole myöskään laskettu robotin mahdollisia kunnossapito- ja takaisinmaksukustannuksia.

Työkustannusten kaava:

$$K_t = \frac{M}{T} \times \frac{1}{e} \times H_t \qquad K_t = \frac{0,2}{3,7} \times \frac{1}{0,7} \times 30 = 2,32 \text{ e/m}$$

M = hitsiainemäärä (kg/m)

T = hitsiaineentuotto (kg/h)

e = kaariaikasuhte (%)

H_t = työtunnin hinta (€/h)

Lisäainekustannusten kaava:

$$k_L = Mx \frac{H_L}{N} \qquad k_L = 0,2x \frac{1,7}{0,95} = 0,36 \text{ e/m}$$

M = Hitsiaineen määrä (kg/m)

H_L = Lisäaineen ostohinta (€/kg)

N = Hyötyluku (0,95)

(Lukkari 2006, 8–9.)

Yhteiskustannukset robotin käytölle ovat noin 2,68 e/m, jolloin kahden metrin vaakasauman hitsaukseen käyttökustannukset ovat noin 5,36 euroa. Kokonaiskustannukset kaikkiin kolmeen kahden metrin mittaisiin kappaleisiin ovat noin 16,08 euroa. Kyseinen käyttökustannus on arvioitu normaalin teräksen hitsaukseen, ja hinta on suuntaa antava arvio. Todellinen hinta-arvio riippuu monista tuotannon eri tekijöistä, joita on vaikea arvioida etukäteen. Hinta-arvio vaihtelee muun muassa riippuen materiaalista ja tarkoista langansyöttönopeuksista.

4.5 Toteutusvaihtoehto 2

Toisessa vaihtoehdossa pyrittiin maksimoimaan robotin tekemä työn hitsaamalla koko säiliön tehden kahden metrin vaakasaumojen lisäksi myös kappaleita yhdistävät pystysaumamat. Kyseisessä vaihtoehdossa robotti liikkuu optiona hankituilla kiskoilla tehden kaikki kolme vaakasaumaa. Solussa pystysaumojen hitsaus toteutetaan robotin ollessa paikoillaan ja säiliön pyöriessä rullastojen ja pyörityslaitteeseen yhdistetyn levyn avulla. Kahden metrin kappaleiden siirtely paikoilleen ABB:n rullastoihin tapahtuu käyttäen kattonosturia.

Kyseinen vaihtoehto säästää merkittävästi aikaa ja toteuttaa koko hitsausprosessin samassa paikassa. Säiliötä paikallaan pitävien rullastojen avulla myös pystyhitsaus pystytään automatisoimaan. Haittapuolina vaihtoehdossa on säiliön paikoitus pystysaumoja varten ja säiliön kappaleiden paikallaan pitäminen rullauksen aikana. Myös kyseissä ratkaisussa päädyttiin käyttämään kappaleenpyörytyksessä levyä, johon on sijoitettu kappaleita paikoillaan pitävät kiinnikkeet. Kyseistä levyä pyörittää ABB:n tarjoama paikoituslaite, IRBP L. Turvalliseen kappaleenpyörytykseen vaaditaan myös kappaleiden kiinnittäminen kiinnityshitseillä. Toisena haittapuolena on suuri tilantarve ja näin ollen kyseinen vaihtoehto tulisivat sijoittaa erilliseen tuotantotilaan.

Robotin kustannukset edelliseen vaihtoehtoon verrattuna nousevat hieman. Lisäkustannukset muodostuvat pääsääntöisesti robotin vaakasuuntaista ulottuvuutta lisäävästä kiskoradasta ja sen aiheuttamista lisäkuluista asennuksessa ja käyttöönotossa. Robotti myös tarvitsee hieman enemmän tilaa ja näin ollen robotin erityksessä joudutaan panostamaan turva-aitojen lisäykseen ja mahdollisesti lisäämään solun turvallisuusratkaisuja.

Robotiksi kyseiseen vaihtoehtoon valikoitui ABB:n IRB 2600ID, koska robotin toimiessa kiskoilla vaaditaan robotilta kykyä enemmän pystysuuntaiseen ulottuvuuteen kuin vaakasuuntaiseen. (kuva 11.) Näin ollen yritys voi säästää robotin koossa ja pitää kokonaiskustannukset järkevinä. Robottia kuljettavissa kiskoissa päädyttiin valikoimaan IRBT 2005 -rata, koska kyseinen vaihtoehto on tarkoitettu nimenomaan IRB 2600ID -robotin käyttöön.

4.5.1 ABB IRB 2600ID -robotti

ABB:n IRB 2600ID on 6-akselinen ja hyvin hitsaukseen soveltuva robotti. Robotin maksimaalinen työalue on 2 000 mm, toistotarkkuus 0,03 mm, ratatarkkuus 0,3 mm ja hyötykuorma 8 kg. (ABB, 2021.)



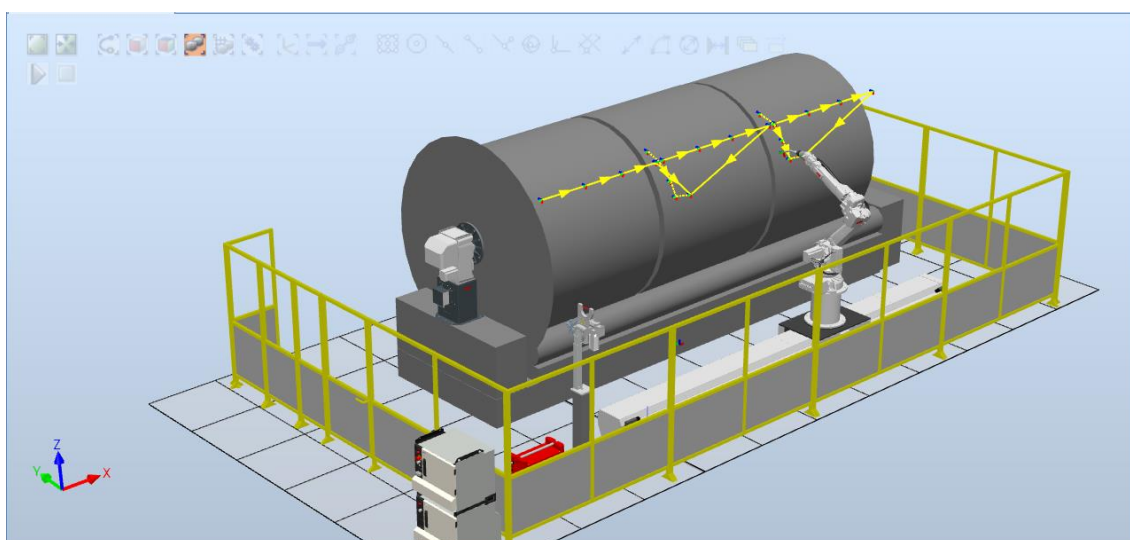
Kuva 10. IRB 2600ID 6-nivelinen hitsausrobotti (ABB, 2021.)

4.5.2 Simulointitulokset, vaihtoehto 2

Toisessa soluvaihtoehdossa robotti hitsaa koko kuuden metrin mittaisen säiliön vaakasaumat sekä kahden metrin kappeleet yhdistävät, pystypäin hitsattavat ympärisaumot. Solussa kappaleenpyörykseen ja paikoitukseen valittiin samat tuotteet kuin edellisessä soluvaihtoehdossa. Robotin vaakasuuntaista ulottuvuutta helpottaa solussa robotille optimoitu rata ja IRB 2600ID -robotin lisäksi solusta löytyy IRBT 2005 -kiskot, IRBP 2000 L -käsittelylaitteisto, vakaat teollisuusrullastot kappaleenpaikoitukseen, froniuksen -hitsausvarustelu sekä TSC2013 -puhdistusyksikkö. Solussa myös ohjainyksikkö on sijoitettu solun ulkopuolelle turvallisuussyistä. Edellisessäkin vaihtoehdossa mallinnettu ympyränmuotoinen levy, havainnollistaa kappaleenpyöryksessä käytettävää levyä. Levyssä olevat, eri koolle optimoitavat kiinnikkeet kiinnittyvät kappaleeseen ja vakaiden teollisuusrullastojen avulla levy pyörittää kappaletta pystyhitsaukseen.

Simuloidessa hitsausaumoja tehtiin kuvassa 12. näkyvät linjat tulevaisuuden tuotannossa olevalla järjestyksellä. Ensimmäisenä robotti hitsaa ensimmäisen vaakasauman kappaleeseen, joka on kiinnitetty kiinnityslevyyn. Tämän jälkeen soluun tuodaan seuraava levy ensimmäisen levyn viereen ja robotti hitsaa vaakasauman tähän levyyn. Kun robotti on hitsannut toisen kappaleen vaakasauman, palaa se levyjen väliin paikkaan, jossa robotti on kauempana lieriöstä. Kun kyseiset kappaleet on tuotannossa kiinnitetty pistehitseillä toisiinsa, aloittaa robotti hitsaamaan pystysaumaa. Pystyhitsaus tapahtuu

noin kolmessa osassa ja levyä pyöritetään aina kun robotti on hitsannut pystysuuntaista saumaa niin paljon kuin mahdollista, koska levyn jatkuva pyörittäminen rasittaisi saumaa merkittävästi. Kun robotti on suorittanut solussa kaksi vaakasaumaa sekä yhden pystysauman, tuodaan soluun viimeinen kappale. Robotti hitsaa viimeisen vaakasauman ja palaa tämän jälkeen kappaleiden kaksi ja kolme väliin suorittamaan viimeistä pystysaumaa. Viimeinen pystysauma suoritetaan myös noin kolmessa osassa, pyörittämällä kappaletta aina tarpeen tullen kun robotti on hitsannut maksimaalisen pystysuuntaisen pituuden. Simuloidessa minimoitiin tilantarve, vaikka robottisolun ensimmäistä vaihtoehtoa merkittävästi isompi. Solu on myös suunniteltu niin, että mahdolliset päätyhitsit pystytään myös suorittamaan tarpeen vaatiessa.



Kuva 11. Vaihtoehto 2 simuloitu kokonaiskuva tuotannossa.

4.5.3 Hinta-arvio

Keskustellessa ABB:n edustajan kanssa, saatiin häneltä robottisolun hinta-arvio eriteltynä tuotteittain.

Vaihtoehtoon valitun IRB 2600ID -robotin hinta riippuu paljon millaisia lisälaitteita robotille valitaan ja millainen kokonaisuus on. Yleisesti vastaanvanlaisen robotin hintahaarukka on 30 000 – 60 000 euroa. Koska hitsauksessa vaadittiin paljon vaakasuuntaista

ulottuvuutta, hankittiin soluun kuuden metrin mittainen IRBT 2005 -lineaarirata. Eri robottivalmistajilta löytyy vastaavanlaisia tuotteita ja sen hinta riippuukin paljon radan varustuksesta ja kehittyneisyydestä. Yleisesti vastaavanlaisen radan hinta vaihtelee 20 000 – 40 000 euron välillä.

Soluun valikoitu, kappaleen pyöriykseen tarkoitetun käsittelylaitteen hinta riippuu paljolti käsittelylaitteen pituudesta ja yrityksen tuotteen tarkoista spekseistä. Yleisesti vastaavanlaisen käsittelylaitteen hintahaarukka on 5 000 – 20 000 euroa. Robotille saatavissa olevien hitsausvarusteluiden hintahaarukka on noin 10 000 – 40 000 euroa riippuen hitsausvarustelun valmistajasta ja varustelun monipuolisuudesta.

Hyvin yleisesti robottisolun hankinnassa robottivalmistaja pystyy tarjoamaan solun suunnittelun, projektionnin, asennuksen, käyttöönoton ja tarvittavan koulutuksen robotin käyttöön, jolloin yrityksen ei tarvitse näihin sijoittaa resursseja. Riippuen yrityksen tarjoamista palveluista ja solun kokonaisuudesta, hintahaarukka on yleisesti noin 10 000 – 30 000 euroa. Kuten monilla muilla robottivalmistajilla, myös ABB tarjoaa robotin simulointiohjelman. Yrityksen kannattaa hankkia täysi lisenssi, jotta robotin käyttöä pystytään kehittämään ilman esteitä. Vastaavanlaisen ohjelman lisenssin hinta riippuu paljon mitä ohjelmisto pitää sisällään ja miten sitä pystytään hyödyntämään tuotantoon. Hintahaarukka vuosilisenssille on noin 1 000 – 3 000 euroa riippuen ohjelmistosta.

4.5.4 Robottisolun turvallisuus- ja käyttökustannukset

Koska robotin käyttökustannuksia ei ole tarkoitus vertailla käsinhitsauksen kanssa, laskettiin vain robottisolun käyttökustannukset yhden kokonaisen säiliön valmistuksen mukaisesti ja robotin toimintakyky arvioitiin mahdollisimman tarkkaan. Palaverissa ABB:n edustajan kanssa päädyttiin ratkaisuun samoista turvallisuusratkaisuista ensimmäisen vaihtoehdon kanssa, jolloin soluun sijoitetaan turvarajakytkin kulkuaukkoon sekä valo-verho toimimaan turvallisuusratkaisuna kappaleiden siirtelyyn toimivassa aukossa. Vaikka solun koko suurenee hieman, on nämä vaihtoehdot riittävät takaamaan solun turvallisuuden.

Robotin käyttökustannukset laskettiin kahden eri kaavan avulla työkustannuksista ja lisäainekustannuksista. Nämä kustannukset yhdistettiin yhdeksi ja saatiin arvio robotin käyttökustannuksista metreittäin. Laskelmissani jätettiin pois vaadittavat energia- ja

hitsauskaasukustannukset niiden ollessa melko mitätön kuluerä kokonaisuuteen verrattuna.

Robotin kaariaikasuhteeksi arvioitiin noin 60%, koska vaakasauma on merkittävän yksinkertainen, mutta vaikka pystysauma on yksinkertainen, ei sitä pystytä hitsaamaan yhdellä kertaa kokonaan. Työtunnin hinnaksi arvioitiin noin 30e/h, koska siihen laskettiin mukaan kahden eri hitsaajan työpanos. Hitsiaineen määrän ja hitsiaineentuoton kustannusarvio saatiin keskustellessa hitsausvarustelijan kanssa. Robotille ei myöskään laskettu mahdollisia kunnossapito- ja takaisinmaksukustannuksia.

Työkustannusten kaava:

$$K_t = \frac{M}{T} \times \frac{1}{e} \times H_t \qquad K_t = \frac{0,2}{3,7} \times \frac{1}{0,6} \times 30 = 2,70 \text{ e/m}$$

M = hitsiainemäärä (kg/m)

T = hitsiaineentuotto (kg/h)

e = kaariaikasuhte (%)

H_t = työtunnin hinta (€/h)

Lisäainekustannusten kaava:

$$k_L = M \times \frac{H_L}{N} \qquad k_L = 0,2 \times \frac{1,7}{0,95} = 0,36 \text{ e/m}$$

M = Hitsiaineen määrä (kg/m)

H_L = Lisäaineen ostohinta (€/kg)

N = Hyötyluku (0,95)

(Lukkari 2006, 8–9.)

Yhteiskustannukset robotin käytölle ovat noin 3,06 e/m jolloin kahden metrin vaakasaumojen hitsauksen käyttökustannukset ovat arviolta noin 18,36 euroa. Pystysuuntaisen hitsauksen kustannusarviot ovat koko säiliöstä noin 34,6 – 46,1 euroa, riippuen säiliön koosta. Kokonaiskäyttökustannukset nousevat säiliön valmistuksessa 52,96 – 64,46 euroon riippuen hitsattavien kappaleiden halkaisijasta. Kyseinen käyttökustannus on arvioitu normaalin teräksen hitsaukseen ja hinta on suuntaa antava arvio. Todellinen hinta saadaan tarkasti selvitetyllä tuotannon toiminnalla, joka riippuu monista eri tuotannon

asioista kuten muun muassa langansyöttönopeuksista, kappaleiden halkaisijasta ja materiaalista. Tästä syystä on äärimmäisen vaikeaa arvioida etukäteen todellista hintaa tietämättä täysin tuotannon toimintaa. Käyttökustannusarvioista jätettiin myös pois mahdolliset koneen huoltokustannukset ja takaisinmaksuarviot.

4.6 Toteutusvaihtoehto 3

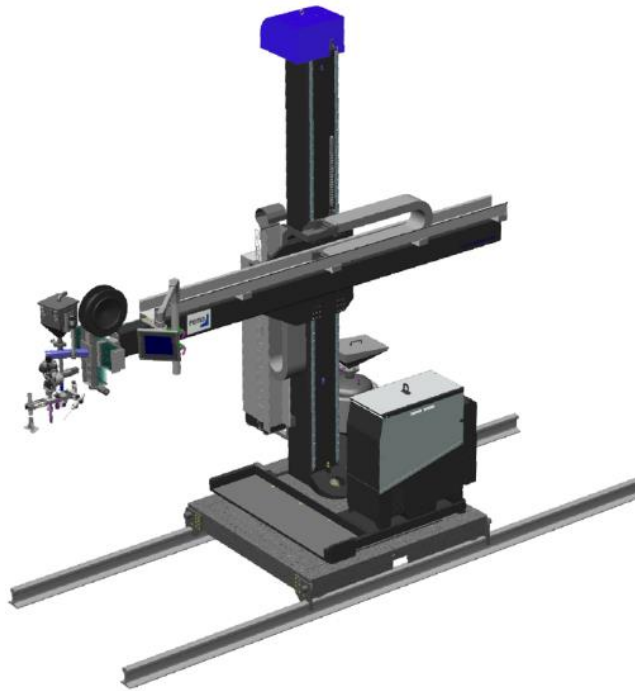
Kolmantena vaihtoehtona toimeksiantajan pyynnöstä päätettiin kartoittaa hieman erilaisempaa, mutta modernia hitsausratkaisua. Kyseisessä vaihtoehdossa hitsaus on toteutettu ylhäältä päin toimivalla Pemamekin hitsaustornilla. Hitsaustornin apuna käytetään rullastoa, jolla pyritään pitämään lieriön muoto hitsauksen aikana sekä paikoittamaan kappaleet kohdilleen ympärisaumaa varten. Kyseisessä vaihtoehdossa pystytään toteuttamaan hitsaus lieriönkappaleiden yhdistämiseksi yhdeksi, isoksi lieriöksi.

Hitsaustornin etuina ovat vakaat lineaariset liikkeet, jotka takaavat hyvin korkean hitsauslaadun, korkean kustannustehokkuuden ja soveltuvuuden lisälaitteisiin kuten rullastoihin ja käsittelypöytiin. Vaihtoehdossa keskustellessa Pemamekin edustajan kanssa, päädyttiin ratkaisuun pema MD-sarjan 4x5 kokoisesta tornista, jotta sillä pystyttäisiin toteuttamaan vaakahitsin lisäksi myös pystyhitsaus. MD-sarjan 4x5 on hieman muunneltu versio sarjan vakiokaluston tuotteesta, MD-sarjan 5x5 tornista. (kuva 13.) Lisäoptioiksi valikoitui pystyrailonseuranta ja kamera sekä hitsausvarusteluna valitsin MAG/MAG hitsauksen, koska hitsattavista materiaaleissa löytyy myös alumiini. Rullastoa valitsiessa päädyttiin ratkaisuun pemamekin tuotteista löytyvään A12 4D Driver Unit -rullastoon. (Pemamek, 2021.)

4.6.1 Hitsaustorni MD 4x5

Pemamekin hitsaustorni MD 4x5 on kooltaan suhteellisen pieni, mutta soveltuu erinomaisesti keskiraskaaseen automaatiohitsaukseen eri hitsaustyyeillä. Kyseisellä hitsaustornilla pystytään toteuttamaan yksi- ja monilanka-jauhekaarhitsausta, MIG/MAG tai TIG hitsausta. Pienen kokonsa ansiosta MD-sarjan hitsaustorneja pystytään hyödyntämään myös pienemmissäkin tuotantiloissa. MD 4x5 hitsaustorniin pystytään myös

soveltamaan erilaisia lisäoptioita kuten mm. kameran, ohjausjärjestelmän ja tarvittaessa myös jauheenkierrätyksen hitsaukseen. (Pemamek, 2021.)



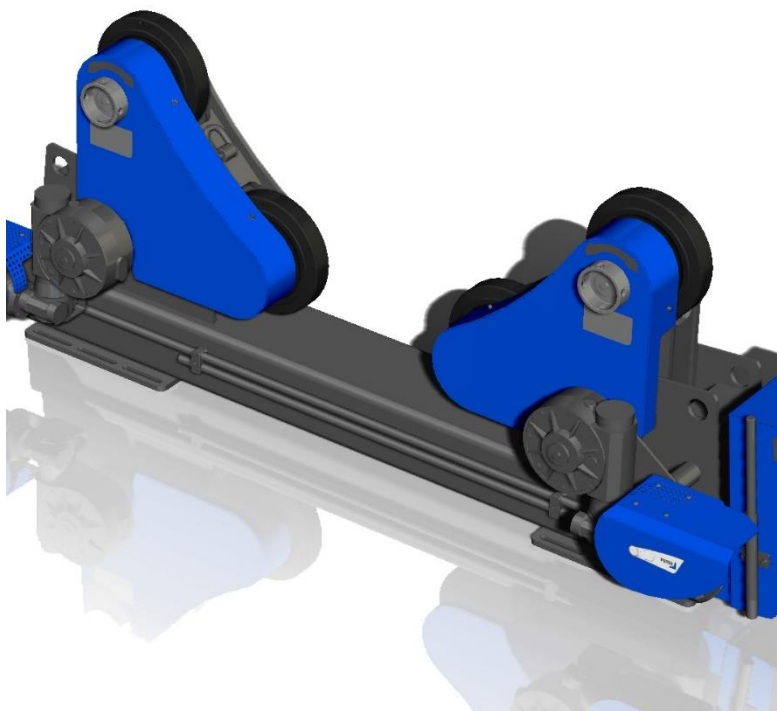
Kuva 12. Hitsaustorni MD-sarja 5x5 (Pemamek, 2021)



Kuva 13. Hitsaustorni ja pyöritysrullastot tuotannossa (Pemamek, 2021.)

4.6.2 A12 4D Drive Unit -rullasto

A12 4D Drive Unit -rullasto on loistava vaihtoehto lieriömuotoisien kappaleiden käsittelyyn. Rullasto on itsekeskittyvä ja sopii hyvin ohutseinäisten, mutta raskaiden työkappaleiden käsittelyyn. (Kuva 15.) Rullasto toimii myös hyvin pienessäkin tuotantotilassa ja takaa loistavan työturvallisuuden. Rullasto on mahdollista asentaa kiskoille, jolloin kappaleiden siirtely ja pyörittely ovat mahdollista. (Pemamek, 2021.)



Kuva 15. A12 4D Drive Unit -rullasto (Pemamek, 2021.)

4.6.3 Hinta-arvio

Keskusteltua yrityksen edustajan kanssa oikeantyyppisestä solusta saatiin yritykseltä hinta-arvio eriteltynä tuotteittain.

Soluun valikoitui MD-sarjan MD 4X5, koska kyseinen torni on kustannustehokkain versio tarpeisiin nähden. Hitsaustornit eivät ole robotteihin verrattuna kovin yleinen vaihtoehto teolliseen tuotantoon ja niiden hinta onkin melko korkea, kertaluontoinen kuluerä. Vastaavanlaisen tornin hinta vaihtelee optioista riippuen 50 000 – 150 000 euron välillä. Kyseisessä vaihtoehdossa kappaleen paikoitukseen ja pyörytykseen valikoitui Pemamekin tarjoama A12 4D -rullasto, jonka totesin tuotetarkasteluiden jälkeen olevan kustannustehokkain vaihtoehto tarpeisiin nähden. Pyörytysrullastot eivät myöskään ole kovin yleinen vaihtoehto teolliseen tuotantoon ja eri valmistajia ei löydy montaa markkinoilta. Monet jälleenmyyjät kuten muun muassa ramirent tarjoaa pemamekin tuotteita valikoimassaan. Vastaavanlaisen rullaston hinta riippuu pitkälti yksiköiden määrästä ja tyypistä, mutta yleisesti hintahaarukka on noin 30 000 – 50 000 euroa.

Kuten robottisolujen hankinnassa, myös hitsaustornin hankinnassa valmistaja tarjoaa tornin suunnittelun, asennuksen, käyttöönoton ja koulutuksen, jotta yrityksen ei tarvitse käyttää resurssejaan. Varsinkin mittavan kokonsa vuoksi hitsaustornin asennus voi viedä yritykseltä merkittävästi resursseja ja hidastaa yrityksen tuotantoa. Yleisesti suunnittelun ja käyttöönoton välillä koituvien kustannuksien hinta-arvio on noin 5 000 – 20 000 euroa riippuen kokonaisuudesta.

4.6.4 Hitsaustornin turvallisuus- ja käyttökustannukset

Hitsaustornin käyttö on yritykselle hyvin turvallinen ratkaisu hitsauksen automatisointiin ja ainoat turvallisuusratkaisut ovatkin hitsauskaasujen poisto sekä valokaaren heijastumisen estäminen. Varsinaisia muita turvallisuusratkaisuja ei kyseissä vaihtoehdossa ole. Koska kyseinen vaihtoehto tulee sijoittaa erilliseen tuotantotilaan, joutuu tilaan asentamaan erikseen torniin optimoitavan kaasunpoiston sekä häikäisysoijat

Hitsaustornin käyttökustannukset laskettiin metreittäin kahden eri kaavan avulla, jolla saatiin laskettua tornin työkustannukset ja lisääinekustannukset. Tähän ei laskettu mahdollisia takaisinmaksuarvioita, koneen tuntikustannuksia tai energian ja hitsauskaasun tuomia lisäkustannuksia.

Hitsaustornille arvioitiin kaariaikasuhteeksi noin 70%, koska kahden metrin lieriön kappaleet pystytään tuomaan samanaikaisesti rullastojen päälle ja robotti pystyy hitsaamaan ne ilman kappaleiden käsittelyyn vaadittavia taukoja. Koska rullastot pystytään optimoimaan toimimaan yhdessä hitsaustornin kanssa, onnistuu kappaleiden pyöritys samanaikaisesti tornin hitsatessa. Tämä vähentää kappaleen käsittelyaikoja. Työtunnin hinnaksi arvioitiin 30e/h, sillä laskelmissa on otettu huomioon kahden eri hitsaajan työpanos.

Työkustannusten kaava:

$$K_t = \frac{M}{T} \times \frac{1}{e} \times H_t \qquad K_t = \frac{0,25}{4,6} \times \frac{1}{0,7} \times 30 = 2,33 \text{ e/m}$$

M = hitsiainemäärä (kg/m)

T = hitsiaineentuotto (kg/h)

e = kaariaikasuhte (%)

H_t = työtunnin hinta (€/h)

Lisäainekustannusten kaava:

$$k_L = Mx \frac{H_L}{N} \qquad k_L = 0,25x \frac{1,7}{0,95} = 0,45 \text{ e/m}$$

M = Hitsiaineenmäärä (kg/m)

H_L = Lisäaineen ostohinta (€/kg)

N = Hyötyluku (0,95)

(Lukkari 2006, 8–9.)

Yhteiskustannukset hitsaustornin käytölle ovat noin 2,78 e/m, jolloin kaikkien kahden metrin vaakasaumojen hitsauksen käyttökustannukset ovat arviolta noin 16,68 euroa. Pystysuuntaisen hitsauksen kustannusarviot ovat koko säiliöstä noin 31,4 – 41,9 euroa, riippuen säiliön koosta. Kokonaiskäyttökustannukset koko säiliön valmistukseen hitsausaumojen osalta ovat noin 48,08 – 58,58 euroa, riippuen kappaleiden halkaisijasta. Kyseinen käyttökustannus on arvioitu normaalin teräksen hitsaukseen ja hinta on suuntaa antava arvio. Todellinen hinta saadaan tarkasti selvitettyllä tuotannon toiminnalla, joka riippuu monista eri tuotannon asioista, kuten materiaalista ja hitsausnopeuksista. Sen takia hintaa on äärimmäisen vaikeaa arvioida etukäteen tietämättä täysin tuotannon toimintaa. Käyttökustannusarvioista jätettiin myös pois mahdolliset koneen huoltokustannukset ja takaisinmaksuarviot.

5 YHTEENVETO/TULOKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja kartoittaa ennakoon erilaisia automatisoituja hitsausratkaisuja KAR-Lehtosen säiliönvalmistuksen hitsausprosessiin. Keskeisin työosuus oli kartoittaa hitsausratkaisu kahden metrin mittaisen vaakasauman hitsaukseen, mutta työssä tarkasteltiin lisäksi pystysuuntaiseen sauman hitsaukseen sopivia vaihtoehtoja. Työssä selvitettiin robotiikan perustarpeita aina hitsauksesta oikeanlaisen robottisolun rakentamiseen. Työssä kartoitettiin perustietoja robotin toiminnasta sen käyttöönottoon, ja tietoja pystytään tulevaisuudessa hyödyntämään robottisolun rakentamisessa. Kartoittaessa erilaisia automatisoituja hitsausratkaisuja päädyttiin arvioinnissa kolmeen eri vaihtoehtoon, joita lähdettiin kehittämään eteenpäin yrityksen tarpeita, mahdollisuuksia ja tuotevalmistajien mielipiteitä huomioiden. Kahdesta ensimmäisestä robottisoluvaihtoehdosta tehtiin simuloitteja ABB:n tarjoamalla RobotStudio -ohjelmalla ja muodostettiin toimivat soluvaihtoehdot yritykselle. Simuloinnit RobotStudiolla on myös videoitu havainnollistamisen vuoksi. Kun keskusteltiin tuotevalmistajien kanssa, saatiin hinta-arviot eri hitsausvaihtoehdoille. Hitsausratkaisujen käyttökustannukset laskettiin myös käyttäen hyväksi yrityksen antamia tietoja, yleisiä tietoja ja hitsausvarustelijan antamia yleistietoja perustuen käytettäviin tuotteisiin.

Vaihtoehtoissa vertailukriteerejä oli monia. Suurimmat vertailukriteerit olivat fyysiset kustannukset ja solun hinta, mutta huomiota kiinnitettiin myös solussa tapahtuvaan työhön ja sen vaikutusta yrityksen tuotannon parantamiseen. Muita vertailukriteerejä olivat solun soveltuus nykyiseen tuotantotilaan sekä solulle laskemani käyttökustannukset. Hyvin tarkkojen hinta-arvioiden ansiosta pystyttiin vertailemaan solujen hintoja ja etuja solussa. Kokonaisuudessaan arvioitiin kaikkien vertailukriteerien osuutta soluvaihtoehdoissa muodostaen jokaisesta soluvaihtoehdosta oman kokonaisarvion. Taulukossa 1 on esitettynä solun hinta-arviot osiin eriteltynä.

	Soluvaihtoehto 1	Soluvaihtoehto 2	Soluvaihtoehto 3
Automatisoitu hitsausratkaisu	40 000 – 70 000 €	30 000 – 60 000 €	70 000 – 150 000 €
Soluun sijoitettavat oheislaitteet	26 000 – 93 000 €	46 000 – 133 000 €	35 000 – 70 000 €
Käyttökustannukset	5,36 € x 3 = 16,08 €	34,6 - 46,1 €	31,4 – 41,9 €

Taulukko 1. Solujen hinta-arviot eriteltynä.

Yritykseen suunniteltu ensimmäinen vaihtoehto on kehitetty yrityksen alkuperäisen ja keskeisen toiveen mukaisesti hitsaamaan pelkästään kahden metrin mittainen vaakasauma mahdollisimman kustannustehokkaasti ja pienimmillä mahdollisilla solukustannuksilla. Kyseinen vaihtoehto on huomattavasti muita soluvaihtoehtoja halvempi, mutta toiminnaltaan rajoitetumpi. Solussa tapahtuva työ on pienin mahdollinen, mutta soluvaihtoehdon etua tuo sen koko, jolloin se pystytään sijoittamaan pienillä layout -muutoksilla jo olemassa oleviin tuotantotiloihin. Tämän lisäksi solussa pystytään hyödyntämään jo olemassa olevaa hallinosturia sekä yrityksen käytössä olevaa ilmanvaihtojärjestelmää. Varsinaiset solun käyttökustannukset eivät eroa merkittävästi muista soluvaihtoehtoista.

Toisessa suunnitellussa vaihtoehdossa kehitin robotin toimintakykyä vaakasauman lisäksi myös pystysauman tekemiseen. Mahdollisuus pystysauman tekemiseen luotiin lisäämällä robotin vaakasuuntaista liikkuvuutta kuuden metrin radalla, jolloin robotti pystyy liikkumaan säiliön päästä päähän. Radan hankinta lisäsi kokonaishintaan verrattuna suuresti solun hankintakustannuksia mutta samalla merkittävästi kokonaistehokkuutta. Kokonaispitkä kappaleiden paikoitukseen ja pyörittämiseen käytetty teollisuusrullasto mahdollisti myös, että yritys pystyy siirtämään kaikki kappaleet samaan aikaan rullastoille ja kykenee ohjelmoimaan robotin hitsaamaan koko säiliön vaativat saumat, jolloin liikenne soluun on mahdollisimman vähäistä. Robotin käyttökustannukset lisääntyvät edellisestä vaihtoehdosta hieman, koska vaihtoehdossa hitsataan koko säiliö vaak- ja pystysaumoineen, mutta pysyvät edelleen pienimpinä kuin manuaalisessa hitsauksessa. Tilanpuutteen vuoksi kyseinen soluvaihtoehto suunniteltiin erilliseen tuotantotilaan, joka lisää merkittävästi solun hankintakustannuksia. Soluvaihtoehto vaatii toimiakseen isomman toimitilan, johon tulee olla asennettuna hallinosturi ja ilmanvaihtojärjestelmä. Vaikka kyseinen solu tuleekin sijoittaa erilliseen toimitilaan eikä yritys pysty hyödyntämään nykyistä tuotantotilaansa, pystytään solussa hitsaamaan koko säiliö, joten sen kustannustehokkuus on merkittävästi suurempi kuin ensimmäisen vaihtoehdon.

Viimeisimpänä vaihtoehtona yrityksen pyynnöstä kehitettiin hieman edellisistä vaihtoehtoista poikkeavaa, mutta modernia hitsausratkaisua. Kyseisessä vaihtoehdossa toimii Pemamekin kehittämä hitsaustorni, jolla pystytään tehokkaasti ja laadukkaasti hitsaamaan vaaka- ja pystysaumot. Hitsaustornin apuna kappaleenpaikoitukseen ja pyöritykseen valittiin Pemamekin tuotteista myös pyöritysrullasto. Kyseinen rullasto lisää merkittävästi vaihtoehdon kokonaiskustannuksia mutta helpottaa optimoitavuutensa ansiosta merkittävästi hitsaustornin työskentelyä. Hitsaustorni rullastoineen on edellisiä vaihtoehtoja huomattavasti kalliimpi mutta toimii vakaan ja laadukkaan hitsausjäljen ansiosta todella tehokkaasti. Paikoitusrullastot mahdollistavat kappaleiden tarkan paikoituksen ja vaakasauman hitsaus pystytäänkin toteuttamaan oikein optimoituna yhdellä kertaa. Rullastoa pystytään pyörittämään samaan tahtiin hitsauksen kanssa, mikä mahdollistaa pystysaumojen nopean hitsauksen. Hitsaustorni ei myöskään vaadi merkittäviä turvallisuuskustannuksia, ja kulut syntyvät lähinnä pelkästään tuotteiden hinnoista. Käyttökustannukset eivät myöskään eroa juurikaan toisena vaihtoehtona olleen robottisolun käyttökustannuksista. Suuren hinnan lisäksi tornin haittapuolena on tilantarve, ja tästä syystä se joudutaankin sijoittamaan erilliseen tuotantotilaan, johon on asennettava myös ilmanvaihtojärjestelmä hitsauskaasujen poistoon. Erillinen tuotantotila lisää myös robotin hankintakustannuksia merkittävästi.

Kokonaisuudessaan jokainen automatisoitu hitsausratkaisuvaihtoehto tuo kustannustehokkuutta ja merkittävää säästöä yritykselle. Sopivan vaihtoehdon kartoittaminen yritykselle onkin pitkälti kiinni siitä paljonko yritys on valmis investoimaan resursseja hitsauksen automatisoimiseen. Oikeanlaisen vaihtoehdon löytäminen juuri yrityksen tarpeisiin ja mahdollisuuksiin vaatii vielä hieman pidempää tarkasteluprosessia, mutta mikäli yrityksessä päädytään toistaiseksi edullisempaan ratkaisuun, on robottisolun päivittäminen myös tuotannon kasvaessa mahdollista ja todennäköistä. Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää yrityksessä tarkasteltaessa eri hitsausratkaisujen vaatimuksia ja resurssien tarvetta.

LÄHTEET

ABB Oy, 2021. Quick-Guard turva-aidan www-sivut. Viitattu 24.2.21 ja 15.3.21. <https://new.abb.com/low-voltage/products/safety-products/fencing-systems/quick-guard>

ABB Oy, 2021. Robotiikan www-sivut. Viitattu 13.2.21. <https://new.abb.com/products/robotics/>

ABB Oy, 2021. Teollisuusrobottien www-sivut. Viitattu 12.3.21 ja 16.3.21. <https://new.abb.com-/products/robotics/industrial-robots>

ABB Oy, 2021. WeldGuide-railonseurannan www-sivut. Viitattu 13.4.21. <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/arc-welding-equipment/process-support-tools/weldguide>

Ifm electronic Oy, 2021. www-sivut. Viitattu 16.3.21. www.ifm.com

Industrial.omron Oy, 2021. Turvamattojen www-sivut. Viitattu 25.1.21. <https://industrial.omron.fi/fi/products/safety-mats>

KAR-Lehtonen Oy, 2021. www-sivut. Viitattu 3.5.21. <https://kar-lehtonen.fi/>

Kemppi Oy, 2021. Hitsausaapinen. www-sivut. Viitattu 6.4.21 ja 12.4.21. <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/robottihitsaus/>

Kuivanen, Risto 1999. Robotiikka. Tampere: Suomen Robotiikkayhdistys Ry

Liutu, Raine. 2009. Kandidaatin työ. Optinen railonseuranta alumiinirakenteiden hitsauksessa. Lappeenranta teknillinen yliopisto. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/58962/nbnfi-fe201001251184.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Lukkari, Juha. 2011. Hitsausuutiset 3/2011. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. Viitattu 19.1.21 ja 7.4.21. http://shy.fi/portals/shy/iBooklet/2011-/ht_3_11/files/assets/basic-html/page14.html

Lukkari, Juha 2008. Hitsausuutiset 1/2008. ESAB OY. Viitattu 26.4.21. <https://www.esab.fi/fi/fi/news/hitsausuutiset/upload/hu-1-08.pdf>

Lukkari, Juha. 2006. Hitsausuutiset 1/2006. ESAB OY. Viitattu 26.4.21. <https://www.esab.fi/fi/fi/news/hitsausuutiset/upload/hu-1-06.pdf>

Malm, Timo 2008. Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus. 1. painos Helsinki: Hakapaino Oy.

Movetec Oy, 2021. Turvalaserskannerin www-sivut. Viitattu 16.3.21. <https://www.movetec.fi/fi/tuotteet/koneturvallisuus/turvalaserskannerit-keyence/sz-turvalaserskanneri>

Movetec Oy, 2021. Turva-anturien www-sivut. Viitattu 16.3.21. <https://www.movetec.fi/fi/tuotteet/koneturvallisuus/rajakytkimet-ja-turvarajakytkimet-piz-zato/kosketuksettomat-turva-anturit-rfid-magneettikytkimet>

Mänty, Sakari. 2010. Tutkintotyö. Tuotannon kehittäminen hitsausrobotisoidussa piensarjatuotannossa. Vaasan ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/13825/Tutkintotyö_Sakari_Manty.pdf?sequence=1

PELLINEN, Jukka 2019. Kustannuslaskenta ja kannattavuusajattelu 3. uudistettu painos. Helsinki: Alma Talent Oy

Pemamek Oy, 2021. Hitsaustornien www-sivut. Viitattu 25.3.21. <https://pemamek.com/fi/hitsaustornit/>

Pemamek Oy, 2021. MD-sarjan hitsaustorni MD 5X5. www-sivut. Viitattu 25.3.21. <https://pemamek.com/fi/tuote/md-5x5/>

Pemamek Oy, 2021. Rullastojen www-sivut. Viitattu 24.3.21. <https://pemamek.com/fi/rullastot/>

Salkinoja, Heikki 2010. Hitsausuutiset 2/2010. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. Viitattu 7.4.21. http://www.shy-hitsaus.net/portals/shy/iBooklet-/2010/ht_2_10/files/assets/basic-html/index.html#12

Sick Oy, 2021. Turvaloverhojen www-sivut. Viitattu 25.1.21. <https://www.sick.com/fi/fi/valosaehkoeiset-turvalaitteet/turvavalooverhot/c/g185751>

Liitteet

Liite 1. Robottien ja ohjelaitteiden tuotetiedot

Specification

Robot version	Reach (m)	Payload (kg)	Armload (kg)
IRB 4600-60/2.05	2.05	60	20
IRB 4600-45/2.05	2.05	45	20
IRB 4600-40/2.55	2.55	40	20
IRB 4600-20/2.50	2.51	20	11
Number of axes	6+3 external (up to 36 with MultiMove)		
Protection	Standard IP67, as option Foundry Plus 2		
Mounting	Floor, shelf, inverted or tilted		
Controller	IRC5 Single cabinet		

Performance (according to ISO 9283)

	Position repeatability	Path repeatability*
IRB 4600-60/2.05	0.06 mm	0.46 mm
IRB 4600-45/2.05	0.05 mm	0.13 mm
IRB 4600-40/2.55	0.06 mm	0.28 mm
IRB 4600-20/2.50	0.05 mm	0.17 mm

*Measured at speed 250 mm/s.

Technical information

Electrical Connections

Supply voltage	200-600 V, 50-60 Hz
----------------	---------------------

Physical

Robot base	512 x 676 mm
Height	
IRB 4600-60/2.05	1727 mm
IRB 4600-45/2.05	1727 mm
IRB 4600-40/2.55	1922 mm
IRB 4600-20/2.50	1922 mm
Robot weight	
IRB 4600-60/2.05	425 kg
IRB 4600-45/2.05	425 kg
IRB 4600-40/2.55	435 kg
IRB 4600-20/2.50	412 kg

Environment

Ambient temperature for mechanical unit

During operation	+5° C (41° F) to +45° C (113° F)
During transportation and storage	-25° C (-13° F) to +55° C (131° F)
During short periods (max. 24 h)	up to +70° C (158° F)
Relative humidity	Max. 95%
Safety	Double circuits with supervisions, emergency stops and safety functions. 3-position enable device

Emission	EMC/EMI shielded
----------	------------------

Data and dimensions may be changed without notice.

abb.com/robotics

We reserve the right to make technical changes or modify the contents of this document without prior notice. With regard to purchase orders, the agreed particulars shall prevail. ABB does not accept any responsibility whatsoever for potential errors or possible lack of information in this document.

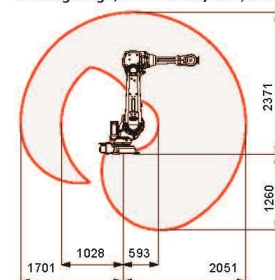
We reserve all rights in this document and in the subject matter and illustrations contained therein. Any reproduction, disclosure to third parties or utilization of its contents – in whole or in parts – is forbidden without prior written consent of ABB. Copyright © 2020 ABB. All rights reserved.

Movement

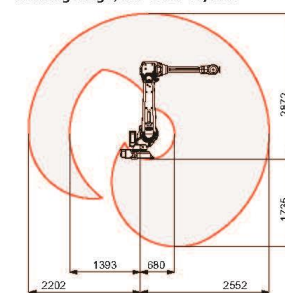
Axis movement	Working range	Axis max. speed
Axis 1 rotation	+180° to -180°	175°/s
Axis 2 arm	+150° to -90°	175°/s
Axis 3 arm	+75° to -180°	175°/s
Axis 4 wrist	+400° to -400°	250° (360° for IRB 4600-20/2.50)
Axis 5 bend	+120° to -125°*	250° (360° for IRB 4600-20/2.50)
Axis 6 turn	+400° to -400°	360° (500° for IRB 4600-20/2.50)

*IRB 4600-20/2.50, +120° to -120°.

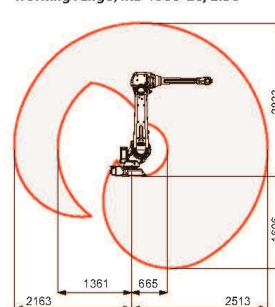
Working range, IRB 4600-60/2.05, IRB 4600-45/2.05



Working range, IRB 4600-40/2.55



Working range, IRB 4600-20/2.50



<https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-4600/irb-4600-data>

Specification

Variants	Handling capacity (kg)	Max continuous torque (Nm)	Max bending moment (Nm)	Repetitive accuracy (r=500)	Max rotation speed (°/s)
IRBP L-300	300	350	600	+/-0.05	180
IRBP L-600	600	650	3300	+/-0.05	150
IRBP L-1000*	1000	900	5000	+/-0.05	150
IRBP L-2000	2000	3800	15000	+/-0.05	90
IRBP L-5000	5000	9000	60000	+/-0.05	39

Maximum handling capacity decreases when the length between the rotary unit and the support collar (dimension A below) is greater than 2000mm.

Measurements

Variants	A	B	ø C	D
IRBP L-300	1250	950	1500	1979
	1600	950	1500	2329
	2000	950	1500	2729
	2500	950	1500	3229
	3150	950	1500	3879
IRBP L-600 & IRBP L-1000	1250	950	1500	2182
	1600	950	1500	2532
	2000	950	1500	2932
	2500	950	1500	3432
	3150	950	1500	4082
IRBP L-2000	1250	950	1500	2423
	1600	950	1500	2773
	2000	950	1500	3173
	2500	950	1500	3673
	3150	950	1500	4323
IRBP L-5000	1250	950	1500	5173
	-	1200	2200	-
	-	1200	2200	-
	-	1200	2200	-
	-	1200	2200	-

For complementary information, please see the product specification. ABB reserves the right to change data without notice.

Dimension drawings

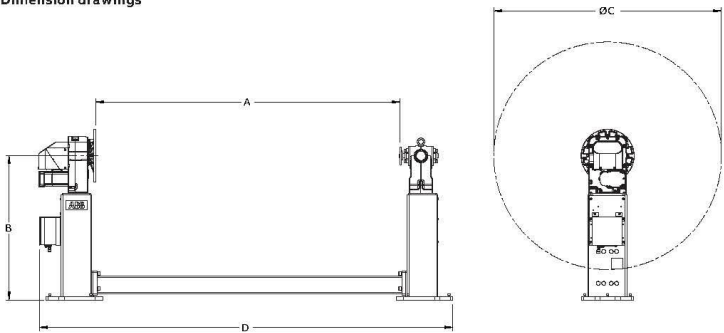


abb.com/robotics

We reserve the right to make technical changes or modify the contents of this document without prior notice. With regard to purchase orders, the agreed particulars shall prevail. ABB does not accept any responsibility whatsoever for potential errors or possible lack of information in this document.

We reserve all rights in this document and in the subject matter and illustrations contained therein. Any reproduction, disclosure to third parties or utilization of its contents – in whole or in parts – is forbidden without prior written consent of ABB. Copyright© 2019 ABB. All rights reserved

PR10112EN Rev.D August 2019

<https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/workpiece-positioners/irbp-l/data---irbp-l>

Versions, a cabinet range covering every need. The IRC5 comes in different variants to provide a cost-effective and optimized solutions for every need.



IRC5 Single Cabinet Controller

- Designed for high IP protection and full expandability.
- Provides a protected environment for axillary equipment in the robot system.
- Capable of control of up to four robots in a MultiMove™ setup. Just add a compact drive module to each additional robot.
- MultiMove opens up previously unthinkable operations, thanks to the perfect coordination of complex motion patterns.

Technical information	
Electrical Connections	
Supply voltage	3 phase, 200-600 V, 50-60 Hz
Physical	
Dimensions	
Single cabinet	970 x 725 x 710 mm
MultiMove drive modules	720 x 725 x 710 mm
Weight	
Single cabinet	150 kg
MultiMove drive modules	130 kg
Environment	
Ambient temperature	0-45°C option 0-52°C
Relative humidity	Max. 95% non condensing
Safety	SafeMove. Supervision of stand-still, speed, position and orientation (robot and additional axes): 8 safe inputs for function activation, 8 safe monitoring outputs
Extended safety	Electronic Position Switches: 5 safe outputs monitoring axis 1-7
Level of protection	IP54 (cooling ducts IP33)



IRC5C Compact Controller

- Offers the capabilities of the powerful IRC5 controller in a compact format.
- Delivers space saving benefits and easy commissioning through one phase power input
- External connectors for all signals and a built in expandable 16 in, 16 out I/O system.

Technical information	
Electrical Connections	
Supply voltage	Supply Voltage: Single phase 220/230 V, 50-60 Hz
Physical	
Dimensions	
Dimensions	310 x 449 x 442 mm
Weight	
Weight	30 kg
Environment	
Ambient temperature	0-45°C
Relative humidity	Max. 95% non condensing
Level of protection	IP20

ABB AB Robotics
Hydrovägen 10 SE-721 36
Västerås, Sweden
Phone: +46 21325000

ABB Engineering (Shanghai) Ltd.
No. 4528, Kangxin Highway,
Pudong New District,
Shanghai, 201319, China
Phone: +86 21 6105 6666

abb.com/robotics

We reserve the right to make technical changes or modify the contents of this document without prior notice. With regard to purchase orders, the agreed particulars shall prevail. ABB does not accept any responsibility whatsoever for potential errors or possible lack of information in this document.

We reserve all rights in this document and in the subject matter and illustrations contained therein. Any reproduction, disclosure to third parties or utilization of its contents – in whole or in parts – is forbidden without prior written consent of ABB. Copyright © 2017 ABB. All rights reserved.

<https://new.abb.com/products/robotics/controllers/irc5-overview/irc5/irc5-data>

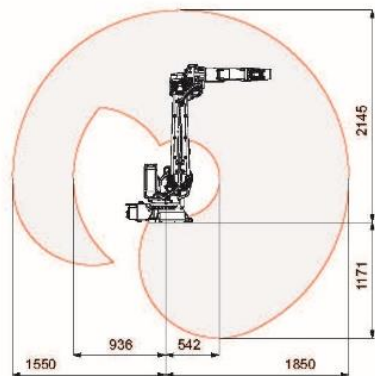
Specification					
Robot version	Reach (m)	Handling capacity (kg)	Center of gravity (mm)	Wrist torque (Nm)	
IRB 2600ID-15/1.85	1.85	15	10	Axis 4 & 5: 34.6 Axis 6: 11	
IRB 2600ID-8/2.00	2	8	15	Axis 4 & 5: 31.4 Axis 6: 10.2	
Number of axes		6			
Protection		Standard IP67 for base and lower arm IP54 for upper arm			
Mounting		Floor, wall, shelf, tilted, inverted			
Controller		IRC5 Single Cabinet			

Performance (according to ISO 9283)		
	Position repeatability	Path repeatability
IRB 2600ID-15/1.85	0.026 mm	0.30 mm
IRB 2600ID-8/2.00	0.023 mm	0.27 mm

Technical information	
Electrical Connections	
Supply voltage	200-600 V, 50-60 Hz
Physical	
Robot base	676 x 511 mm
Robot height	±600 mm
Robot weight	
IRB 2600ID-15/1.85	273 kg
IRB 2600ID-8/2.00	276 kg
Environment	
Ambient temperature for mechanical unit	
During operation	+5°C (41°F) up to +50°C (122°F)
During transportation and storage for short periods (max. 24h)	-25°C (13°F) up to +55°C (131°F)
For short periods (max. 24 h) up to +70°C (158°F)	
Relative humidity	Max. 95 %
Noise level	Max. 69 dB (A)
Safety	Double circuits with supervision, emergency stops & safety functions, 3 position enabling device
Emission	EMC/EMI shielded
Options	Foundry Plus 2
Data and dimensions may be changed without notice.	

Movement		
Axis movement	Working range	Axis max speed
Axis 1 rotation	+180° to -180°	175°/s
Axis 2 arm	+155° to -95°	175°/s
Axis 3 arm	+75° to -180°	175°/s
Axis 4 rotation	+175° to -175°	360°/s
Axis 5 band	+120° to -120°	360°/s
Axis 6 turn	+400° to -400°	500°/s
	Max rev: +191 to -191	

Working range, IRB 2600ID-15/1.85



Working range, IRB 2600ID-8/2.00

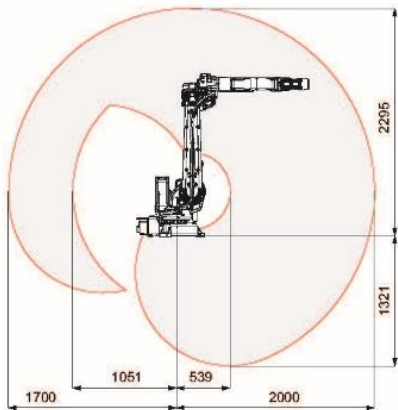


abb.com/robotics

We reserve the right to make technical changes or modify the contents of this document without prior notice. With regard to purchase orders, the agreed particulars shall prevail. ABB does not accept any responsibility whatsoever for potential errors or possible lack of information in this document.

We reserve all rights in this document and in the subject matter and illustrations contained therein. Any reproduction, disclosure to third parties or utilization of its contents – in whole or in parts – is forbidden without prior written consent of ABB. Copyright © 2019 ABB. All rights reserved.

ROB0205EN RevE January 2019

<https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-2600id/irb-2600id-data>

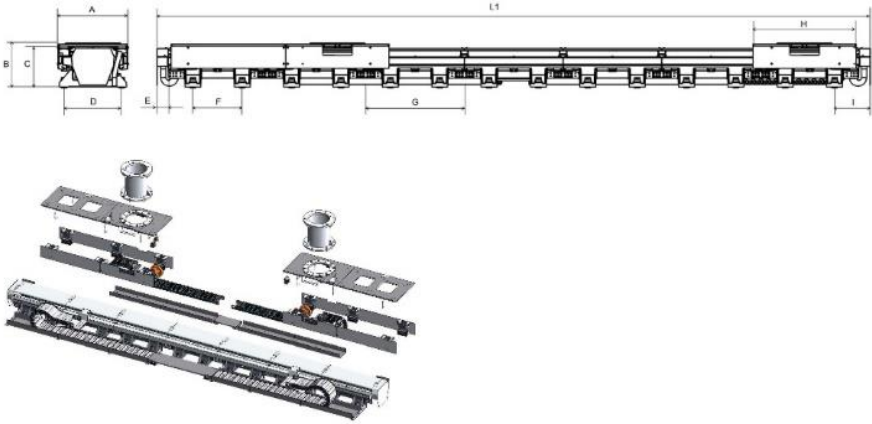
Options	IRBT 2005	
Track type	Robot or Transfer	
Carriages	1 to 2 for Robot, 1 to 3 for Transfer	
Track length	2 to 21 modules of 1m length	
Track travel direction	Standard or Mirrored	
Track version	Standard or Covered	
Extension module for transfer	2 to 21 modules of 1m length, 1 to 3 transfer carriage	
Additional carriage plate	For each robot carriage	
Robot Orientation	0°, 90°, 180° 270°	
Robot Pedestals	250mm to 1000mm (limited to 250mm for IRB4600)	
External cable chain	For each robot carriage	
Internal cables packages	Robot Cables, Arc welding equipment including TSC (torch service center), Customer power/ Customer signals (CP/CS)	

IRBT 2005			
Max Payload (Kg)	1200 kg	< 600kg	
Speed (m/s)	2 m/s	2 m/s	
Max. acceleration (m/s²)	2,5 m/s²	4 m/s²	
Pose repeatability, RP (mm)	≤ ± 0,05	≤ ± 0,05	

Travel Length			
	1	3	5
Positioning time (s) max payload 1200kg	1,42	2,48	3,46
Positioning time (s) payload <600kg	1,15	2,15	3,16

Pos	Description*	Robot	Robot with extra plate	Transfer
A	Total width	700		
B/C	Height	450		435
D	Width (foot print)	584		
E	End cover	115		
F	Distance between two feet	500		
G	Length of one section	1000		
H	Carriage table length	1048	2209	1150
I	Distance between the end cover and its nearest feet	365		
L1	Total length of the track with internal cable chain	230 + Nx 1000**		

Note: if option external cable chain is used some of the values in the table will change.
*All dimensions are in mm.
**In which N indicates the numbers of sections.



[abb.com/category](https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/robot-positioners-track-motion/irbt-2005/irbt-2005-data)

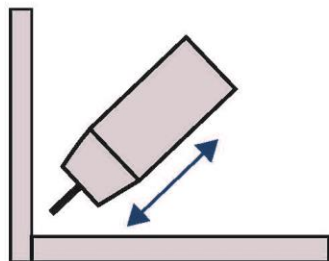
We reserve the right to make technical changes or modify the contents of this document without prior notice. With regard to purchase orders, the agreed particulars shall prevail. ABB AG does not accept any responsibility whatsoever for potential errors or possible lack of information in this document.

We reserve all rights in this document and in the subject matter and illustrations contained therein. Any reproduction, disclosure to third parties or utilization of its contents in whole or in parts is forbidden without prior written consent of ABB AG. Copyright © 2020 ABB. All rights reserved.

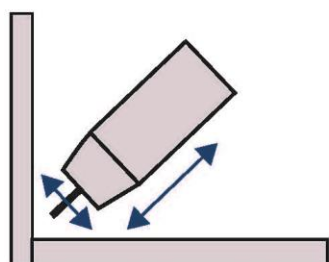
10.83259-EN REV A Aug 2020

<https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/robot-positioners-track-motion/irbt-2005/irbt-2005-data>

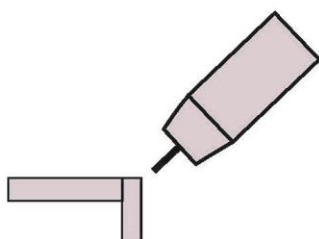
Tracking modes - Basic



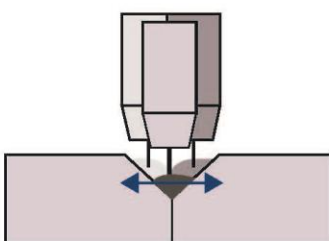
Height sensing: The torch-to-work distance is maintained.



Centerline tracking is used in weaving. The position of the weld can be adjusted side to side.

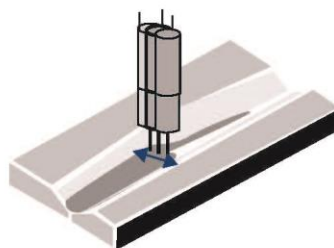


Inverted centerline tracking with v-shaped weaving.

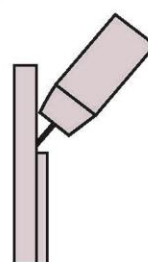


Multi-pass provides multi-layer welding often needed in heavy welding.

Tracking modes - Advanced



Adaptive fill allows the robot to adjust to the changes in joint width, the robot's weave stroke will increase or decrease and the travel speed will be adjusted accordingly.



Single side tracking is used to track a lap-joint where the arc may consume one side of the groove.

For more information please contact:

ABB AB Robotics
Hydrovägen 10
SE-721 36 Västerås, Sweden
Phone: +46 21 325000
www.abb.com/robotics

Note
We reserve the right to make technical changes or modify the contents of this document without prior notice. With regard to purchase orders, the agreed particulars shall prevail. ABB does not accept any responsibility whatsoever for potential errors or possible lack of information in this document.

We reserve all rights in this document and in the subject matter and illustrations contained therein. Any reproduction, disclosure to third parties or utilization of its contents - in whole or in parts - is forbidden without prior written consent of ABB.

Copyright© 2015
ABB All rights reserved

Copyright ABB Robotics All rights reserved, ROB0163 EN, C, June 2015

Power and productivity
for a better world™ **ABB**

<https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/arc-welding-equipment/process-support-tools/weldguide>

Liite 2. RobotStudio -simulointien linkit, Youtube.

<https://youtu.be/GawfJcuGZXw>

<https://youtu.be/wqGxJLa2zKc>